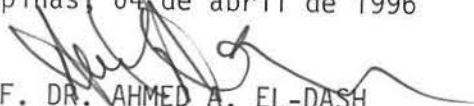


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

***"Pão sem glútem: Otimização de algumas variáveis
de processamento."***

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por LUIZA MARIA PIERINI MACHADO e aprovada pela Comissão Julgadora em 04 de abril de 1996.
Campinas, 04 de abril de 1996


PROF. DR. AHMED A. EL-DASH
Presidente da Banca

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

Luiza Maria Pierini Machado
Engenheira de Alimentos

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
Orientador

Campinas, 1996.

9604-106

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
Orientador



Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Membro

Prof. Dr. Olavo Rusig
Membro



Profa. Dra. Maria Helena Damásio
Membro

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Campinas, de de 1996.

Ao Claudio,
presença, amor, apoio, incentivo e companheirismo
constante.

Aos pequenos,
Felipe Antero e Caio Eduardo, minhas luzes.

Aos meus pais,
Sergio e Diolinda,
pela oportunidade da vida, pelo amor, dedicação
e incentivo à carreira.

Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Ahmed A. El-Dash, com muito respeito e admiração, pelo apoio, incentivo e orientação precisa na realização deste trabalho.

Ao prof. Dr. David A. Banzatto do Departamento de Ciências Exatas - FCAV - UNESP - Jaboticabal, pela orientação na análise estatística dos experimentos.

Aos profs. Drs. Yoon Kil Chang, Maria Helena Damásio e Olavo Rusig pelas sugestões na redação final deste trabalho.

Ao ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos, que possibilitou a realização de algumas análises na fase experimental da tese, e em especial à Dra. Vera Lúcia Puppo Ferreira.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Fundo de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

À Coordenadoria de Pesquisa Agropecuária do Instituto Agrônomo de Campinas, pela doação da matéria-prima utilizada neste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, especialmente ao Yoon, Horácio, Ramon, Marlene, Helena, José e Nilo.

Aos grandes companheiros, Atílio, Normandis, Maria Alice, Doralice, Míriam, Manuel, Tereza e Cecília pelos momentos de descontração, carinho, apoio e muito estudo.

Aos meus primos, Jeferson, Glaucia e Nelson pela hospedagem e amizade.

E a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
A. INTRODUÇÃO À PANIFICAÇÃO	4
B. HIPÓTESES DE FORMAÇÃO DO GLÚTEN	10
1. Hipótese das ligações sulfidril-dissulfito	10
2. Hipótese das concatenações biossintetizadas	12
3. Hipótese da força de agregação de ligações secundárias	14
4. Hipótese da força de agregação secundária e pontes dissulfídicas	15
5. Estudo microscópico de formação do glúten	17
C. PESQUISA SOBRE FARINHAS MISTAS	19
1. Farinhas Proteináceas	20
a. Farinha de soja	20
b. Farinha de tremçoço doce	20
c. Farinha de amaranto	21
2. Farinhas Amiláceas	21
a. Farinha de mandioca	21
b. Farinha de cará	22
c. Farinha de milho e Farinha de milho desengordurada	22
d. Farinha de sorgo	23
D. PESQUISA SOBRE FARINHA SEM GLÚTEN	25
E. REOLOGIA DE FARINHA DE ARROZ	42
F. NOVA PROPOSTA	43
G. QUALIDADE DE PÃES	46

III. MATERIAL E MÉTODOS	48
A. MATERIAL	48
1. Matéria-prima	48
2. Reagentes	48
B. MÉTODOS	48
1. Obtenção da farinha de arroz	48
a. Beneficiamento e polimento do arroz	48
b. Moagem	49
2. Caracterização química e propriedades da farinha de arroz	49
a. Umidade	49
b. Proteína	49
c. Cinzas	49
d. Gordura	50
e. Carboidratos totais	50
f. Viscoamilograma	50
3. Processo de panificação	52
a. Metodologia	52
i. Formulação	52
b. Ensaios preliminares	54
4. Análise estatística dos experimentos	56
a. Delineamento estatístico	56
b. Análise estatística dos resultados	58
5. Propriedades organolépticas e instrumentais dos pães	63
a. Propriedades organolépticas	63
i. Volume	64
ii. Cor da crosta	64
iii. Quebra	65
iv. Simetria	65
v. Características da crosta	66
vi. Cor do miolo	66
vii. Estrutura das células do miolo	67

viii. Textura do miolo	67
ix. Aroma	68
x. Gosto	68
b. Propriedades instrumentais	69
i. Textura do miolo	69
ii. Cor da crosta e cor do miolo	70
IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
A. OBTENÇÃO DA FARINHA DE ARROZ	71
1. Rendimento em arroz	71
2. Rendimento em farinha	71
B. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES DA FARINHA	71
1. Composição química da farinha de arroz	71
2. Propriedades da farinha de arroz	72
C. EFEITO DA QUANTIDADE DE FERMENTO, QUANTIDADE DE ÁGUA, PROPORÇÃO PASTA/FARINHA E TEMPO DE FERMENTAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS PÃES DE FARINHA DE ARROZ	73
1. Testes organolépticos	73
a. Características externas	75
i. Volume	75
ii. Cor da crosta	82
iii. Simetria	91
b. Características internas	94
i. Características da crosta	96
ii. Cor do miolo	103
iii. Estrutura de células do miolo	104
iv. Textura	113
c. Aroma e Gosto	122
i. Aroma	122
ii. Gosto	132
2. Testes Instrumentais	138

a. Textura do miolo	138
b. Cor do miolo	147
c. Cor da crosta	168
V. CONCLUSÕES	176
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Formulação do pão de amido de mandioca/farinha de soja e o procedimento utilizado na sua fabricação	30
Tabela 2: Tempos e temperaturas analisadas nos ensaios preliminares	56
Tabela 3: Variáveis e níveis de variação	58
Tabela 4: Delineamento experimental composto rotacional para quatro variáveis em três níveis - valores codificados	60
Tabela 5: Delineamento experimental composto rotacional para as quatro variáveis estudadas em três níveis - valores reais	61
Tabela 6: Rendimento em farinha	71
Tabela 7: Composição química da farinha de arroz	72
Tabela 8: Propriedades da farinha de arroz	73
Tabela 9: Influência das variáveis de processamento e formulação no volume dos pães de farinha de arroz	78
Tabela 10: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o volume dos pães de farinha de arroz	79
Tabela 11: Influência das variáveis de processamento e formulação no atributo cor da crosta de pães de farinha de arroz	83
Tabela 12: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor da crosta dos pães de farinha de arroz	85
Tabela 13: Influência das variáveis de processamento e formulação no atributo simetria de pães de farinha de arroz	95

Tabela 14: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a simetria dos pães de farinha de arroz	96
Tabela 15: Influência das variáveis de processamento e formulação nas características da crosta de pães de farinha de arroz	98
Tabela 16: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para as características da crosta dos pães de farinha de arroz	99
Tabela 17: Influência das variáveis de processamento e formulação na cor do miolo de pães de farinha de arroz	105
Tabela 18: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães de farinha de arroz	106
Tabela 19: Influência das variáveis de processamento e formulação na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz	107
Tabela 20: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a estrutura de células do miolo dos pães de farinha de arroz	108
Tabela 21: Influência das variáveis de processamento e formulação na textura do miolados pães de farinha de arroz	117
Tabela 22: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura do miolo dos pães de farinha de arroz	121
Tabela 23: Influência das variáveis de processamento e formulação no aroma de pães de farinha de arroz	123
Tabela 24: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o aroma dos pães de farinha de arroz	124

Tabela 25: Influência das variáveis de processamento e formulação no gosto dos pães de farinha de arroz	133
Tabela 26: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o gosto dos pães de farinha de arroz	134
Tabela 27: Influência das variáveis de processamento e formulação na textura do miolo dos pães de farinha de arroz	140
Tabela 28: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura do miolo dos pães de farinha de arroz	141
Tabela 29: Influência das variáveis de processamento e formulação na cor do miolo dos pães de farinha de arroz	149
Tabela 30: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães de farinha de arroz: componente L_{Hunter} (luminosidade)	150
Tabela 31: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães de farinha de arroz: componente a_{Hunter} (vermelho)	157
Tabela 32: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães de farinha de arroz: componente b_{Hunter} (amarelo)	165
Tabela 33: Influência das variáveis de processamento e formulação na cor da crosta de pães de farinha de arroz	171
Tabela 34: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor da crosta dos pães de farinha de arroz: componente L_{Hunter} (luminosidade)	172
Tabela 35: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor da crosta de pães de farinha de arroz: componente a_{Hunter} (vermelho)	174

Tabela 36: Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor da crosta de pães de farinha de arroz: componente b_{Hunter} (amarelo)	175
Tabela 37: Resposta das condições de processamento nas características de qualidade dos pães de farinha arroz	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Papel das ligações dissulfídicas inter e intramoleculares na estrutura da gliadina e glutenina	12
Figura 2: a- Cadeia de polipeptídeos unida por 3 ligações dissulfídicas intra-moleculares e 4 grupos dissulfídicos livres b- Parte linear da molécula de glutenina com 5 cadeias de polipeptídeos unidas por 2 ligações dissulfídicas, cada	14
Figura 3: Formação de camadas de glúten através de forças secundárias e incorporação de unidades de proteínas com ligações dissulfídicas intermoleculares entre as camadas de glúten	18
Figura 4: Efeito dos agentes redutores nas propriedades viscoelásticas do glúten	18
Figura 5: Representação esquemática das ligações de hidrogênio intermoleculares das moléculas de amido, formando um filme capaz de reter gases e água	44
Figura 6: Segmento de amilose e amilopectina, que sob força mostra a capacidade de se estender e retornar à forma original	45
Figura 7: Viscoamilograma da farinha de arroz (8%)	74
Figura 8: Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no volume dos pães de farinha de arroz (quantidade de fermento=1,5%, tempo de fermentação= 100 min)	80
Figura 9: Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no volume de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, quantidade de água= 100%)	81

Figura 10: Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água na cor da crosta de pães de farinha de arroz (proporção pasta/farinha= 20%, tempo de fermentação 100 min.)	86
Figura 11: Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na cor da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de água=100%, proporção pasta/farinha= 20%)	88
Figura 12: Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha na cor da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, tempo de fermentação 100 min.)	89
Figura 13: Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação na cor da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, proporção pasta/farinha= 20%)	92
Figura 14: Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação na cor da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento=1,5%, quantidade de água= 100%)	93
Figura 15: Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha nas características da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, tempo de fermentação= 100 min.)	101
Figura 16: Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação nas características da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, quantidade de água= 100%)	102
Figura 17: Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha na estrutura de células do miolo de pães farinha de arroz (quantidade de água= 100%, tempo de fermentação= 100 min.)	111

Figura 18: Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, tempo de fermentação= 100 min)	112
Figura 19: Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água= 100%, proporção pasta/farinha= 20%)	114
Figura 20: Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, quantidade de água= 100%)	115
Figura 21: Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na textura do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água=100%, proporção pasta/farinha= 20%)	119
Figura 22: Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água na textura do miolo de pães de farinha de arroz (proporção pasta/farinha= 20%, tempo de fermentação=100 min.)	120
Figura 23: Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água no aroma de pães de farinha de arroz (proporção pasta/farinha=20%, tempo de fermentação=100 min.)	126
Figura 24: Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no aroma de pães de farinha de arroz (quantidade de água=100%, quantidade de fermento=1,5%)	127
Figura 25: Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha no aroma de pães de farinha de arroz (quantidade de água=100%, tempo de fermentação= 100min.)	130

Figura 26: Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no aroma de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, tempo de fermentação= 100 min.)	131
Figura 27: Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha no gosto de pães de farinha de arroz (quantidade de água= 100%, tempo de fermentação= 100 min.)	136
Figura 28: Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no gosto de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento=1,5%, quantidade de água 100%)	137
Figura 29: Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação na textura do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, proporção pasta/farinha= 20%)	143
Figura 30: Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha na textura do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água=100%, tempo de fermentação= 100 min.)	144
Figura 31: Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na textura do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água=100%, proporção pasta/farinha= 20%)	146
Figura 32: Sólido de cor L, a, b do Sistema Hunter	147
Figura 33: Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no componente L_{Hunter} (luminosidade) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, tempo de fermentação= 100 min.)	151
Figura 34: Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação no componente L_{Hunter} (luminosidade) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento=1,5%, proporção pasta/farinha= 20%)	153

- Figura 35: Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no componente L_{Hunter} (luminosidade) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento=1,5%, quantidade de água= 100%) 155
- Figura 36: Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no componente a_{Hunter} (vermelho) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= tempo de fermentação= 100 min.) 158
- Figura 37: Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha no componente a_{Hunter} (vermelho) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água= 100%, tempo de fermentação= 100 min.) 160
- Figura 38: Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação no componente a_{Hunter} (vermelho) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água= 100%, proporção pasta/farinha= 20%) 162
- Figura 39: Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no componente b_{Hunter} (amarelo) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, tempo de fermentação= 100 min.) 166
- Figura 40: Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação no componente b_{Hunter} (amarelo) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água= 100%, proporção pasta/farinha= 20%) 167
- Figura 41: Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no componente b_{Hunter} (amarelo) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água= 100%, quantidade de fermento = 1,5%) 169

RESUMO

Embasado na proposta de que uma rede de polissacarídeos criada sob condições adequadas pode ter propriedades viscoelásticas suficientes para, de forma similar ao glúten, sustentar os gases produzidos durante a fermentação da massa, foi desenvolvido um estudo sobre a produção de pão sem glúten, objetivando avaliar a qualidade dos pães de farinha de arroz em função de quatro variáveis, quantidade de fermento, quantidade de água, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

Visando a otimização do estudo foi adotado a metodologia de superfície de resposta em cinco níveis de variação.

De acordo com a formulação, para a elaboração do pão de farinha de arroz, segundo a FAO (Food Agricultural Organization), parte da farinha foi gelatinizada, sendo esta proporção, analisada como uma das variáveis de processamento.

Após a produção, os pães foram analisados em relação às características organolépticas, estabelecidas para a avaliação da qualidade de pães. Além das características avaliadas sensorialmente, foram analisadas instrumentalmente a cor e a textura do miolo.

De acordo com os dados obtidos experimentalmente foram estabelecidos modelos de regressão completos, sendo os efeitos não-significativos eliminados através de análises de variância, originando modelos de regressão reajustados em função das quatro variáveis em estudo. A partir destes polinômios foram geradas superfícies de resposta que proporcionaram a interpretação da relação entre os resultados obtidos e o nível das variáveis.

O produto obtido apresentou boas características de qualidade em determinados níveis de oscilação das variáveis. A melhor cor da crosta foi obtida quando o pão foi produzido com menores, quantidades de água, fermento, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

As características da crosta não são influenciadas pela quantidade de fermento, sendo a melhor obtida com maiores, quantidade de água, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

A estrutura das células do miolo foram melhor obtidas com maiores quantidades de água e fermento em combinação com menores proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

A textura do miolo foi obtida com melhor qualidade nas seguintes condições, maior quantidade de água, menores quantidade de fermento e proporção pasta/farinha; sendo o melhor tempo para a fermentação definido entre 90 e 95 ou à 140 minutos.

Embora a quantidade de fermento não tenha influenciado, a melhor cor do miolo foi obtida com maiores, quantidade de água, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

O aroma de melhor qualidade foi obtido com maiores, quantidades de água e fermento; e menores, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

O gosto dos pães de farinha de arroz melhorou com o aumentada quantidade de fermento e redução do tempo de fermentação, não sendo influenciado pela quantidade de água e proporção pasta/farinha.

Embora o melhor volume tenha sido com maior quantidade de água, menor proporção pasta/farinha e tempo de fermentação entre 110 e 120 minutos, durante a realização dos experimentos observou-se que os pães apresentaram um volume maior durante a etapa de fermentação sendo que, no cozimento o mesmo reduzia consideravelmente. Este fato nos leva a considerar a necessidade de estudos detalhados sobre a rede de polissacarídeos de maneira a fortalecer e evitar o escape de gases durante a etapa do cozimento.

S U M M A R Y

Based on the proposal's statement that a network of polysaccharides raised under adequate conditions can have sufficient visco-elastic properties to, in the same way as gluten, sustain the gases production during the leavening of the dough, a study on the production of bread without gluten was developed with the objective of evaluating the quality of bread made from rice flour taking into consideration four variables; quantity of yeast, quantity of water, proportion paste to flour and time of fermentation.

Bearing in mind the effectiveness of study, a response surface methodology in five levels of variation was adopted.

Following the formula, for the elaboration of bread from rice flour, according to the FAO (Food and Agricultural Organization), part of the flour was gelatinized viewing the substitution of the gluten network, being this proportion of gelatinized flour analysed as one of the processing variables.

After being produced, the bread was analysed in relation to the organoleptical characteristics previously established for the evaluation of the quality of the bread. Apart from the characteristics sensorially evaluated, color and texture of crumb were instrumentally evaluated.

Based on the data obtained experimentally, complete regression models were established, being the non significant effects eliminated through analysis of the variance, that originated regression models readjusted taking into consideration the four variables being studied. From these polynomials, response surfaces were created that propiciated the interpretation of the relations between the results obtained and the level of the variables.

The product obtained showed good quality characteristics in determined levels of oscillation of the variables. The best crust colour was obtained when the

bread was produced with lesser quantities of water, yeast, proportion paste to flour and time of fermentation.

The characteristics of the crust aren't influenced by the quantity of yeast; the best being obtained with greater quantities of water, proportion paste to flour and time of fermentation.

The structure of the cells of the crumb were best obtained with greater quantities of water and yeast combined with smaller proportion paste to flour and time of fermentation.

The best quality of the texture of the crumb was obtained under the following conditions: greater quantity of water, smaller quantities of yeast and proportion paste to flour, being the best fermentation time in between 90 and 95 or at 140 minutes.

Although the quantity of yeast did not have any influence, the best colour of the crumb was obtained using greater ammounts of water, proportion paste to flour and time of fermentation.

The best quality of flavour was obtained with greater quantities of water and yeast and smaller proportion paste to flour and time of fermentation.

The taste of the bread made from rice flour improved with the increase in the quantity of yeast and reduction in the time of fermentation and was not influenced by quantity of water and proportion paste to flour.

Although the best volume was obtained with greater quantities of water, smaller proportion paste to flour and time of fermentation in between 110 and 120 minutes, during the experince it was observed that the bread showed a bigger volume during the fermentation period and that during the baking period the same was considerably reduced. This fact make us consider the necessity of detailed studies about network of polissacharids to the able strengthen and avoid the leakage of gases during the cooking period.

I. INTRODUÇÃO

O cereal utilizado em maior escala em panificação é o trigo, considerado um cereal nobre por possuir a capacidade de formar massa com características viscoelásticas.

Segundo a FAO (Food Agricultural Organization) de 1961 a 1981, o consumo de trigo nos países tropicais aumentou em 3,0% ao ano, enquanto o consumo de raízes e tubérculos oscila entre 0,5% ao ano. Paralelo a este aumento de consumo vem crescendo também a importação de trigo por esses países, onde a produção é bem menor que a de culturas nativas, em função de não possuírem regiões adequadas, ou por não disporem de programas agrícolas voltados para a obtenção de auto-suficiência de produção.

Com o aumento do consumo e a necessidade de importação, cresce também a dependência destes países importadores de trigo em relação aos exportadores.

Visando a substituição parcial ou total do trigo, vários estudos foram realizados durante este século, sendo que os objetivos dos pesquisadores estavam voltados para o desejo de produção de pão isento de glúten destinado à consumidores portadores de doença do celíaco e, à tentativa de redução do consumo de trigo por países que o importam em grandes quantidades.

Esta tecnologia nunca atraiu porque segundo o pensamento da época seria como diluir a farinha de trigo com uma outra farinha que degradaria a estrutura do pão. Isto porque, durante muitos anos

os químicos de cereais creditaram a formação da massa como responsabilidade única das proteínas do trigo.

Vários estudos sobre a interação destas proteínas e a conseqüente formação da massa foram realizados dando origem a diversas hipóteses de formação do glúten.

No final da década de 80, uma nova proposta de formação de glúten gerou um novo conceito em relação à química de cereais. Segundo esta proposta uma rede de polissacarídeos criada sob condições adequadas pode ter propriedades viscoelásticas suficientes para, de forma similar ao glúten, sustentar os gases produzidos durante a fermentação da massa (EL-DASH, 1991).

Em janeiro de 1989, a FAO (Food Agricultural Organization), órgão das Nações Unidas, publicou uma formulação para elaboração de pães de farinha de mandioca ou arroz, dentro do seu programa de farinhas compostas destinado à pesquisa de desenvolvimento de produtos onde a utilização do trigo seria parcial ou totalmente eliminada.

Uma solução atraente seria o desenvolvimento de pães de outros cereais, raízes ou tubérculos, com características semelhantes ao pão de trigo. Esta alternativa visaria a criação de novos hábitos alimentares e libertaria os países que a adotarem, definitivamente dos países exportadores de trigo.

Baseando-se na proposta de formação de glúten apresentada por EL-DASH em 1991, o presente estudo definiu o seguinte objetivo:

avaliar a qualidade dos pães de farinha de arroz, sem glúten, em função da quantidade de fermento, quantidade de água, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação. A formulação publicada pela FAO(1989) foi adotada como base e o arroz, empregado como matéria-prima, por ser um cereal disponível no Brasil além de não possuir as proteínas responsáveis pelo glúten, nas mesmas proporções do trigo.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A- INTRODUÇÃO À PANIFICAÇÃO

O processo de panificação consiste em etapas definidas e interrelacionadas. A primeira etapa do processo consiste na escolha da formulação adequada ao tipo de produto desejado. Para a elaboração de pães os ingredientes essenciais são, farinha, água, fermento (***Saccharomyces cerevisae***) e sal.

Na etapa de mistura dos ingredientes ocorre a incorporação de ar, o qual se subdivide em pequenas células. O processo de mistura possui dois objetivos, a dispersão uniforme e completa dos ingredientes para a obtenção de uma massa homogênea, o desenvolvimento físico do glúten que fornece uma massa de estrutura uniforme e características viscoelásticas desejadas e, incorporação de oxigênio que fornecerá núcleos para formação de células de gás no pão (PYLER, 1988a).

As alterações químicas e reológicas que ocorrem na massa durante a etapa de mistura foram estudadas por vários pesquisadores e cada um atribui a um(s) determinado(s) tipo(s) de reações ou interações, as hipóteses de formação de glúten serão abordados na sequência.

Após a etapa de mistura a massa é deixada em repouso durante um determinado período, em condições de umidade e

temperatura controladas. Durante esta etapa de fermentação, as células de fermento dispersas uniformemente na massa, devido a etapa de mistura, atuam sobre os açúcares disponíveis transformando-os em dióxido de carbono e álcool, como consequência desta produção de gás ocorre a expansão ou crescimento da massa.

Durante a fermentação o glúten se torna mais flexível e elástico devido a uma série de fatores como, ação de enzimas proteolíticas, produção de álcool, a formação de vários ácidos orgânicos e inorgânicos, o aumento da concentração de íons de hidrogênio entre outros. Todos estes fatores alteram as características coloidais do glúten de maneira que ele se torna capaz de formar um filme fino que retém as células de gás que são formadas nesta etapa, ao mesmo tempo que mantém sua extensibilidade e elasticidade impedindo a ruptura da massa devido à pressão exercida pelo gás.

O tempo requerido para que a massa alcance seu ponto máximo e ideal de elasticidade e capacidade de retenção dos gases ainda não está bem esclarecido, segundo PYLER (1988b) as alterações que ocorrem no glúten e propiciam este grau ideal de maturidade, ainda não está bem claro, entretanto a utilização de massas pouco ou excessivamente fermentadas não resultam pães de boa qualidade.

Um pré-requisito para uma boa fermentação é a correta mistura dos ingredientes ou desenvolvimento do glúten durante a mistura da massa.

Na fermentação de uma massa a qual foi corretamente misturada duas forças atuam, a produção e retenção de gases. A produção de gases é principalmente uma reação enzimática que envolve as enzimas naturalmente presentes na farinha, as adicionadas como suplementação e as provenientes do fermento (levedura). Segundo HEALD (citado em PYLER, 1988b) os fatores que levam a uma maior produção de gás são: o aumento da concentração de fermento; adição de açúcar ou malte diastático em farinhas com deficiência de um ou outro; utilização de nutrientes para fermento em quantidades pré-determinadas; altas temperaturas, próximo de 35°C. Entre os fatores que reduzem a produção de gás estão: sal, quantidades excessivas de nutrientes para fermento; e temperaturas excessivamente altas.

Os fatores que governam a retenção de gás são mais numerosos envolvendo enzimas proteolíticas, fatores químicos e físicos como sais, umidade, pH, agentes oxidantes e branqueadores entre outros, além dos fatores mecânicos como mistura, expansão da massa, sova, divisão, boleamento e moldagem.

Segundo DUBOIS (1984) a fermentação produz gases que causam a expansão das células, resultando em melhor incorporação e retenção dos gases. Os ácidos desenvolvidos durante a fermentação aumentam a concentração do íon de hidrogênio da massa, causando dissociação no glúten o que permite formar filmes finos extensíveis, aumentando assim suas propriedades de retenção de gás e expansão.

No final da etapa da fermentação obtem-se uma massa crescida como resultado da fermentação da levedura e da produção dos gases, o glúten nesta fase se encontra desenvolvido no ponto de se expandir sob a pressão dos gases que estão se formando.

A última etapa do processo é o forneamento onde ocorre a transformação através do calor, de uma massa não apetecível em um produto leve, poroso, saboroso e facilmente digerível. Quando a massa é levada ao forno o primeiro efeito observado é a expansão e formação de um filme superficial fino.

De acordo com DUBOIS (1984) a capacidade de retenção de gás da massa é crítico durante os primeiros estágios do cozimento, quando as células expandem rapidamente através da expansão térmica dos gases e do aumento da produção de gás pelas leveduras.

Nos cinco minutos iniciais do forneamento a massa continua um progressivo aumento no volume, o que é denominado como "oven rise". Após a etapa de expansão da massa, ocorre o "oven spring", que é o auge de uma série de reações. O calor agindo sobre os gases produz sua expansão e por consequência a expansão das células que os retêm. Outro efeito puramente físico que ocorre pela ação do calor é a redução da solubilidade dos gases. Uma parte do dióxido de carbono gerado pela levedura está presente em solução na massa, quando a temperatura da massa atinge aproximadamente 49°C o dióxido de carbono é liberado da solução. Este gás livre migra para as células de gás já

existentes aumentando sua pressão interior. O terceiro efeito físico é a transformação dos líquidos de baixo ponto de ebulição em vapores, o álcool que constitui a maior parte destes líquidos se transforma rapidamente em vapor, quando a temperatura da massa atinge 79°C, elevando ainda mais a pressão e aumentando a expansão das células de gás (PYLER, 1988d).

A formação da crosta é iniciada ao mesmo tempo em que o "oven spring" é atingido e o resultado característico é a formação da "quebra" e "rasgo" nas laterais superiores do pão. Portanto, nos primeiros instantes do forneamento há um aumento constante da pressão interna produzida pelos efeitos físicos da penetração de calor. Quando atinge-se o período do "oven spring" ocorre simultaneamente uma queda da pressão e o início da gelatinização do amido. Segundo PYLER (1988c) parte desta pressão perdida é devido à coalescência de pequenas células de gás em células maiores e em menor número.

Além dos efeitos puramente físicos do calor, existe a influência da atividade da levedura. O principal fator que determina a taxa de fermentação e a formação de dióxido de carbono e álcool é a temperatura, sendo que esta taxa aumenta com o aumento da temperatura, até certo ponto. Assim, antes de se atingir aproximadamente 60°C, que é o ponto da morte térmica da levedura, esta na massa irá produzir dióxido de carbono em quantidades suficientes para contribuir na expansão do volume. A ação da levedura é auxiliada à temperaturas elevadas pelo aumento da atividade amilolítica, das enzimas α e β -amilase.

Finalmente, no "oven spring" ocorre um amaciamento do glúten, este processo ocorre simultaneamente ao inchamento ou gelatinização do amido, quando a temperatura atinge aproximadamente 54°C, sendo que o grau de gelatinização é limitado pela disponibilidade de água. Como o fenômeno da gelatinização está associado à absorção de água, ocorre uma remoção da água retida pelas proteínas do glúten ao mesmo tempo em que este desnatura e perde a afinidade pela água. A coagulação do glúten inicia quando a temperatura da massa atinge aproximadamente 74°C e continua lentamente até o final do forneamento. Durante este processo o glúten se transforma em uma estrutura semi-rígida.

Com a expansão das células, ocorre uma orientação dos grânulos flexíveis do amido dentro da matriz protéica alongando os grânulos e permitindo ao glúten se tornar um filme fino; este filme poderá se romper mas não irá colapsar. Assim, a maior alteração que ocorre durante o forneamento é a redistribuição da água proveniente do glúten para o amido, permitindo que o amido sofra a gelatinização (PYLER, 1988c).

No final da etapa de cozimento ocorre a formação do flavor do pão sendo que, as condições de formação da crosta são essenciais para a completa produção do flavor.

Segundo JOHNSON & EL-DASH (1969) o flavor do pão é um fenômeno complexo que envolve sensações psicológicas e fisiológicas, sendo função dos ingredientes e processamento do pão.

De acordo com pesquisadores de Kansas State University (1972), o flavor do pão resulta da formação de compostos carbonílicos aromáticos, ácidos orgânicos, esteres aromáticos, vários álcoois e outros compostos formados pela interação de amino grupos livres com açúcares redutores durante o cozimento, através da Reação de Maillard, ou seja, os amino grupos livres dos aminoácidos, peptídeos ou proteínas reagem com os grupos hidroxílicos dos açúcares, em uma sequência de alterações complexas que resultam na formação de polímeros coloridos (escuros) e compostos carbonílicos aromáticos que proporcionam a cor dourada da crosta e o flavor típico do pão (EL-DASH, 1969).

B- HIPÓTESES DE FORMAÇÃO DO GLÚTEN

Existem quatro hipóteses sobre as propriedades de formação do glúten pelas proteínas presentes no trigo, as quais conferem às massas as características viscoelásticas essenciais para a produção de pão e pastas alimentícias.

1- Hipótese das ligações sulfidril-dissulfito

Os estudos de BECKWITH et alii (1965) e BECKWITH & WALL (1966) foram direcionados para a redução e oxidação das ligações dissulfídicas (S-S) e dos grupos sulfidrílicos. Os resultados obtidos mostraram que a glutenina consiste de componentes de baixo peso molecular ligados intermolecularmente

por ligações dissulfídicas, enquanto que a gliadina, consiste de uma única unidade sem ligações dissulfídicas intermoleculares.

Segundo esta teoria a glutenina é formada por cadeias de aminoácidos unidas por ligações dissulfídicas intermolecularmente, sendo que as unidades das cadeias também apresentam pontes dissulfídicas internas o que resulta em uma estrutura emaranhada. O componente gliadina é formado por cadeias individuais de aminoácidos com ligações dissulfídicas intramoleculares que mantêm a molécula fechada ou melhor com uma forma globular, como pode ser visto na Figura 1. A principal diferença destes dois componentes, segundo a teoria, está na sequência dos aminoácidos das cadeias.

A explicação sobre o papel das ligações sulfidril-dissulfito na formação da massa e o desenvolvimento das propriedades viscoelásticas foi apresentada por vários pesquisadores. Segundo BLOSKMA (citado por EL-DASH, 1991) as trocas tiol-dissulfito que ocorrem durante a mistura pode ser uma explicação lógica para a formação da rede de proteínas na massa, como as moléculas de proteínas originam de diferentes partículas da farinha podem se ligar umas as outras formando uma rede contínua e coesa, com o auxílio de um catalizador que se encontra presente naturalmente na farinha de trigo.

Segundo o pesquisador esta propriedade é única na farinha de trigo devido à velocidade com que ocorre, a explicação é que a velocidade com que esta reação ocorre no trigo é muito maior do que em outros cereais.

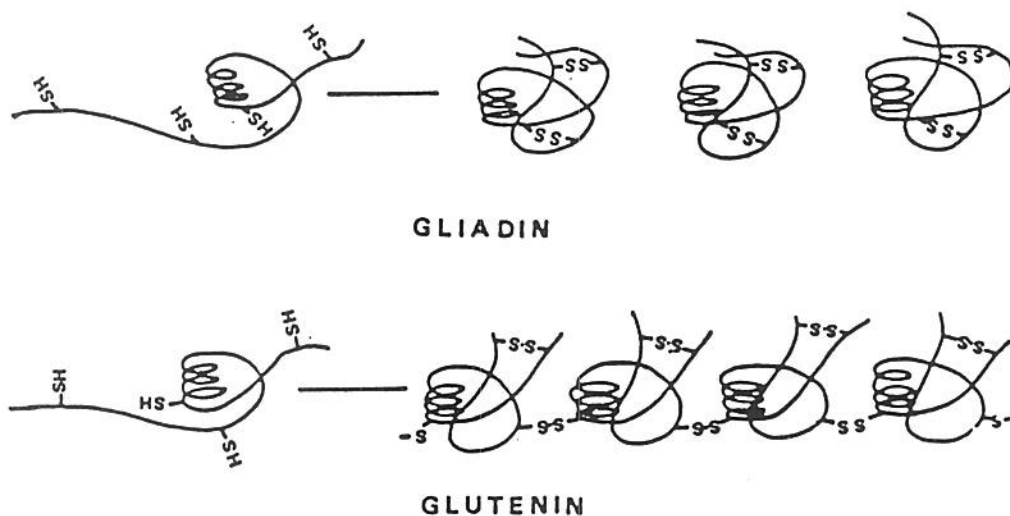


FIGURA 1 - Papel das ligações dissulfídicas inter e intramoleculares na estrutura da gliadina e glutenina.

2- Hipótese das concatenações biossintetizadas

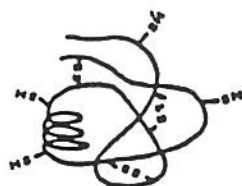
Esta hipótese foi apresentada pelos pesquisadores EWART (1972) e GREENWOOD & EWART (1975) e segundo os mesmos a glutenina é o único constituinte das proteínas da farinha de trigo que possui alguma propriedade viscoelástica significativa; a qual é característica inerente da molécula que é ativada pela hidratação e mistura durante a formação da massa; portanto de acordo com a

hipótese as moléculas de glutenina com propriedades viscoelásticas estão presentes no grão de trigo.

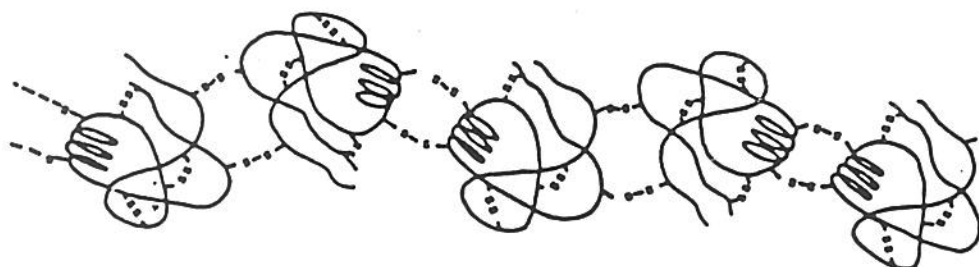
A molécula de glutenina, formada por cadeias peptídicas, contém dez grupos sulfidrílicos, sendo que seis destes formam ligações dissulfídicas intramoleculares; os quatro grupos restantes estão localizados na cadeia de maneira que dois deles se ligam a outros dois grupos de outra cadeia. Esta sequência de ligações origina uma longa molécula linear, ou concatenação, que possui cadeias polipeptídicas ligadas umas às outras através de duas ligações dissulfídicas intermoleculares, como pode ser observado na Figura 2.

A teoria aborda as propriedades viscoelásticas do glúten da seguinte maneira, a rede tridimensional, necessária para promover a viscoelasticidade e a estrutura molecular coesa da massa, pode ser formada através do emaranhado das cadeias que darão origem à rede. Esta rede também pode posuir ligações secundárias, principalmente as hidrofóbicas.

As concatenações (cadeias) de gluteninas podem se estender, segundo esta teoria, devido as ligações dissulfídicas intermoleculares se encontrarem de forma contraída, o que as leva a um aumento da extensão sob ação da força, porém as forças mantêm a cadeia de polipeptídeo fechada são fortes, levando a cadeia a voltar à sua forma original após a aplicação da força.



(a)



(b)

FIGURA 2-a) Cadeia de polipeptídios unida por 3 ligações dissulfídicas intra-moleculares e 4 grupos sulfidrílicos livres.

b) Parte linear da molécula de glutenina com 5 cadeias de polipeptídeos unidas por 2 ligações dissulfídicas, cada.

3- Hipótese da força de agregação de ligações secundárias

Os pesquisadores BERNADIN & KASARDA (1973) e KASARDA et alii (1976) orientaram seus estudos na formação de agregados microfibrilares de algumas gliadinas e outras proteínas do endosperma. Eles separaram as gliadinas do trigo em quatro grupos (α , β , γ e o gliadina) de acordo com a mobilidade. O grupo foi purificado, isolado e analisado com a designação A.gliadina. Verificaram que a A.gliadina como possuem uma estrutura microfibrilar pode se dissociar em subunidades, quando

em pH baixo (3) e se reagregar com o aumento do pH de 3 para 5. Esta agregação é completamente reversível e envolve apenas ligações secundárias sem nenhuma participação de ligações dissulfídicas.

Um estudo análogo foi realizado para a análise da glutenina, que levou-os à conclusão de que a tendência de formação das microfibrilas é uma propriedade intrínseca das proteínas do trigo, e existe devido principalmente ao grande número de radicais glutamínicos presentes na gliadina e frações da glutenina, podendo ocorrer na superfície das subunidades de proteínas, deixando-as com cargas.

De acordo com esta teoria a formação da massa, através da mistura da farinha de trigo com água, ocorre devido a presença de forças de ligações secundárias que promovem a agregação das subunidades de proteínas. Com a continuidade da mistura, as microfibrilas se interagem formando as macrofibrilas, que se orientam através da mistura e formam uma rede tridimensional.

Esta teoria justifica as propriedades elásticas da massa porque, a rede de macrofibrilas pode se estender sob força e recuperar a elasticidade cessando a força.

4- Hipótese da força de agregação secundária e pontes dissulfídicas

Esta hipótese proposta por EL-DASH (1991) se baseia em dois elementos: a presença de forças de agregação secundárias

responsáveis pela formação das cadeias e camadas na massa, e na existência de pontes dissulfídicas intermoleculares que agem unindo cadeias e camadas.

O estudo assume que durante o amadurecimento do grão de trigo ocorre uma exposição dos grupos não-polares nas moléculas de proteínas, enquanto que os grupos polares se voltam para o interior da molécula.

Durante a mistura, com o rompimento das moléculas de proteínas, os grupos polares são expostos, ocorrendo ligações entre moléculas através destes pontos secundários. As ligações dissulfídicas intermoleculares unem cadeias, proporcionando a ligação entre camadas, criando assim uma rede tridimensional de proteínas capaz de reter grande quantidade de água, como pode ser visto na Figura 3.

Com a continuidade da mistura as interações entre as várias cadeias de polímeros aumentam. Se a massa for supermisturada, segundo a teoria, formarão regiões de alto grau de associação, as quais perderão a capacidade de reter água, como consequência esta será expulsa resultando uma massa com aspecto fluido.

As características viscoelásticas da massa são explicadas da seguinte maneira; a massa formada por cadeias de agregados de unidades de proteínas com pontes dissulfídicas entre cadeias, pode esticar sob força, voltando à forma original com o interrompimento da aplicação. Isto porque quando se aplica força

a quebra ocorre nas ligações secundárias, que são pontos mais fracos, as ligações dissulfídicas são mais fortes e mantêm as unidades de proteínas unidas.

Os agentes redutores são capazes de quebrar ligações -SS- e aumentar a extensibilidade e reduzir a resistência à extensão da massa. Segundo esta teoria, este fenômeno pode ser explicado da seguinte maneira; a presença dos agentes redutores quebram as ligações -SS- que unem as camadas permitindo que deslizem facilmente umas sobre as outras, aumentando a extensibilidade. Um agente oxidante pode provocar um efeito contrário, aumento das ligações entre cadeias através dos grupos -SH livres disponíveis em cadeias adjacentes, com consequente aumento da resistência à extensão e redução da extensibilidade. O efeito dos agentes redutores nas propriedades viscoelásticas do glúten pode ser verificado na Figura 4.

5- Estudo microscópico de formação do glúten

Os pesquisadores BECHTEL et alii e BECHREL & BARNETT (citados por AMEND & BELITZ, 1991) através de estudos microscópicos mostraram que durante o desenvolvimento do grão de trigo, grânulos de proteínas se formam dentro das células do endosperma e se fundem para formar a matriz protéica. Seguindo o mesmo raciocínio AMEND & BELITZ (1991) concluíram que a massa é formada a partir de pequenas redes tridimensionais de proteínas do glúten, existentes dentro de cada célula do endosperma. As propriedades elásticas do glúten, existentes no grão, são restabelecidas na farinha através da hidratação.

Segundo os pesquisadores, a formação da massa é basicamente um processo de agregação destas redes de glúten, pré-existent, através da hidratação e proximidade das partículas da farinha, durante a mistura.

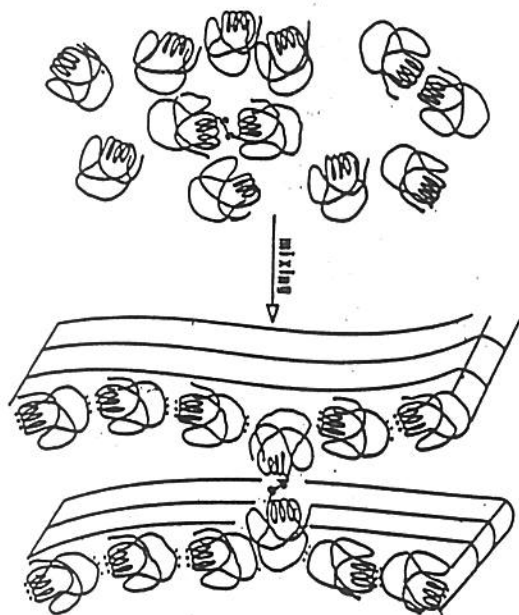


FIGURA 3 - Formação de camadas de glúten através de forças secundárias e incorporação de unidades de proteínas com ligações dissulfídicas intermoleculares entre as camadas do glúten.

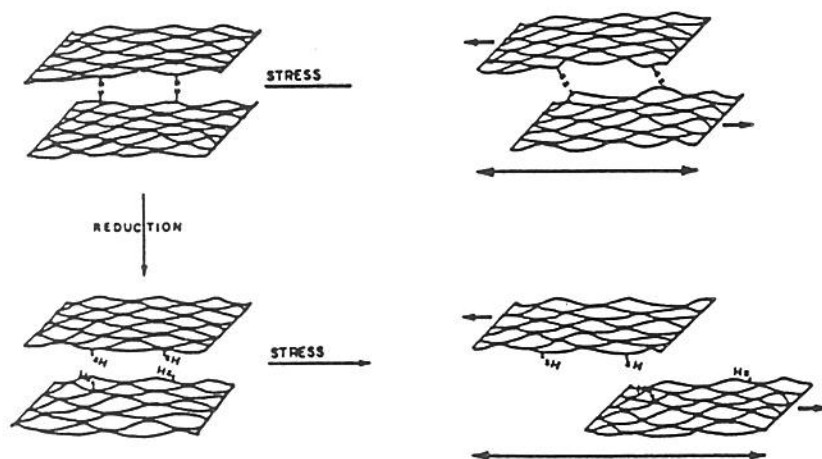


FIGURA 4- Efeito dos agentes redutores nas propriedades viscoelásticas do glúten.

C- PESQUISA SOBRE FARINHAS MISTAS

No Brasil, com o crescente consumo de trigo, e os altos índices de importação do referido cereal, iniciou-se pesquisas voltadas para sua substituição parcial por farinhas sucedâneas, de produção nacional. Estas pesquisas apontavam os vários benefícios que seriam obtidos pela substituição entre eles, redução nas importações do trigo; redução dos gastos governamentais com o subsídio; aumento do consumo de farinhas nacionais tais como de mandioca, milho, sorgo entre outras, fato que levaria ao maior emprego na área rural contribuindo para a fixação do homem ao campo.

Alguns fatores foram considerados para a implementação de um programa viável para a substituição como:

- As farinhas sucedâneas panificáveis disponíveis para a mistura com farinha de trigo;
- Os fatores que afetariam os índices de substituição de farinhas sucedâneas a serem misturadas com a farinha de trigo.

Várias farinhas amiláceas e proteináceas foram estudadas para substituírem parcialmente a farinha de trigo. As farinhas proteináceas seriam de grande importância em áreas onde o suprimento de proteínas animais é deficiente, porque aumentariam a qualidade nutricional do pão. As farinhas amiláceas foram estudadas principalmente para tentar aproveitar raízes, tubérculos e alguns cereais produzidos e pouco utilizados no país.

1- Farinhas Proteináceas

As farinhas proteináceas estudadas foram:

a- Farinha de soja

O pão francês feito de uma mistura de 7% de farinha de soja desengordurada mostrou-se de excelente qualidade, similar ao pão feito com 100% de farinha de trigo, além de apresentar um aumento do conteúdo protéico de 11,5 para 14,23%. Entretanto quando elaborado com níveis superiores a 7%, a qualidade foi afetada (EL-DASH, 1983).

Nos E.U.A. foram produzidos pães com 16-18% de farinha de soja desengordurada, porém usando uma farinha de trigo forte de excelente qualidade, o qual não é disponível no Brasil. Para farinhas obtidas de trigo forte a média força, o nível máximo de adição é de 10%, segundo EL-DASH (1983).

b- Farinha de tremço doce

A farinha de tremço doce possui alto teor protéico (39% em base seca), podendo ser adicionada em concentrações de 19% em farinhas de trigo nacional (78% de extração) sem nenhum efeito na qualidade do pão, resultando produtos com maior valor nutritivo, segundo EL-DASH (1983).

c- Farinha de amaranto

SALES & VITTI (1987) realizaram um estudo sobre as propriedades tecnológicas de farinha mista de trigo e amaranto. A farinha integral de amaranto com 17,6% de proteína bruta e 6,3% de matéria graxa foi utilizada na proporção de 20% de adição à farinha de trigo para obtenção de pães. A mistura, segundo os pesquisadores, é tecnologicamente viável pois, as características reológicas da massa pouco diferiram daquelas da massa de trigo puro, além de resultarem pães de sabor agradável e aceitável.

2- Farinhas Amiláceas

Dentre as farinhas amiláceas analisadas estão:

a- Farinha de mandioca

A farinha de mandioca foi estudada por ser a mandioca uma cultura típica do Brasil e estar presente na alimentação do povo brasileiro, principalmente nas camadas de menor renda. Esta farinha possui boas características panificáveis, sendo possível preparar pães de qualidade aceitável.

Os experimentos realizados no Brasil com o programa da FAO mostraram que a farinha nacional adicionada com até 8% de farinha de raspas de mandioca, em combinação com um aditivo o CSL(estearoil lactilato de cálcio) em proporções de

0,5%, pode produzir pão de boa qualidade, de acordo com EL-DASH (1983).

Segundo VITTI & PIZZINATTO (1975a,b) adições de até 15% de farinha de raspas de mandioca pré-gelatinizada na fabricação de pães resultaram em bons produtos quando combinações de ácido ascórbico e estearoil-2-lactato de cálcio foram empregadas. A combinação de soja à mistura também foi analisada na tentativa de melhorar o valor nutricional, bons resultados foram obtidos quando os aditivos foram utilizados.

b- Farinha de cará

A farinha de cará pode ser adicionada à farinha de trigo nacional em concentração de até 16%, para produção de pão. A avaliação organoléptica do pão mostrou a necessidade de habituar o consumidor a esse novo produto pois seu sabor é mais adocicado e a casca mais macia, segundo EL-DASH (1983).

c- Farinha de milho e Farinha de milho desengordurada

As farinhas de milho (fubá) e de milho desengordurada podem ser misturadas à farinha de trigo na razão de 10-20%, produzindo um pão de qualidade razoável, segundo EL-DASH (1983).

d- Farinha de sorgo

A utilização desta farinha representa uma boa alternativa para a substituição parcial, pois seu rendimento é alto e o preço é consideravelmente baixo, se comparado ao do trigo ou milho.

A farinha de sorgo foi adicionada, à nível de 15%, à farinha de trigo, sem provocar decréscimo no volume do pão.

Além do estudo sobre farinha disponíveis, outros fatores foram considerados por EL-DASH (1983) para analisar a viabilidade da substituição da farinha de trigo.

A qualidade do trigo produzido no país é considerado de extrema importância para avaliação do trigo e quantidade apropriada da farinha sucedânea que pode ser incorporada.

A qualidade da farinha de trigo e seu grau de extração influenciam diretamente na tolerância de diluição da farinha, sendo que as farinhas de trigo com maior conteúdo protéico, glúten mais forte ou menor grau de extração tendem a tolerar maior quantidade de farinha sucedânea, enquanto que as farinhas com alto grau de extração (farinha comum) toleram menos.

A tolerância da farinha de trigo à adição de farinhas sucedâneas pode ser aumentada e a qualidade do pão melhorada com o emprego de aditivos. Estes aditivos podem ser os oxidantes, como bromato e iodato de potássio que proporcionam melhora na qualidade e força do glúten, emulsificantes como estearoil-lactilato

de cálcio que melhoram o desempenho do amido e a reologia da massa; vários monoglicerídeos ou derivados de ácidos graxos.

O método de panificação utilizado deve ser avaliado na determinação do nível ótimo de farinha sucedânea empregado e os tipos de produtos que serão produzidos. Dependendo do método empregado pode-se aumentar o nível da farinha sucedânea ou utilizar trigo de menor força, obtendo-se resultados favoráveis. Entre os produtos, o pão é o menos tolerante a farinhas sucedâneas, porque exige glúten de alta qualidade, disponível em farinha de trigo de boa qualidade. A formulação e a composição das matérias-primas também exercem grande influência na tolerância das farinhas sucedâneas, sendo que altos teores de gordura e açúcar tendem a aumentar esta tolerância.

A qualidade das farinhas sucedâneas a serem adicionadas à farinha de trigo depende de certos fatores como o método de processamento, a qualidade da matéria-prima, o sistema de controle de qualidade na fabricação entre outros, os quais devem ser rigorosamente controlados, ou seja, a especificação do padrão de qualidade deve ser previamente estabelecido para que não haja interferência na qualidade tecnológica do produto final, segundo EL-DASH (1983).

HORVATH-ALMASSY (1989) em um estudo sobre farinhas mistas também concluiu que a qualidade da proteína é tão importante quanto a quantidade e sugeriu que um estudo sobre as propriedades das farinhas mistas ajudaria na otimização da qualidade de panificação, reduzindo custos nos moinhos.

A substituição parcial da farinha de trigo por outras farinhas de produção nacional, é muito recomendável por acarretar benefícios econômicos para o país no sentido de reduzir a importação do trigo, porém mesmo com todo estudo a substituição é limitada e acarreta redução na qualidade do pão.

D- PESQUISA SOBRE FARINHA SEM GLÚTEN

O desejo de se produzir pão sem a utilização de trigo direcionou as primeiras pesquisas para uma melhor compreensão sobre a qualidade do pão e o papel do amido em panificação.

Algumas pesquisas foram realizadas com o objetivo de se conhecer as propriedades e funções que cada componente do trigo exercia na produção de pães.

As funções do amido em panificação foram definidas por SANDSTED (1961) como:

- um diluente do glúten na obtenção da consistência desejada da massa;
- fornecedor de açúcares para ação de enzimas amilases (amido danificado);
- fornecedor de uma superfície adequada à adesão ao glúten;
- tem a propriedade de tornar-se flexível durante a gelatinização parcial, formando um filme macio;
- absorve água do glúten para a sua gelatinização, formando um filme rígido o suficiente que limita a expansão e fornece uma estrutura ao pão que o impede de colapsar após o forneamento.

Em um estudo sobre a substituição das proteínas do trigo por outras formadoras de gel, ROTSCH (citado em JONGH, 1961) concluiu que o miolo do pão deve sua coesividade ao amido parcialmente gelatinizado sendo que, as diferenças de estruturas do miolo estão relacionadas ao grau de gelatinização do amido. O glúten teria como função a retenção do dióxido de carbono formado durante a fermentação e na retenção temporária da água necessária para gelatinizar o amido. Segundo o pesquisador não há substitutos para o amido, devido a função deste durante e após o processo de panificação, sendo que as massas sem glúten podem reter gases se outro gel o substitua, recomendando o uso de goma Locuste e Alginato de Sódio.

Uma melhora na retenção de gases e na estrutura do pão de amido foi obtida por JONGH (1961), com adições de glicerol monoestearato (GMS). Partindo da suposição que uma massa elaborada com amido e água representava uma suspensão concentrada estável, onde as forças repulsivas entre os grânulos tornavam a suspensão dilatante, não oferecendo assim, condições adequadas à retenção dos gases incorporados durante a mistura ou formados durante a fermentação. A adição de gliceril monoestearato (GMS) à massa causaria a atração entre os grânulos de amido, diminuindo assim a dilatância e tornando a massa mais plástica, capaz de reter os gases formados durante a fermentação. O pão produzido com adição de 1% de gliceril monoestearato se apresentou com maior volume e melhor estrutura interna após o cozimento, se comparado ao controle.

HOSENEY et alii (citado por SILVA, 1990) isolou amido de vários cereais e realizou estudos de reconstituição destes com glúten e aquossolúveis de uma farinha de trigo duro, sendo estas farinhas reconstituídas utilizadas em testes de panificação com o objetivo de compreender o desempenho de diferentes tipos de amido em panificação. Os amidos de centeio e cevada analisados tiveram um desempenho praticamente igual ao amido de trigo. Os outros amidos analisados como milho, sorgo, arroz, aveia e batata apresentaram fracas características de panificação.

A compreensão sobre o papel do amido e qualidade de pão proporcionou um melhor direcionamento nas pesquisas sobre a possibilidade de produção de pão sem glúten, como destinado aos celíacos que possuem intolerância ao glúten. A intolerância ao glúten pode estar relacionada com a absorção de peptídeos tóxicos resultantes da fração de gliadina do glúten que é normalmente hidrolisada, resultando em má absorção, diarreia e outros distúrbios gastrointestinais, segundo os pesquisadores VAN DEKAMER & WEIJERS; KASARDA; DISSANAYAKE et alii (citados por RANHOTRA et alii, 1975). Cereais pobres em glúten como arroz, milho entre outros, têm sido considerados como não tóxicos aos celíacos, segundo KASARDA (citado por RANHOTRA et alii, 1975).

Em um estudo altamente abrangente KIM & De RUITER (1968, 1969) testaram combinações de farinhas amiláceas e protéicas com adição de substitutos de glúten. Esta pesquisa foi realizada buscando desenvolver produtos de panificação a partir de farinhas de tubérculos e sementes oleaginosas. Alguns

trabalhos anteriormente realizados conseguiram êxito com adições de 5 a 10% destas farinhas à farinha de trigo, acima destas proporções os resultados não foram satisfatórios. Utilizando apenas as farinhas de tubérculos e oleaginosas, os pesquisadores enfrentaram algumas dificuldades como, a obtenção de uma massa coesa o suficiente para permitir expansão durante o processo de cozimento e a obtenção de um pão com miolo semelhante ao pão de trigo.

Com o objetivo de conseguir a coesividade desejada, substâncias formadoras de gel, ou surfactantes como gliceril monoestearato (GMS) ou polioxietilenoestearato (POES) foram utilizados. Uma combinação de farinha de mandioca, como fonte de amido e farinha de soja desengordurada como fonte de proteína, foi utilizada na expectativa de obtenção de um miolo semelhante ao pão de trigo. A soja foi escolhida por possuir proteínas de alto valor nutricional e também por fornecer bons resultados tecnológicos em experimentos preliminares, e a mandioca por ser uma raiz comum em áreas tropicais.

Neste processo a água empregada para obtenção de pão com bom volume, foi o dobro requerido para massas de farinha de trigo, como consequência, o miolo se apresentou pegajoso e úmido. A substituição da farinha de mandioca por amido de mandioca, que possui um gel de propriedades mais coesivas, reduziu a quantidade de água, portanto reduzindo a consistência da massa, este efeito foi acompanhado por um considerável aumento de volume. Os melhores resultados foram obtidos com uma mistura de 80,0 partes de amido de mandioca e 20,0 partes de

farinha de soja desengordurada. A formulação e as condições usadas na fabricação do pão de amido de mandioca e farinha de soja desengordurada, encontra-se na tabela 1. Segundo os pesquisadores a obtenção de pães de boa qualidade, com o emprego da formulação apresentada, é conseguida devido:

- a- adição de um grande volume de água na preparação da mistura para a obtenção de uma pasta semi-líquida;
- b- adição de gliceril monoestearato (GMS) na forma de emulsão;
- c- remix, após um curto tempo de fermentação;
- d- utilização de uma farinha de soja com um índice de solubilidade de nitrogênio (NSI), de aproximadamente, 60%.

Esses quatro fatores combinados contribuem para a incorporação de ar pela massa durante a mistura, facilitando seu crescimento com uma menor pressão dos gases formados na fermentação.

O produto obtido (pão) apresentava-se ligeiramente encharcado e borrachento após o cozimento, sendo que após duas horas tornava-se farelento.

Na tentativa de melhores resultados os pesquisadores realizaram várias alterações substituindo um terço do amido de mandioca por amido de milho, o resultado foi um pão com melhores características de palatabilidade e miolo menos borrachento durante o primeiro dia de fabricação, tornando-se após este período rapidamente seco e farelento.

A substituição completa do amido de mandioca por amido de milho, trigo ou batata resultou pães com piores características, sendo que os mesmos se apresentavam farelentos logo após o cozimento.

Tabela 1- Formulação do pão de amido de mandioca/farinha de soja e o procedimento utilizado na sua fabricação.

A - FORMULAÇÃO	PARTES (em peso)
Amido de mandioca	80,0
Farinha de soja	20,0
Levedura prensada	2,0
Sal	2,0
Açúcar (sacarose)	4,0
Gliceil monoestearato (emulsão 10%)	13,5
Estearoil-lactil-lactato de cálcio	0,15
Água	60,0-80,0 (a)
B - PROCEDIMENTO	QUANTIDADES
Tempo de mistura	10,0 min
Tempo de fermentação	40,0 min
Tempo de remix	5,0-10,0 min (b)
Divisão da massa	0 min
Fermentação final	variável (c)
Tempo de cozimento	30,0 min
Temperatura do forno	230 °C

Depende: a- da absorção de água da farinha; b- do tamanho do misturador; c- da velocidade de produção de gás da massa.
Fonte: KIM & De RUITER (1969)

Uma melhora na coesividade do miolo foi obtida com a substituição do GMS por hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) a 1% e um aumento da quantidade de água usada na formulação.

A diferença no comportamento relativo desses aditivos pode ser atribuída às diferentes características de gelatinização

desses amidos testados. No caso do amido de mandioca, a gelatinização precisa ser retardada para evitar um produto final excessivamente borrachento. A adição de gliceril monoestearato (GMS) e estearoil-lactilato de cálcio (CSL) controla sua gelatinização. No caso das massas formuladas com os amidos de milho, trigo ou batata, a gelatinização necessita ser promovida, o que pode ser conseguido adicionando-se mais água e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), entretanto, segundo os pesquisadores KIM & RUITER (1968, 1969), o domínio do processo ainda foi atingido.

Os experimentos demonstraram que a coesividade da massa depende do amido e do aditivo empregado, sendo que o aditivo precisa ter compatibilidade com a farinha e seu amido. A velocidade de envelhecimento (retrogradação) do pão foi outro fator considerado de extrema importância. Foi observado que os pães elaborados com farinha de soja/amido de mandioca ou trigo possuem uma velocidade de retrogradação menor que os pães de farinha de soja/amido de batata ou milho.

HART et alii (1970) estudaram as possíveis melhoras que alguns aditivos poderiam fornecer à pães de sorgo e cevada. Entre várias gomas analisadas foi verificado que a metilcelulose 4.000 cps aumentou a retenção de gases no pão de sorgo e melhorou a textura de ambos. Os amidos de mandioca, batata, araruta e milho encontrados facilmente nas regiões produtoras de sorgo, podem ser utilizados nas formulações por proporcionarem melhor textura e volume à massa, além de agilizar o processo de fermentação.

Outras pesquisas foram realizadas utilizando-se diferentes aditivos, sempre na tentativa de se obter um produto o mais semelhante possível ao pão de farinha de trigo.

Um outro aditivo utilizado por alguns pesquisadores - a goma Xantana, é um heteropolissacarídeo resultante da fermentação de glucose pela *Xanthomonas campestris* com peso molecular na ordem de milhões de daltons, que foi desenvolvida pelo Northern Regional Research Laboratory (NRRL), (ROCKS, 1971); e que segundo KULP et alii (1974) e CHRISTIANSON et alii (1974), foi o aditivo que produziu melhor efeito para a qualidade do pão.

KULP et alii (1974) em seus estudos compararam amido de trigo pré-gelatinizado, carboximetilcelulose (CMC) e goma xantana separadamente e em combinação com agentes surfactantes (GMS, Mono e Di-glicerídeos, Estearoil-lactatos) como agentes ligantes com o amido de trigo para a produção de pão sem glúten. O procedimento adotado foi o mesmo utilizado por KIM & De RUITER (1968). Os três sistemas amido/substitutos do glúten produziram pães estruturalmente aceitáveis quando os emulsificantes não foram utilizados. O pão com goma xantana, em termos de propriedades gerais, volume e flavor se apresentou superior aos elaborados com carboximetilcelulose (CMC) ou amido pré-gelatinizado. Neste estudo, a adição de surfactantes não contribuiu para melhorar formação da estrutura do pão sem glúten, quando empregado em combinação com as gomas. Estes resultados contrariam a pesquisa de JONGH (1961) que concluiu ser os surfactantes funcionais para a produção de pães de amido,

e apesar de não ter usado substâncias formadoras de gel, conseguiu obter uma massa coesa o suficiente para reter gases.

RANHOTRA et alii (1975) em estudos visando o enriquecimento protéico de pães de amido de vários cereais, utilizaram isolado protéico de soja (88% proteínas - $N \times 6,25$), sendo que bons resultados foram obtidos com adições de até 22%. Segundo os pesquisadores, o isolado protéico foi utilizado porque em estudos preliminares pode ser observado que farinha de soja e concentrado protéico quando empregados em grandes quantidades reduziam drasticamente a qualidade do pão. Os pães obtidos possuíam boas características de textura, volume, crosta e velocidade de retrogradação, além de apresentarem-se com um PER (eficiência protéica relativa) superior ao pão de trigo; sendo o único fator limitante à adição, o gosto.

CHRISTHIANSON (1976) trabalhando com pães de amido de vários cereais combinados com diferentes proporções de goma xantana, sugeriu a necessidade do amido livre na forma granular estar presente nas formulações para reter gases durante o crescimento da massa, pois este amido gelatinizado se combina com a goma xantana, formando um complexo tridimensional capaz de reter gases. Segundo o pesquisador esta é a explicação para o fato de nenhum grânulo de amido poder ser visto, microscópicamente, no miolo do pão de amido/goma xantana, como ocorre com os numerosos grânulos distorcidos observados no miolo do pão de farinha de trigo. De acordo com o pesquisador, a

retenção de gases por massas, como as pesquisadas por HART et alii (1970), depende grandemente da presença de grânulos de amido livres.

Nos EUA, no Instituto de Panificação, várias pesquisas também foram desenvolvidas, na tentativa de se obter um produto similar ao pão convencional.

NISHITA et alii (1976) desenvolveram um pão de farinha de arroz, adequado para pessoas alérgicas às proteínas da farinha de trigo (como os celíacos), testando várias gomas na expectativa de obter a melhor formulação. As gomas Locuste, Guar, Carragena, Xantana e Hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) foram empregadas no estudo e a goma HPMC apresentou o melhor resultado. Análises do tipo de arroz utilizado levou os pesquisadores a concluir que, farinha provenientes de grãos curtos e médios geralmente, possuem melhores características panificáveis porém, segundo os mesmos, as proteínas da farinha de arroz não formam um filme durante a etapa de mistura e sua massa isenta de gomas não retém gases.

CASIER et alii (1977) em um estudo com farinhas puras de millet e sorgo obtiveram pães de boa qualidade quando, adicionaram 2 - 4% de pentosanas de centeio porém, estes pães segundo os pesquisadores diferem dos pães de farinhas compostas onde não houve adição de pentosanas.

BRUMMER (1977) estudou o efeito de vários hidrocolóides no preparo de pães. Dentre os estudados, os hidrocolóides de

sementes como guar e carob bean, apresentaram efeito positivo nas características dos pães sendo que, o efeito foi, aumento da retenção de gás na massa, consequentemente aumento do volume e maciez do pão. O emprego destes hidrocolóides foi possível em farinhas de trigo, centeio e farinhas mistas porém, o aroma do pão foi levemente alterado.

Segundo De RUITER (1978) entre todas as formulações estudadas na elaboração de pão sem glúten, o produto final que mais se assemelha ao pão convencional é o obtido a partir de amido/goma xantana e que a substituição dos amidos puros de mandioca, milho, sorgo ou millet por suas respectivas farinhas proporcionaram uma melhora no volume da massa, na coesividade do miolo e na estrutura do pão porém, estas propriedades ainda podem ser melhoradas através do pré-processamento destas farinhas, como maceração, cozimento e possivelmente fermentação.

Analizando o trabalho de HART et alii (1970), De RUITER (1978) concluiu que a melhoria da estrutura do miolo pode ser ajudada pelo fato dos grânulos de amido livres gelatinizarem mais rápido e completamente que o amido nas partículas de farinha.

NISHITA & BEAN (1979) em um estudo sobre as propriedades físico-químicas do arroz relacionadas ao pão de arroz verificaram que, o arroz que possui baixo teor de amilose e baixa temperatura de gelatinização produziram pães com boa textura de miolo e volume específico maior ou igual a $5 \text{ cm}^3/\text{g}$. Segundo HALICK & KELLY, JULIANO et alii, KURASAWA et alii e

WEBB & STERMER (citados por NISHITA & BEAN, 1979) os componentes do amido influenciam o comportamento durante o cozimento e processamento do arroz. O comportamento na gelatinização interfere a textura do arroz cozido e influencia nas características do miolo do pão. Já o conteúdo de proteína não está diretamente relacionado com as características do pão.

Os resultados obtidos indicaram que uma combinação de arroz com baixo conteúdo de amilose (<20%) e baixa temperatura de gelatinização (<65°C) foi necessária para obter um pão de textura macia.

Os pesquisadores sugeriram a utilização de farinha de arroz com estas características em adição à farinha de trigo, sendo esta adição possível até 30%. A redução no volume do pão proporcionado pela adição de farinha de arroz pode ser compensada através do aumento no tempo de fermentação ou com emprego de algum surfactante ou α - amilase, o que também foi sugerido por TANAKA (1972).

HOSENEY (1984) estudando a capacidade de retenção de gás em massas de pão argumenta contra os pesquisadores que afirmam poder produzir pães sem glúten, segundo este autor os produtos obtidos não são pães por possuírem uma textura e granulosidade diferentes do pão de trigo, sendo que, como apenas o glúten pode reter gases, todos os pesquisadores utilizaram recursos para suprir a deficiência. Estes recursos foram, a goma xantana por KULP (1974), surfactantes por JONGH (1961) e

JONGH et alii (1968), pentosanas por CASIER (1967) e CASIER et alii (1973); como consequência uma melhora no volume foi obtida. Segundo HOSENEY a farinha de centeio é a que possui melhor capacidade de reter gases, depois da farinha de trigo e de acordo com estudos de WEIPERT & ZWINGELBERG (citado por HOSENEY, 1984) as pentosanas presentes na farinha de centeio compõem a fração importante para a sua qualidade panificável. HOSENEY considera estes fatos como colaboradores na retenção de gás mas, acredita ainda ser o glúten o maior responsável e que se conseguir reduzir a taxa de difusão do dióxido de carbono na massa, se conseguirá reter mais gases; portanto, algum fator presente na estrutura do glúten é responsável por esta redução. Identificado o fator, o problema estará solucionado.

BARTNICK et alii (1986) testaram várias matérias-primas na elaboração de pães sem glúten entre elas, amido (trigo e milho), batata, milho, farinha de arroz e millet, em combinação com pectina de maçã (7%) como agente ligante. O produto obtido apresentou boas propriedades sensoriais, bom volume, elasticidade e porosidade, além de gosto e aroma semelhantes à maçã. Com adições de 10-30% de leite em pó nos pães de amido de trigo conseguiram melhorar o gosto e o aroma. Quando parte da pectina de maçã foi substituída por albumina (2-4%) houve, segundo os pesquisadores, uma melhora nas propriedades físicas, sensoriais e nutritivas.

YLIMAKI et alii (1988) utilizaram metodologia de superfície de resposta para encontrar uma combinação de gomas (HPMC e CMC) e água que pudessem substituir com sucesso o glúten, em

pães de farinha de arroz. A formulação utilizada foi a desenvolvida por NISHITA et alii (1976) com algumas adaptações. Os pães foram analisados em relação à cor da crosta e miolo (L^* , a^* e b^*), textura do miolo e volume específico.

Os resultados foram comparados ao pão de farinha de trigo, os pesquisadores concluíram que o pão de farinha de arroz possui uma cor de miolo mais clara que o de trigo. Uma das características mais indesejáveis do pão de farinha de arroz é a firmeza e a gomosidade do miolo. De acordo com NISHITA (1973) a quantidade de água ótima para pães 100% farinha de arroz está em 75%, baixas quantidades de água produziram pães densos com baixo volume. Neste estudo a quantidade de água variou entre 75 - 132%(peso farinha), superior à requerida em pães de farinha de trigo (~60%), o que segundo os pesquisadores é devido ao alto teor de amido e presença de gomas, ambas elevam a necessidade de adição de água à formulação, sendo que a mesma observação foi feita por RANHOTRA et alii (1975).

Os pesquisadores AKOBUNDU et alii (1988) estudando o potencial de panificação de farinhas compostas como, milho/amido de mandioca/feijão fradinho, chegaram à conclusão que fatores como o teor de umidade, tempo de fermentação, além da composição destas farinhas contribuem na variação do volume do pão, que possui segundo os pesquisadores características distintas do pão convencional.

GRONEVER et alii (1988) avaliaram as propriedades sensoriais de pães brancos e escuros sem glúten. O pão escuro

obteve notas melhores e quando frescos se assemelhavam ao padrão com glúten, principalmente em relação à estrutura do miolo. Segundo os pesquisadores, a conservação da qualidade é baixa, devendo ser melhorada; além do que, o pão branco sem glúten é significativamente inferior ao padrão quanto ao sabor, propriedades da crosta e miolo.

Em 1990 o estudioso GRONLUND alerta sobre a pequena disponibilidade de produtos, principalmente pães, sem glúten que de acordo com o pesquisador deveria ser aumentada para satisfazer as necessidades dos celíacos.

Os pesquisadores KUZ'MINSKII, et alii (1990) desenvolveram e patentearam um método para a produção de pães de farinha de centeio e de farinha mista de centeio/trigo, o processo emprega uma pequena quantidade de massa fermentada.

MOHARRAM, et alii (1991) estudaram a elaboração de produtos semelhantes ao pão produzidos com soja e farinha de arroz. A soja descascada e previamente macerada (18 h) foi misturada à farinha de arroz e sal para formar a massa a qual foi fermentada naturalmente (16h). Os produtos foram então fritos. Os melhores produtos foram obtidos com as proporções 1:1 e 1:2 de soja /farinha de arroz.

YLIMAKI et alii (1991) em um estudo sobre pães fermentados de farinha de arroz empregaram metodologia de superfície de resposta e avaliação sensorial, com o objetivo de obter um pão com características semelhantes ao de trigo. O

desenvolvimento de formulações para pães de arroz com qualidade sensorial comparável ao pão de trigo, mostrou ser dependente do tipo de farinha de arroz e dos níveis de CMC (carboximetilcelulose), HPMC (hidroxipropilmetilcelulose) e água. De acordo com os pesquisadores existe muita diferença entre a avaliação sensorial e objetiva dos pães de farinha de arroz.

Através da análise sensorial, os pesquisadores observaram que os pães de farinha de arroz possuem um forte odor de fermento e aroma de arroz, além de possuir um gosto remanescente mais acentuado, quando comparado ao de trigo, uma textura mais áspera e entre as células do miolo predominância das menores.

HE & HOSENEY (1991) estudando sobre a capacidade de retenção de gases de diferentes farinhas de cereais, concluíram ser a farinha de trigo a que possui maior capacidade de retenção de gases. Em ordem crescente quanto à facilidade de perda de gases, as farinhas foram enquadradas da seguinte maneira: milho, arroz, cevada e trigo. Segundo os pesquisadores a capacidade de retenção dos gases pode ser expressa em termos de volume do pão, sendo que o melhor volume foi obtido com farinha de trigo seguida por cevada, arroz e milho. Entre as quatro farinhas estudadas apenas a proveniente de trigo possui características viscoelásticas. Após o forneamento a diferença da qualidade dos pães é evidente pois, as farinhas de centeio, arroz e milho produziram pães densos, com pequeno volume. Como a farinha de trigo possui um teor de proteínas acima das outras, os pesquisadores a diluíram com amido para igualar os teores de

proteínas; mesmo assim o volume do pão de farinha de trigo superou os demais.

EGGLESTON et alii (1992) em um estudo sobre a elaboração de pães alternativos de farinha de mandioca fortificada com farinha de soja, empregaram clara de ovo, margarina e goma xantana como aditivos. Todos os aditivos empregados aumentaram a quantidade de ar retida pela massa no estágio de mistura, e a quantidade de gás retido foi com 60 minutos de fermentação. Entretanto, segundo os pesquisadores, o volume final do pão depende também da estabilidade da massa, o que foi obtido com a utilização da clara de ovo e margarina, que agem como estabilizantes, reduzindo a taxa de gelatinização e solubilidade do amido no pão. Estes pães além de terem sido bem aceitos pelos consumidores da Nigéria, apresentaram boas características de armazenamento.

VATSALA & HARIDAS (1992) estudaram sobre pães elaborados com frutas. Este tipo de pão é muito consumido na Índia e se assemelha ao pão branco. Como não existe literatura sobre os fatores de qualidade, o estudo foi realizado para otimizar ingredientes e condições de processamento. Os pães possuem uma textura dura, indesejável e requerem uma menor quantidade de água para a elaboração porém, podem ser estocados embalados em condições ambientais ($t^a=28^{\circ}\text{C}$, UR-60-65%) por 8 dias sem alterações.

E- REOLOGIA DA FARINHA DE ARROZ

De acordo com CHINNASWAMY, et alii(1985) como o arroz é um cereal predominantemente amiláceo, seu comportamento reológico reflete o comportamento do seu amido. E, segundo UNNIKSHNAN & BAHTTACHARYA (1983) o comportamento reológico da farinha de arroz avaliado através de medidas de viscosidade mostrou ser dependente da força de cisalhamento, indicando possuir o sistema um comportamento de fluido não-Newtoniano.

Os pesquisadores SANDHYA-RANI & BHATTACHARYA (1985) avaliando as propriedades reológicas de pastas e suspensões de farinha de arroz perceberam que a viscosidade aparente de pastas frias aumentava com incrementos do teor de amilose das farinhas, quando em concentrações de 10 - 12%; efeito contrário foi observado em baixas concentrações (3%).

Em 1989, em um estudo complementar estes pesquisadores observaram que a viscosidade de pastas de farinha de arroz é dependente além da amilose e concentração da pasta; da temperatura e tempo de cocção. Pastas de baixa concentração, baixos tempo e temperatura de pasta, e baixo teor de amilose possuem maior viscosidade aparente, efeito inverso foi observado com concentração, tempo e temperatura de cocção menores. Aparentemente, grânulos de amido com baixo teor de amilose são menos rígidos, entumecem facilmente quando aquecidos e também

rompem facilmente sob força quando totalmente entumecidos, o que leva a uma redução da viscosidade. Os grânulos com alto teor de amilose, são mais rígidos e provavelmente entumecem menos livremente e mostram menor viscosidade à baixas concentrações. Entretanto, resistem melhor à força de cisalhamento e exibem alta viscosidade à altas temperaturas ou altas concentrações.

F- NOVA PROPOSTA

Com base em uma rede tridimensional formada apenas por pontes de hidrogênio EL-DASH (1991) propõe que uma estrutura de amido (amilose e amilopectina) criada sob condições adequadas pode ter propriedades viscoelásticas suficientes para sustentar os gases produzidos durante a fermentação da massa, ou seja substituir a rede de glúten.

As moléculas de amido, formadas por amilose e amilopectina, que possuem um grande número de unidades de glicose, são capazes de se unir através de pontes de hidrogênio intermoleculares. A união de várias moléculas de amilose e amilopectina proporcionarão a formação de uma rede tridimensional, capaz de reter gases e água de maneira similar ao glúten, como pode ser visto na figura 5. Esta estrutura por ser mantida apenas por pontes de hidrogênio é mais fraca que o glúten, que possui ainda interações iônicas e pontes dissulfídicas entre as camadas, proporcionando uma estrutura fortemente ligada.

Segundo o autor, a estrutura tridimensional de polissacarídeos exibe propriedades viscoelásticas, ou seja se expande sob força e retorna à forma original quando a força cessa. Evidentemente, como a estrutura é fraca, a ponte de hidrogênio pode se romper e causar a quebra da estrutura. A figura 6 mostra a capacidade de retenção das moléculas de amilose e amilopectina.

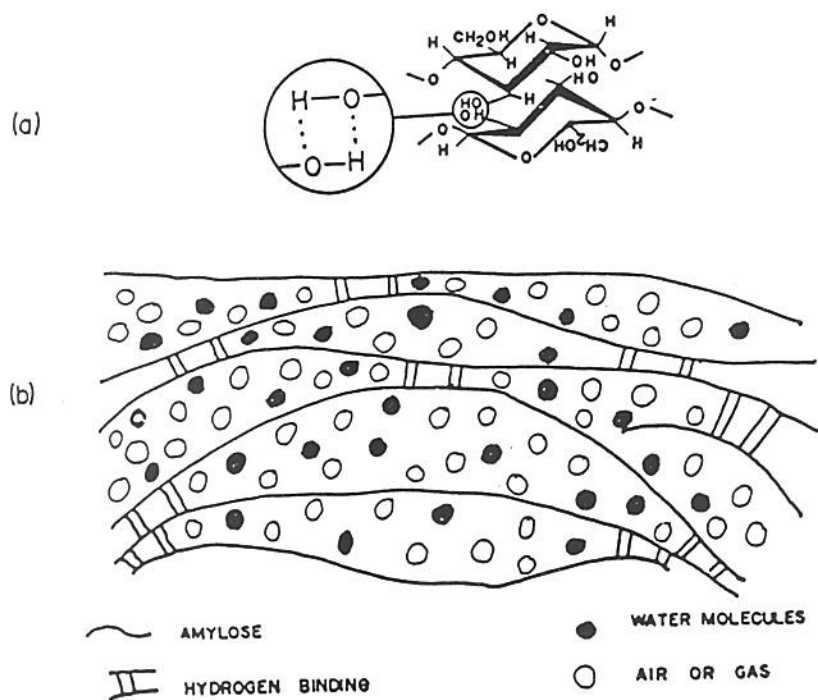


Figura 5 - Representação esquemática das ligações de hidrogênio intermoleculares das moléculas de amido, formando um filme capaz de reter gases e água.

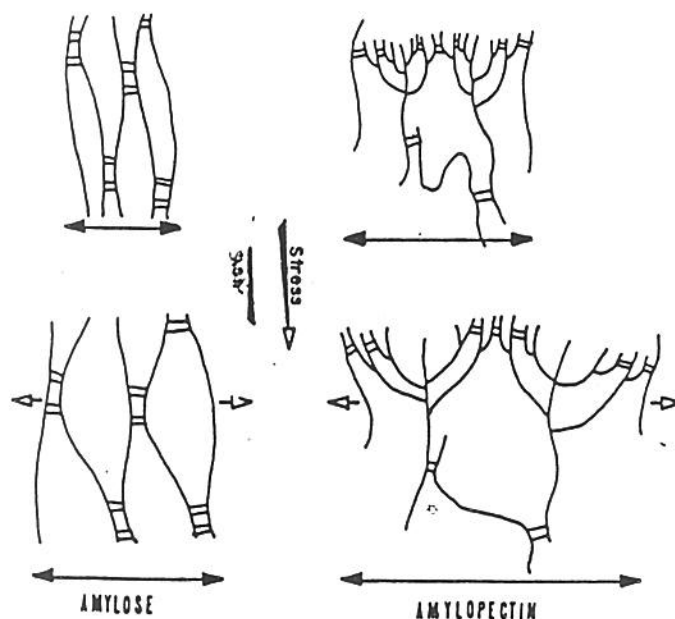


Figura 6 - Segmento de amilose e amilopectina, que sob força mostra a capacidade de se estender e retornar à forma original.

Os agentes oxidantes e redutores normalmente empregados em panificação para fortalecer a estrutura do glúten não possuem a mesma função nas redes de polissacarídeos, porém, segundo o pesquisador a rede provavelmente poderá ser fortalecida através do aumento das pontes de hidrogênio. Este fortalecimento pode reduzir a capacidade de absorção de água e gases, entretanto, um balanço entre a força da estrutura e sua capacidade de absorção de água deverá ser obtido para cada produto.

De acordo com EL-DASH (1991) será possível várias aplicações técnicas da rede tridimensional de amido. Entretanto, as condições ótimas para a formação da rede devem ser estabelecidas para permitir o desenvolvimento de uma estrutura viscoelástica forte com propriedades funcionais adequadas.

O fortalecimento da viscoelásticidade da rede, que permite se estender durante o acúmulo de gases produzidos durante a fermentação da massa, pelo proposto, é conseguido através da prévia gelatinização dos grânulos de amido, que permite a liberação e o desdobramento das moléculas de amilose e amilopectina.

G- QUALIDADE DE PÃES

Uma importante condição para a produção de pães com qualidade boa e constante é o controle de qualidade adequado da composição e propriedades funcionais dos ingredientes empregados no processo.

A maior preocupação deve ser em relação à farinha por ser o ingrediente principal. Farinhas provenientes de diferentes fontes diferenciam em relação aos teores de proteína, cinzas, umidade, atividade enzimática, etc. Os testes aplicados em panificação, salvo algumas exceções são os aprovados pelas seguintes organizações, American Association of Cereal Chemists e Association of Official Analytical Chemists, (AACC e AOAC, respectivamente), segundo PYLER (1988d).

Através de testes físicos da massa pode-se obter resultados sobre o comportamento e o desempenho de determinada farinha em panificação. Os resultados obtidos servem para orientar o panificador sobre o tempo ótimo de mistura,

fermentação e os tratamentos enzimáticos que poderão ser aplicados à farinha.

A qualidade de pães é baseada em uma escala numérica que atribui valores máximos para os atributos de grande importância como volume, textura do miolo, características das células, aroma, etc. Como esta avaliação da qualidade é baseada no julgamento pessoal e portanto é uma análise qualitativa subjetiva, o resultado não necessariamente é perfeito porém reflete as preferências de diferentes consumidores, de acordo com EL-DASH et alii (1982).

III. MATERIAL E MÉTODOS

A. MATERIAL

1. Matéria-prima

Para a realização deste trabalho, utilizou-se o arroz IAC-238, de procedência do E.E.-Pariquera-Açú, através de doação da Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária do Instituto Agronômico de Campinas.

2. Reagentes

Nas determinações químicas foram empregados reagentes com pureza analítica.

Nos testes de panificação os ingredientes empregados foram obtidos no comércio local como, sal, açúcar, óleo e fermento biológico.

B. MÉTODOS

1. Obtenção da Farinha de Arroz

a. Beneficiamento e Polimento do Arroz

O arroz em casca foi beneficiado para a remoção da casca e em seguida foi polido (2 vezes) para eliminar o farelo e germen e evitar a produção de pães escuros.

b. Moagem

A moagem do arroz polido foi realizada no Moinho Brabender Quadrumat Senior, empregando-se as etapas de quebra e redução, com o objetivo de obter uma farinha fina, homogênea e com partículas de diâmetro $<195\mu$, ideais para fins panificáveis. O farelinho foi reprocessado para aumentar o rendimento. No estudo foi utilizado a farinha de quebra e redução, devidamente homogeneizadas.

2. Caracterização Química e Propriedades da Farinha

a. Umidade

O teor de umidade da farinha de arroz foi determinado de acordo com o método AACC 44-15A (1983). Foi empregado o tempo de 1 hora à 130°C , em estufa sem circulação de ar.

b. Proteína

O teor de proteína da farinha de arroz foi determinado pelo método Kjeldahl, AACC 46-11 (1983).

c. Cinzas

O teor de cinzas foi determinado para se certificar de que a matéria-prima (arroz) foi devidamente beneficiada e polida. Isto pode ser concluído porque, como os minerais se concentram principalmente nas camadas mais externas do grão (casca), quanto maior for a concentração de cinzas na farinha maior terá sido a incorporação de cascas à mesma.

A porcentagem de cinzas foi determinada conforme o método AACC 08-01 (1983).

d. Gordura

O teor de gordura da farinha de arroz foi determinado pelo método Soxhlet, AACC 30-20 (1983).

e. Carboidratos totais

O teor de carboidratos totais foi estimado por diferença.

f. Viscoamilograma

O comportamento reológico da farinha de arroz foi analisado através do Viscoamilógrafo Brabender que consiste num viscosímetro de recipiente rotativo utilizado para a medida e o registro da viscosidade aparente de uma suspensão de amido (ou produtos amiláceos) em água, à temperatura na faixa de 25°C a 98°C, sempre a uma velocidade uniforme de 1,5°C/min.

O equipamento basicamente consiste nas seguintes partes:

- recipiente giratório para a amostra
- motor de 75 rpm para o recipiente
- sensor suspenso e pinos de atrito
- sistema de aquecimento e refrigeração com termo-regulador
- tampa
- mecanismo de registro

O viscoamilograma é de grande importância na avaliação do comportamento reológico de diferentes tipos de amido e

produtos amiláceos, registrando o atrito oferecido pela suspensão frente ao tempo, temperatura e velocidade empregados.

O método adotado na realização deste teste foi o AACC 22-10 (1983) onde, inicialmente fez-se uma suspensão farinha-água, a qual foi transferida para o recipiente da amostra no equipamento, conectando-o ao cabeçote. Com o aparelho ajustado à 75 rpm de rotação e temperatura inicial de 25°C, iniciou-se o ciclo de aquecimento (1,5°C/min). Ao atingir 95°C, a temperatura permaneceu constante por 20 min e, a seguir foi iniciado o ciclo de resfriamento até ser atingido 50°C (1,5°C/min).

No gráfico obtido, procedeu-se à avaliação dos seguintes parâmetros:

- Temperatura de pasta: É a temperatura (°C) onde a viscosidade começa a aumentar. Depende da concentração da suspensão (é inversamente proporcional) e está ligada à sensibilidade do equipamento. Pode ser um índice das características do miolo no produto final, quando produzido a partir de farinha de trigo. A temperatura de pasta é maior do que a temperatura de gelatinização (perda da birrefringência).

- Viscosidade máxima: Representa a viscosidade (U.A.) resultante da quantidade de grânulos inchados e grânulos rompidos. O melhor tipo de produtos provenientes de farinha de trigo, é obtido com curvas de viscosidades máximas intermediárias (450-640 U.A.).

- Temperatura de viscosidade máxima: É a temperatura, em °C, do pico de viscosidade máxima.

- Viscosidade mínima à temperatura constante: Representa a resistência dos grânulos inchados de amido à agitação mecânica, expressa em U.A..

- Viscosidade máxima no resfriamento: É um índice do comportamento do amido na fase de retrogradação, onde ocorre o reagrupamento das moléculas de amilose lixiviadas. O aumento da viscosidade a 50°C, é expresso em U.A..

- Faixa de gelatinização: É a temperatura (°C) correspondente à diferença entre a temperatura de viscosidade máxima e a temperatura de pasta.

3. Processo de Panificação

a. Metodologia

O método empregado na elaboração dos pães não segue os convencionais. A formulação e metodologia adotadas foram publicadas pela FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations), em 1989, embora algumas alterações tenham sido realizadas para melhor padronização dos experimentos.

i. Formulação

A formulação publicada pela FAO (1989), utilizava grandes quantidades de ingredientes, a adequação da formulação aos equipamentos exigiu a redução destas quantidades à proporção de 1:10.

* Pasta

40 g de farinha de arroz em 220 ml de água. Aquecer até que a suspensão fique translúcida. Remover do fogo e resfriar.

Esta etapa de gelatinização, para melhor padronização foi realizada em um viscoamilógrafo Brabender da seguinte maneira: inicialmente fez-se uma suspensão farinha de arroz-água, nas proporções pré-estabelecidas, a qual foi transferida para o recipiente da amostra no equipamento, conectando-o ao cabeçote. Com o equipamento já ajustado (75 rpm e temperatura inicial de 25°C) iniciou-se o ciclo de aquecimento (1,5°C/min). Ao atingir 95°C, o equipamento era desligado. Com a gelatinização interrompida, a pasta era transferida para um recipiente e mantida em banho de água fria até o resfriamento.

* Massa

Adicionar à pasta:

200 g de farinha de arroz

10 g de açúcar

4 g de sal

4 ml de óleo comestível

Misturar. Adicionar 2,5 g de fermento, diluído em 16 ml de água contendo 0,5 g de açúcar e misturar por mais 5 minutos. Deixar crescer.

Esta etapa da mistura foi realizada no Farinógrafo Brabender, que possui uma capacidade compatível com a formulação e proporciona a obtenção de uma massa homogênea com velocidade de mistura padronizada à 63 rpm.

* Fermentação

A câmara de fermentação utilizada faz parte do equipamento Maturógrafo Brabender, que mantém a temperatura e umidade relativa constantes, como sendo 30°C e 80-85% U.R. respectivamente.

* Forneamento

A etapa de cozimento dos pães foi realizada em um forno elétrico doméstico da marca LAYR, a umidade do forno foi obtida a partir de recipientes de grande superfície, com água fervente colocados no interior do mesmo. A temperatura ideal para o cozimento foi mantida através do termostato do forno, auxiliado por um termômetro estrategicamente colocado no interior do forno.

b- Ensaios Preliminares

Com base na formulação de pão sem trigo publicada pela FAO, 1989 (Food and Agriculture Organization of the United Nations), iniciou-se o estudo.

Os primeiros testes foram direcionados para o estudo do comportamento da massa. Foram realizados vários testes de gelatinização da farinha de arroz, para se determinar o momento ideal da interrupção. A padronização deste tempo de gelatinização foi estabelecida com o emprego do viscoamilógrafo, sendo definido 95°C como a temperatura onde a gelatinização deveria ser interrompida.

A etapa da mistura foi realizada no farinógrafo para se obter uma completa e homogênea mistura dos ingredientes.

Durante os ensaios preliminares estabeleceu-se a sequência da adição dos ingredientes e o tempo máximo da mistura como, primeiro a farinha, em seguida a pasta, após 2 minutos de mistura, adição dos demais ingredientes. A mistura deveria ser interrompida após 7 minutos do início.

O peso dos pães foi estabelecido após vários testes onde variou-se o recipiente e a quantidade de massa que forneceriam 1g/cm^3 de produto, ou seja, 100g de massa distribuída em formas com as seguintes dimensões: 8,5 x 4,0 x 3,0 cm.

A etapa da fermentação foi estudada para se estabelecer os tempos de fermentação a serem estabelecidos como variável de processo.

Na etapa do cozimento, o tempo e a temperatura do forno foram estabelecidos em função de vários experimentos onde estudou-se combinações de diferentes tempos e temperaturas, como pode ser visto na tabela (2).

Em função do aroma, coloração da crosta, aspecto do miolo e da viabilidade econômica, estabeleceu-se a temperatura do forno como 240°C e o tempo de cozimento em 40 minutos.

Com os resultados obtidos durante os ensaios preliminares pode-se definir o procedimento e as variáveis de processo e formulação que seriam analisadas.

Tabela 2 - Tempos e temperaturas analisadas nos ensaios preliminares

	Temperaturas (°C)			
	150	180	210	240
T	--	--	--	30
E	40	40	40	40
M	--	--	45	--
P	--	--	50	--
O	60	60	--	--
S	--	--	--	--
(min)	80	80	--	--

4- Análise Estatística dos Experimentos

a- Delineamento estatístico

A partir dos resultados obtidos durante os testes preliminares, estabeleceu-se as variáveis a serem estudadas em combinação, na expectativa de se analisar o efeito proporcionado às características de qualidade dos pães de farinha de arroz. As variáveis estabelecidas foram: quantidade de fermento (F), quantidade de água (A), proporção pasta/farinha (P) e tempo de fermentação (T).

Para estudar o efeito combinado dessas variáveis nas características de qualidade dos pães foi empregado um experimento estatisticamente delineado em superfície de resposta do tipo central composto rotacional de 2^a ordem (COCHRAN & COX, 1964).

As variáveis foram examinadas em 3 níveis codificados como -1, 0, +1. Os valores reais correspondentes a esses níveis aparecem na Tabela 3 e foram calculados de acordo com a seguinte equação:

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}$$

onde:

x_i = valor codificado da variável x_i

X_i = valor real da variável

$\bar{X}_i$ = valor real da variável no ponto central

ΔX_i = intervalo de variação de X_i

Os valores máximo e mínimo de cada variável foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de panificação e com base nos diversos ensaios preliminares.

O delineamento central, composto de 2ª ordem, exigiu um número mínimo de 31 tratamentos para $K=4$ (variáveis independentes) obedecendo às seguintes combinações de níveis de variáveis codificadas: 2 fatoriais (combinam os níveis +1 e -1), 2k axiais (combinam $+\alpha$ e $-\alpha$ com as outras em 0) e o restante com todas as variáveis no ponto central (nível 0). O valor de α é dependente do número de pontos do conjunto fatorial e é definido pela equação, segundo BOX & WILSON (1951):

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4}$$

onde:

F = corresponde ao conjunto fatorial

k = número de variáveis independentes

Tabela 3 - Variáveis e níveis de variação

Variáveis	Níveis de variação				

	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
X_1 = Quantidade de fermento(%)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
X_2 = Quantidade de água (%)	80	90	100	110	120
X_3 = Proporção pasta/farinha (%)	10	15	20	25	30
X_4 = Tempo de fermentação (min)	60	80	100	120	140
$\alpha=2$ para K=4 (quatro variáveis independentes)					

O desenho do delineamento está apresentado nas Tabelas 4 e 5.

b- Análise estatística dos resultados

Para a análise dos resultados experimentais foi empregada a metodologia de superfície de resposta, a qual descreve o comportamento da variável dependente (Y) frente às mudanças nas variáveis independentes (X_k), no intervalo estudado (DRAPER & SMITH, 1966).

Em um sistema envolvendo uma resposta Y , que depende das variáveis $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_k$ a resposta pode ser escrita da seguinte forma:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

Através de uma análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta (Y) um polinômio completo de 2ª ordem com as variáveis explicativas (X_k). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita como segue:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 + B_{44}X_4^2 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{14}X_1X_4 + B_{23}X_2X_3 + B_{24}X_2X_4 + B_{34}X_3X_4 + E$$

onde:

Y_i = função resposta

X_1, X_2, X_3, X_4 = níveis codificados das variáveis independentes

$B_{(s)}$ = coeficientes estimados pelo método dos mínimos quadrados

E = resíduo que mede o erro experimental

O polinômio preditivo para cada resposta sómente pode ser empregado dentro do intervalo estudado, fixado pelos níveis extremos das variáveis independentes (X_k).

Tabela 4 - Delineamento experimental composto rotacional para quatro variáveis em três níveis - valores codificados.

Tratamentos	Níveis das variáveis			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1
15	-1	1	1	1
16	1	1	1	1
17	-2	0	0	0
18	2	0	0	0
19	0	-2	0	0
20	0	2	0	0
21	0	0	-2	0
22	0	0	2	0
23	0	0	0	-2
24	0	0	0	2
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0

X_1 - Quantidade de fermento

X_2 - Quantidade de água

X_3 - Proporção pasta/farinha

X_4 - Tempo de fermentação

Tabela 5 - Delineamento experimental composto rotacional para as variáveis estudadas, em três níveis - valores reais.

Tratamentos	Níveis das Variáveis			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1.0	90	15	80
2	2.0	90	15	80
3	1.0	110	15	80
4	2.0	110	15	80
5	1.0	90	25	80
6	2.0	90	25	80
7	1.0	110	25	80
8	2.0	110	25	80
9	1.0	90	15	120
10	2.0	90	15	120
11	1.0	110	15	120
12	2.0	110	15	120
13	1.0	90	25	120
14	2.0	90	25	120
15	1.0	110	25	120
16	2.0	110	25	120
17	0.5	100	20	100
18	2.5	100	20	100
19	1.5	80	20	100
20	1.5	120	20	100
21	1.5	100	10	100
22	1.5	100	30	100
23	1.5	100	20	60
24	1.5	100	20	140
25	1.5	100	20	100
26	1.5	100	20	100
27	1.5	100	20	100
28	1.5	100	20	100
29	1.5	100	20	100
30	1.5	100	20	100
31	1.5	100	20	100

$\alpha = 2$ para $K = 4$ (quatro variáveis independentes)

X_1 - Quantidade de fermento (%)

X_2 - Quantidade de água (%)

X_3 - Proporção pasta/farinha (%)

X_4 - Tempo de fermentação (min)

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (teste F). Para o estudo da significância dos efeitos individuais foi observada a estatística t de Student, em cada uma das estimativas dos coeficientes. Os termos que não foram significativos foram retirados do modelo, o que levou a um novo ajuste, utilizando apenas os termos significativos no ajuste final.

Assim sendo, a partir da equação da regressão, variando-se duas variáveis enquanto as demais permanecem constantes (no ponto central), foi possível elaborar contornos de superfície de resposta dentro do intervalo estudado.

As respostas estudadas foram:

a. Organolépticas:

Y_1 = Volume

Y_2 = Cor da Crosta

Y_3 = Simetria

Y_4 = Características da crosta

Y_5 = Cor do miolo

Y_6 = Estrutura das células do miolo

Y_7 = Textura do miolo

Y_8 = Aroma

Y_9 = Gosto

b. Instrumentais

Y_{10} = Textura do miolo

Y_{11} = Cor do miolo

Y_{12} = Cor da crosta

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

5. Propriedades organolépticas e instrumentais dos pães

As propriedades organolépticas foram avaliadas 2 horas após o forneamento dos pães enquanto as instrumentais, 24 horas após.

a- Propriedades Organolépticas

Para a avaliação das propriedades organolépticas adotou-se a seguinte classificação de características de qualidades, de acordo com EL-DASH et alii (1982).

- Características Externas	Valor Máximo
. Volume	20
. Cor da crosta	10
. Quebra	05
. Simetria	05
- Características Internas	
. Características da crosta	05
. Cor do miolo	10
. Estrutura das células do miolo	10
. Textura do miolo	10
- Aroma e Gosto	
. Aroma	10
. Gosto	15

i- Volume

O volume é o espaço ocupado pelo pão, trata-se de determinação objetiva por ser realizada através do deslocamento de sementes de painço, duas horas após a saída do pão do forno.

Esta determinação foi realizada tres vezes em cada um dos quatro pães obtidos em cada tratamento, considerando-se a média aritmética dessas medidas.

Duas horas após a saída dos pães do forno foi realizado a pesagem, como cada tratamento produziu quatro pães, considerou-se a média aritmética dessas medidas. Com a média dos volumes e pesos obtidos, fez-se a relação peso/volume. O valor expresso em cm^3/g obtido na relação foi multiplicado pelo fator 3,33, estabelecido por representar $6 \text{ cm}^3/\text{g}$, que é o peso específico considerado ideal (EL-DASH, et alii, 1982).

O valor obtido pela multiplicação do peso específico pelo fator pode oscilar entre 0 e 20, e foi apresentado na tabela de avaliação como o volume do pão.

ii- Cor da crosta

A cor da crosta deve ser dourada, homogênea e brilhante, uma cor muito escura resulta de uma temperatura do forno muito alta ou excesso de cozimento, enquanto que a coloração muito clara é o resultado de massas super fermentadas ou forno com temperatura baixa, ou ainda tempo de cozimento muito curto (EL-DASH, et alii 1982).

A cor da crosta, segundo PYLER (1988a) é marcadamente afetada pelo nível de açúcar residual presente na massa, que deriva da fermentação e da atividade amilolítica.

Para a análise visual da cor da crosta foi atribuído uma nota de 0 a 10, levando em consideração os fatores como, a uniformidade, o brilho e o tom (cor) propriamente dito, atribuindo melhores notas aos pães que não possuíam cor muito escura ou muito clara.

iii- Quebra

A quebra é a abertura das partes laterais superiores da massa que ocorre durante o oven spring. Quando se apresenta de maneira uniforme significa que a massa passou por um processo adequado de fermentação e por um forneamento com condições corretas (PYLER, 1988a).

A quebra é desejável porque contribui para a aparência do pão, e portanto foi analisada sensorial e criteriosamente sendo-lhe atribuída notas de 0 a 5, levando-se em consideração os fatores indesejáveis como sua ausência, desigualdade e aspereza.

iv- Simetria

A simetria do pão é avaliada porque sua ausência é um índice de manuseio e processamento inadequado.

Massas com baixo conteúdo de água, com mistura e fermentação inadequadas, atividade diastática insuficiente ou manuseio grosseiro provavelmente terá as laterais encolhidas e as extremidades pequenas (EL-DASH, et alii 1982).

O pão deve possuir a parte superior da crosta arredondada, livres de asperezas e com as extremidades bem definidas (PYLER, 1988a).

A simetria foi avaliada sensorialmente, atribuindo-lhe valores de 0 a 5, sendo que os fatores indesejáveis considerados foram as laterais, pontas e parte superior desiguais.

v- Características da crosta

A crosta ideal deve ser fina e não dura ou borrachenta, mas que possua uma espessura e cor interna uniforme, com células bem definidas e homogêneas.

As características da crosta foram avaliadas sensorialmente, sendo atribuídas notas variando de 0 a 5. Os fatores indesejáveis à crosta analisados foram, borrachenta, quebradiça, dura, muito grossa e muito fina.

vi- Cor do miolo

A cor do miolo é o resultado dos ingredientes empregados na formulação onde, a farinha desempenha o papel principal.

A uniformidade e granulosidade das células do miolo influenciam a percepção da cor, a qual deve ser branco-levemente creme, livre de estrias e pontos mais escuros.

A avaliação da cor do miolo deve ser realizada em superfícies recentemente cortadas pois o miolo tende a escurecer após uma exposição prolongada, segundo PYLER, (1988).

A cor do miolo foi avaliada sensorialmente, em superfícies recém cortadas, sendo os fatores indesejáveis estabelecidos com a cor cinza, opaca desigual e tonalidade escura. A estes miolos foi atribuída uma nota oscilando de 0 a 10.

vii- Estrutura das células do miolo

A estrutura das células do miolo é afetada tanto pela qualidade da farinha como pela etapa da fermentação. Para que a estrutura de células seja a ideal, deve ser bem homogênea com células levemente alongadas com paredes finas e sem buracos, pois caso contrário, as células muito abertas indicam um glútem fraco ou não desenvolvido e os buracos podem ser devido à fermentação e moldagem inadequada ou ao fermento de baixa qualidade ou contaminado, segundo EL-DASH, et alii (1982).

A estrutura das células do miolo foi avaliada sensorial e criteriosamente com base nos fatores considerados indesejados como a falta de uniformidade, presença de buracos muito aberto ou fechados, atribuindo um valor de 0 a 10.

viii- Textura do miolo

A textura do miolo é considerada segundo PYLER, (1988) como um dos atributos mais importante para a qualidade por estar relacionada com a frescura do pão, sendo influenciada pela granulosidade ou estrutura das paredes do miolo. As células de parede fina e uniformes quanto ao formato proporcionam uma textura do miolo macia, suave e elástica.

A textura do miolo foi avaliada sensorialmente através do

tato, pressionando os dedos levemente contra a superfície recém cortada, considerando como fatores indesejáveis a falta de uniformidade, a superfície áspera, compacta e seca. Após a análise foi atribuído uma nota oscilando entre 0 e 10.

ix- Aroma

O aroma é o atributo de qualidade percebido através do olfato. Por ser o maior componente do sabor, torna-se de vital importância na determinação da preferência do consumidor.

O aroma foi avaliado sensorialmente através do sentido do olfato, mantendo-se o pão próximo à narina para que a sua identificação fosse correta. A este aroma percebido foi atribuído uma nota oscilando entre 0 e 10, sendo que a falta de aroma, aroma desagradável, estranho, muito forte ou muito fraco levavam a uma redução na nota.

x- Gosto

O gosto é o segundo maior componente do sabor, sendo dificilmente distinguido pelos consumidores no momento da aquisição.

Segundo vários autores, o gosto é entendido como as sensações percebidas principalmente na língua e cavidade bucal, ativadas por meios químicos. São definidas quatro sensações básicas como ácido, salgado, doce e amargo, sendo as outras sensações degustativas provenientes da mistura destas quatro em diferentes proporções (GARRUTI, 1964; McNAMARA & DANKER, 1968; BARTLEY, 1969).

O pão deve desintegrar-se rapidamente durante a mastigação, sem formar uma massa pegajosa de difícil mastigação. No geral, segundo PYLER, (1988), toda a avaliação da qualidade de mastigação do pão que envolve vários fatores como a textura, sabor, mastigabilidade, densidade do miolo, entre outros, é altamente subjetivo além de ser um processo individual influenciado pela preferência.

Para este trabalho o gosto foi avaliado sensorialmente, considerando-se como fatores indesejáveis à qualidade o gosto ácido, estranho, goma, massa e o remanescente. Ao gosto foi atribuído uma nota oscilando entre 0 e 15.

b- Propriedades Instrumentais

i- Textura do miolo

As análises de textura foram realizadas com tres repetições. Para esta análise duas fatias de pão de 12,5 mm de espessura foram empilhadas de forma a fornecer uma amostra de 25 mm de espessura.

O teste de compressão foi realizado com o emprego do Analisador de Textura TA-XT2 (Texture Technologies Corp. - NY - USA); foi utilizado o cilindro de acrílico ligeiramente radiado de 1" de diâmetro. A velocidade de penetração foi de 1,7 mm/seg e a profundidade de penetração foi de 10mm. Os resultados foram expressos em gramas.

ii- Cor da crosta e Cor do miolo

As análises de cor foram realizadas com o emprego do Colorímetro Digicolor (Gardner/Neotec Instruments Division-USA). Foi empregado o iluminante C de opacidade comprovada, na crosta e miolo dos pães.

Os resultados médios das triplicatas analisadas foram expressos no sistema L^* a^* b^* CIE, sendo o valor de L^* a luminosidade, de a^* o vermelho e de b^* o amarelo.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. OBTENÇÃO DA FARINHA DE ARROZ

1. Rendimento em arroz

O arroz em casca (40 Kg) apresentou após o beneficiamento e polimento um rendimento de 65% (26 Kg).

2. Rendimento em farinha

O rendimento em farinha de arroz está apresentado na tabela 6, sendo que dos 26 Kg de arroz polido apenas 20,6 Kg foram moídos.

Tabela 6: Rendimento em farinha

PRODUTO	Quantidade obtida em Kg	Rendimento (%)
Farinha de quebra	4,650	22,57
Farinha de redução	15,250	74,03
Farelinho	0,200	0,97
Farelo	0,150	0,73

B. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES DA FARINHA DE ARROZ

1. Composição química da farinha de arroz

A composição química da farinha de arroz está apresentada na tabela 7.

Tabela 7: Composição química da farinha de arroz

COMPONENTES	% base seca
Umidade	12,67 (b.u)
Proteína (x 5,95)	6,53
Gordura	0,50
Cinzas	0,26
Carboidratos totais (por diferença)	80,04

Esses valores estão em concordância com valores encontrados na literatura (NISHITA, 1973; NISHITA et alii, 1976; NISHITA & BEAN, 1979; JULIANO, 1985; YLIMAKI et alii, 1988), com excesso de cinzas, cujo valor encontrado foi um tanto baixo. No entanto, pelo método empregado no polimento do arroz, houve uma grande preocupação em retirar toda a casca, o que levou a uma redução do teor de cinzas.

2. Propriedades da farinha de arroz

O comportamento reológico da farinha de arroz pode ser analisado no viscoamilograma apresentado na figura 7.

O teste foi realizado a uma concentração de 8% de farinha. De acordo com o viscoamilograma, os resultados obtidos estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8- Propriedades da farinha de arroz

PARÂMETROS	
Temperatura de pasta	53,3°C
Viscosidade máxima	400 U.A
Temperatura de viscosidade máxima	63,8°C
Viscosidade mínima à temperatura constante	390 U.A
Viscosidade máxima no resfriamento	800 U.A
Faixa de gelatinização	10,5°C

Esses valores estão em concordância com valores encontrados na literatura (NISHITA & BEAN, 1979).

C. EFEITO DA QUANTIDADE DE FERMENTO, QUANTIDADE DE ÁGUA, PROPORÇÃO PASTA/FARINHA E TEMPO DE FERMENTAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DOS PÃES DE FARINHA DE ARROZ

1. Testes Organolépticos

A avaliação da qualidade de pães pode ser realizada organolépticamente analisando-se as características externas, internas, aroma e gosto, segundo um critério de notas pré-estabelecido e aceito (EL-DASH et alii, 1982).

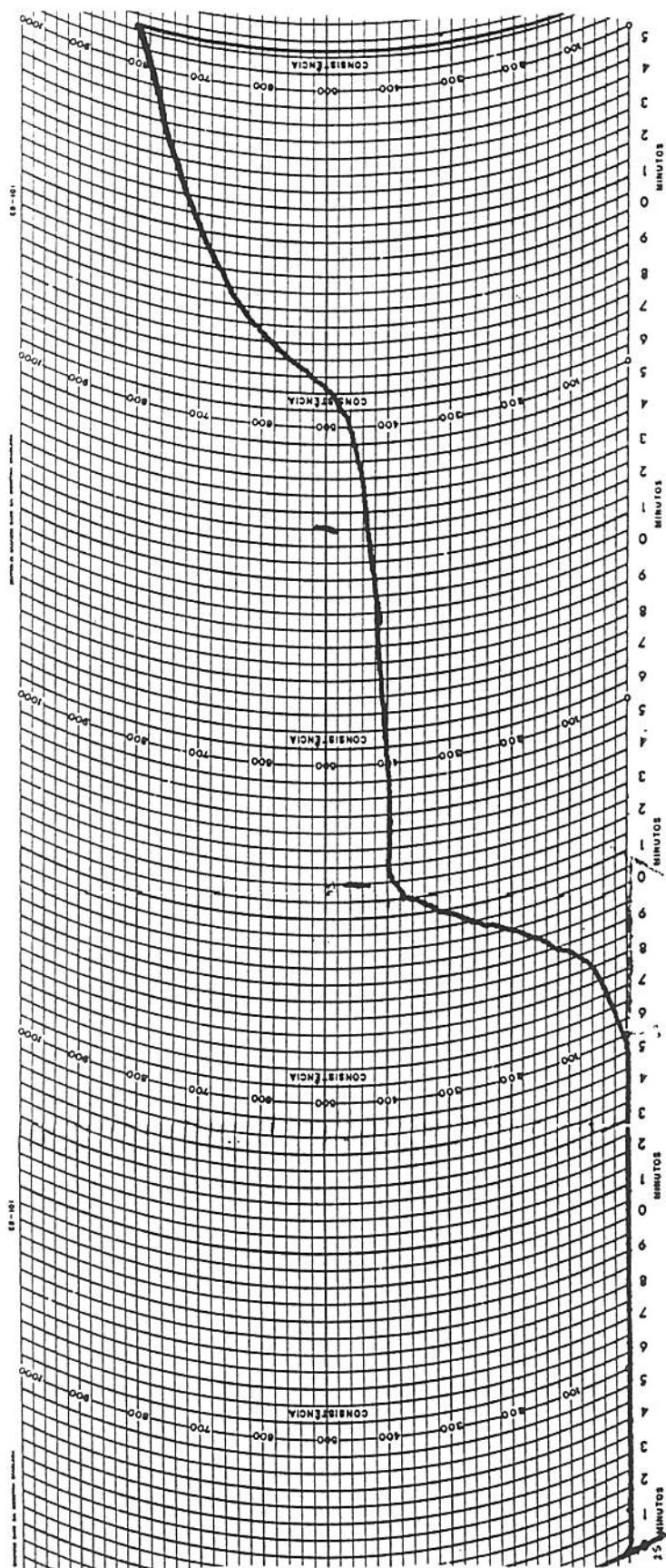


FIGURA 7 - Viscoamulograma da farinha de arroz (8%)

a. Características Externas

A avaliação das características externas de qualidade dos pães compreendem algumas variáveis que definem a sua aceitabilidade.

i. Volume

O volume do pão é uma consideração importante para a aceitabilidade dos consumidores. É de grande importância na determinação da qualidade porque, o mesmo é afetado por vários fatores ligados à qualidade dos ingredientes usados na formulação da massa, especialmente a farinha e os tratamentos usados durante o processamento. Um volume excessivamente grande não seria um fator negativo porém, este pão usualmente possuiria uma textura fraca e uma granulosidade grosseira, características que não são aceitáveis em um pão de boa qualidade, segundo EL-DASH (1982).

Alguns pães especiais possuem baixos valores de centímetros cúbicos por grama (volume), ou seja, eles são mais densos e mais compactos, e este fato não os torna inaceitáveis pelos consumidores (MATZ, 1960).

Os valores obtidos experimentalmente para o volume segundo condições dos tratamentos estão apresentados na tabela 9.

De acordo com os dados experimentais foi estabelecido o modelo de regressão completo. A partir da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos, dando origem a um modelo reajustado. A ANOVA para o modelo reajustado pode ser visto na tabela 10.

O modelo de regressão reajustado é altamente significativo ($p=0,0001$) e explica 84% da variação do volume ($R^2=0,84$) em função das quatro variáveis estudadas, podendo o polinômio descrito na equação 1 ser usado para fins preditivos.

$$Y = -1,26 + 8,41 \cdot 10^{-2} A - 3,28 \cdot 10^{-3} AP + 4,12 \cdot 10^{-3} P^2 + 1,18 \cdot 10^{-3} PT - 9,31 \cdot 10^{-5} T^2$$

(equação 1)

Através da equação 1 foram geradas superfícies de resposta, ilustrando o efeito das variáveis sobre o volume, que serão analisados a seguir.

Pode-se observar pela ANOVA da tabela 10 que o volume mostrou ser dependente dentre as quatro variáveis estudadas, da quantidade de água. O efeito linear da quantidade de água e do efeito combinado da quantidade de água e proporção pasta/farinha, apresentaram maior significância ($p=0,0001$), enquanto o efeito quadrático do tempo de fermentação apresentou menor significância ($p=0,0100$). As variáveis apresentadas pelo modelo são significativas ao nível de 10%.

a. Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha

Na figura 8 pode ser visualizado o efeito combinado da quantidade de água e proporção pasta/farinha, em cuja região estudada apresentou um ponto de sela.

Verificou-se que para menores quantidades de água o volume aumentou com o aumento da proporção pasta/farinha, já

para grandes quantidades de água o efeito da proporção pasta/farinha foi inverso.

Assim, o maior volume foi obtido com maior quantidade de água e menor proporção pasta/farinha porém, relacionando o volume com o estabelecido para pães de farinha de trigo, este ainda é pequeno.

A redução da proporção pasta/farinha e o aumento da quantidade de água contribuíram para o aumento do volume.

b. Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação

A superfície de resposta, apresentada na figura 9, ilustra o efeito combinado da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação, em cuja região estudada apresentou um ponto de sela.

Conforme mostra o diagrama, para menores proporções de pasta/farinha, aumento no tempo de fermentação até 110 minutos provocou aumento de volume, tempos de fermentação acima de 110 minutos levaram a uma redução do volume.

Assim, maior volume pode ser obtido com menor proporção pasta/farinha (10%), e um tempo de fermentação intermediário (110 minutos).

Durante a realização dos experimentos pode-se observar que os pães apresentaram um volume maior durante a fermentação sendo que, no forneamento o mesmo reduzia consideravelmente.

Tabela 9 - Influência das variáveis de processamento e formulação no volume dos pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Volume (v/p x 3,33)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
1	1.0	90	15	80	3.81
2	2.0	90	15	80	3.54
3	1.0	110	15	80	4.05
4	2.0	110	15	80	4.45
5	1.0	90	25	80	3.25
6	2.0	90	25	80	3.33
7	1.0	110	25	80	3.23
8	2.0	110	25	80	3.30
9	1.0	90	15	120	3.43
10	2.0	90	15	120	3.75
11	1.0	110	15	120	4.52
12	2.0	110	15	120	4.35
13	1.0	90	25	120	3.71
14	2.0	90	25	120	3.71
15	1.0	110	25	120	3.68
16	2.0	110	25	120	3.88
17	0.5	100	20	100	3.60
18	2.5	100	20	100	3.64
19	1.5	80	20	100	3.12
20	1.5	120	20	100	3.87
21	1.5	100	10	100	4.41
22	1.5	100	30	100	3.58
23	1.5	100	20	60	3.32
24	1.5	100	20	140	3.48
25	1.5	100	20	100	3.99
26	1.5	100	20	100	3.61
27	1.5	100	20	100	3.73
28	1.5	100	20	100	3.77
29	1.5	100	20	100	3.72
30	1.5	100	20	100	3.36
31	1.5	100	20	100	3.67

X₁ = Quantidade de fermento (%)

X₂ = Quantidade de água (%)

X₃ = Proporção pasta/farinha (%)

X₄ = Tempo de fermentação (min)

Tabela 10 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o volume dos pães

Média das respostas	3.71
Desvio-padrão	0.18
Coeficiente de variação	4.90
R ²	0.8417

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	5	3.3253	0.6651	26.59	0.0001
Resíduo	25	0.6252	0.025		
Total	30	3.9506			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	-1.26	
A	$8.41 \cdot 10^{-2}$	0.0001
AP	$-3.28 \cdot 10^{-3}$	0.0001
P ²	$4.12 \cdot 10^{-3}$	0.0005
PT	$1.18 \cdot 10^{-3}$	0.0014
T ²	$-9.31 \cdot 10^{-5}$	0.0100

A= Quantidade de água (%)

P= Proporção pasta/farinha(%)

T= Tempo de fermentação (min)

Avaliando o efeito das variáveis estudadas sobre o volume, verificou-se que maior volume ocorreu com as seguintes condições: maior quantidade de água, menor proporção pasta/farinha e tempo de fermentação entre 110 e 120 minutos. A variável quantidade de fermento não influenciou o volume dos pães de farinha de arroz.

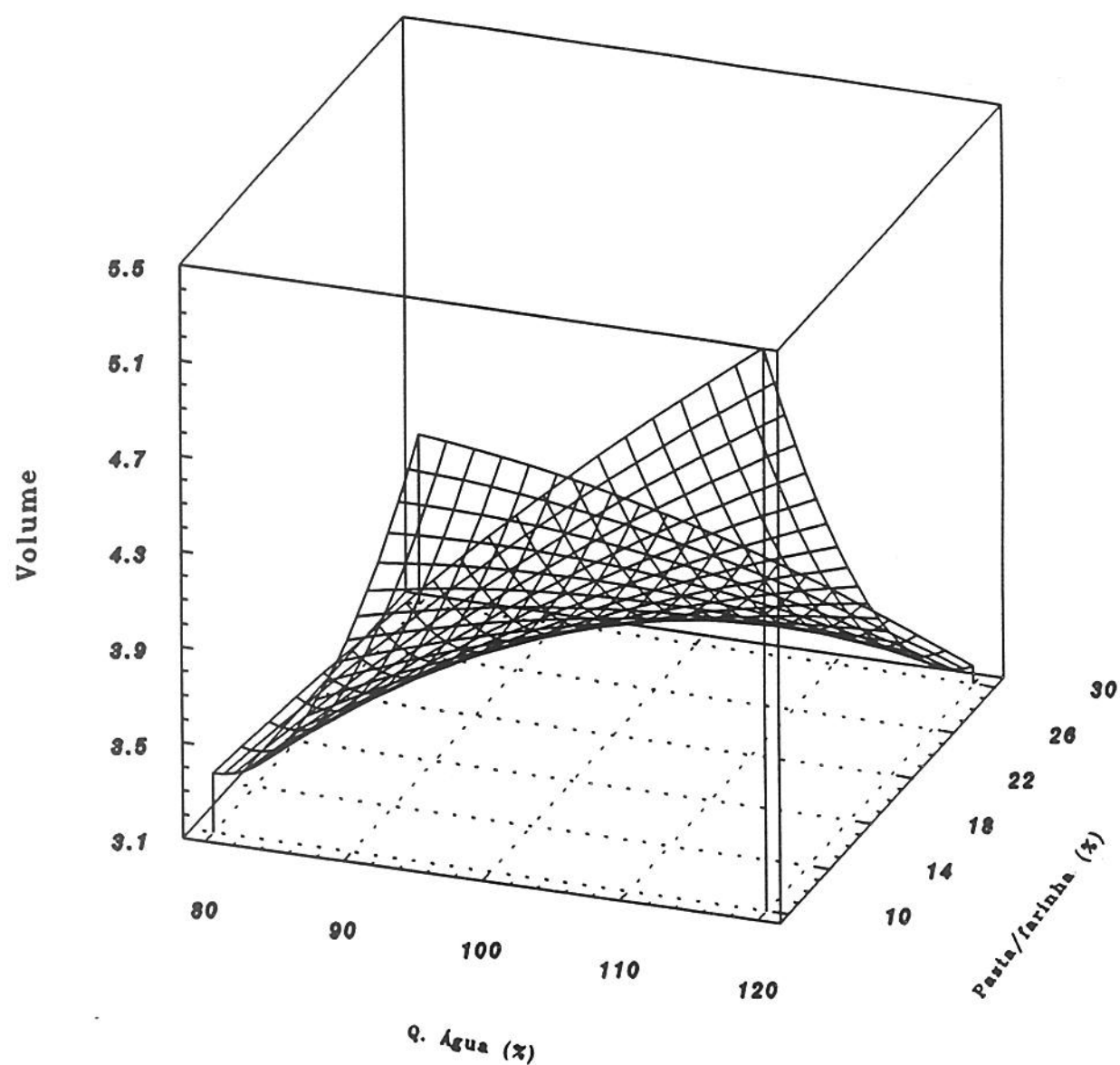


Figura 8 - Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no volume de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, tempo de fermentação = 100 min).

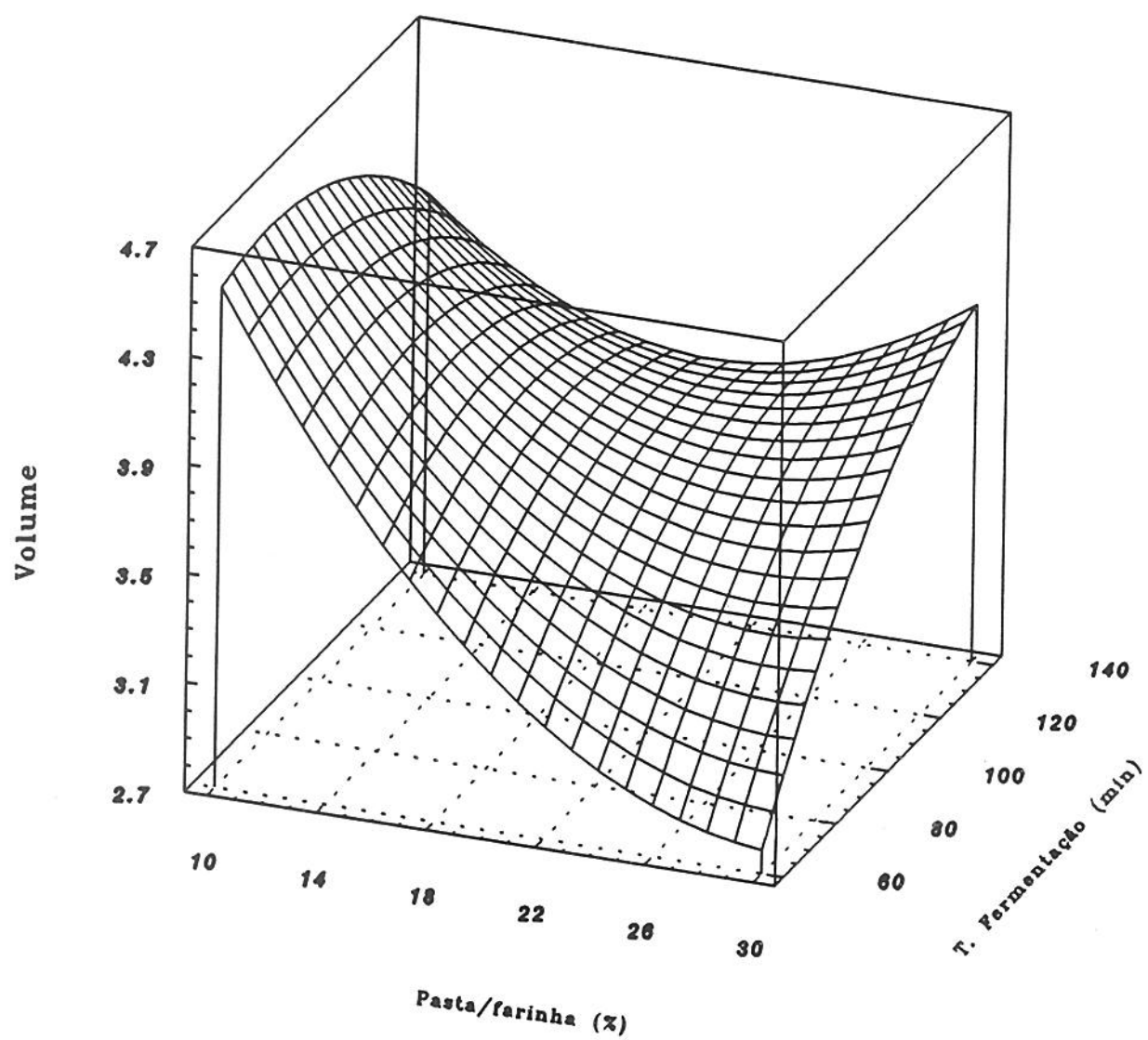


Figura 9 - Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no volume de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, quantidade de água = 100%).

ii. Cor da Crosta

A cor da crosta é uma característica de qualidade que interfere na aceitabilidade dos pães. Está diretamente relacionada com a quantidade de açúcar, enzimas e também pelas condições de processamento como o tempo de fermentação e a temperatura do cozimento. A cor da crosta é função da reação não-enzimática entre os açúcares redutores e os grupos amino primários durante o cozimento, a qual é induzida pela presença de íons de hidrogênio produzidos durante o processo de fermentação, segundo EL-DASH et alii (1982).

Normalmente a cor da crosta oscila entre um marrom de intenso dourado no topo e marrom levemente dourado nas laterais (PYLER, 1988a).

Os valores atribuídos experimentalmente para a cor da crosta segundo condições dos tratamentos estão apresentados na tabela 11.

De acordo com os dados experimentais, foi estabelecido o modelo de regressão completo. A partir da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos, dando origem a um modelo reajustado. A ANOVA para o modelo reajustado pode ser visto na tabela 12.

O modelo de regressão reajustado é significativo ($p=0,0002$) e explica 79% da variação da resposta ($R^2=0,79$), por isso, o polinômio descrito na equação 2 pode ser usado para prever os valores da cor da crosta, no intervalo estudado.

Tabela 11- Influência das variáveis de processamento e formulação no atributo cor da crosta de pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				cor da crosta (nota 0 - 10)
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	1.0	90	15	80	10.0
2	2.0	90	15	80	9.0
3	1.0	110	15	80	10.0
4	2.0	110	15	80	9.0
5	1.0	90	25	80	9.0
6	2.0	90	25	80	8.0
7	1.0	110	25	80	9.0
8	2.0	110	25	80	10.0
9	1.0	90	15	120	9.0
10	2.0	90	15	120	10.0
11	1.0	110	15	120	6.0
12	2.0	110	15	120	8.5
13	1.0	90	25	120	10.0
14	2.0	90	25	120	9.0
15	1.0	110	25	120	8.0
16	2.0	110	25	120	9.0
17	0.5	100	20	100	9.0
18	2.5	100	20	100	10.0
19	1.5	80	20	100	10.0
20	1.5	120	20	100	9.0
21	1.5	100	10	100	8.0
22	1.5	100	30	100	8.5
23	1.5	100	20	60	9.0
24	1.5	100	20	140	8.0
25	1.5	100	20	100	8.0
26	1.5	100	20	100	9.0
27	1.5	100	20	100	9.0
28	1.5	100	20	100	8.0
29	1.5	100	20	100	9.0
30	1.5	100	20	100	9.0
31	1.5	100	20	100	9.0

X_1 = Quantidade de fermento (%)

X_2 = Quantidade de água (%)

X_3 = Proporção pasta/farinha (%)

X_4 = Tempo de fermentação (min)

$$Y = 41,37 - 12,62 F - 41,11 \cdot 10^{-1} A - 8,31 \cdot 10^{-1} P + 1,44 \cdot 10^{-1} T + 8,68 \cdot 10^{-1} F^2 + 6,88 \cdot 10^{-2} FA + 2,17 \cdot 10^{-3} A^2 + 5,63 \cdot 10^{-3} AP + 3,43 \cdot 10^{-2} FT - 2,66 \cdot 10^{-3} AT + 2,81 \cdot 10^{-3} PT$$

(equação 2)

Através da equação 2 foram geradas superfícies de resposta, ilustrando o efeito das variáveis sobre a cor da crosta, que serão analisadas a seguir.

A ANOVA apresentada na tabela 12 indicou que a quantidade de fermento foi a variável de maior significância para a cor da crosta, enquanto que a quantidade de água foi a de menor significância.

a. Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água

A figura 10 ilustra o efeito da quantidade de água e quantidade de fermento na cor da crosta de pães de farinha de arroz.

Como mostra a figura pães com cor da crosta mais intensa podem ser obtidos trabalhando-se com quantidade reduzida de fermento em combinação com pequena quantidade de água, ou no extremo oposto, ou seja, com maiores quantidades de água e fermento.

Em regiões de maior quantidade de água o aumento na quantidade de fermento resultou em melhora na cor da crosta.

Tabela 12- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor da crosta dos pães

Média das respostas	8.90
Desvio-padrão	0.51
Coefficiente de variação	5.75
R ²	0.7870

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	11	17.4795	1.5891	6.38	0.0002
Resíduo	19	4.7302	0.249		
Total	30	22.2097			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	$4.14 \cdot 10^{+1}$	
F	$-1.26 \cdot 10^{+1}$	0.0005
A	$-4.10 \cdot 10^{-1}$	0.0594
P	$-8.30 \cdot 10^{-1}$	0.0078
T	$-1.40 \cdot 10^{-1}$	0.0530
F ²	$8.68 \cdot 10^{-1}$	0.0298
FA	$6.88 \cdot 10^{-2}$	0.0126
A ²	$2.20 \cdot 10^{-3}$	0.0298
AP	$5.60 \cdot 10^{-3}$	0.0361
FT	$3.43 \cdot 10^{-2}$	0.0126
AT	$2.60 \cdot 10^{-3}$	0.0004
PT	$2.80 \cdot 10^{-3}$	0.0361

F= Quantidade de fermento (%)
A= Quantidade de água (%)
P= Proporção pasta/farinha (%)
T= Tempo de fermentação (min)

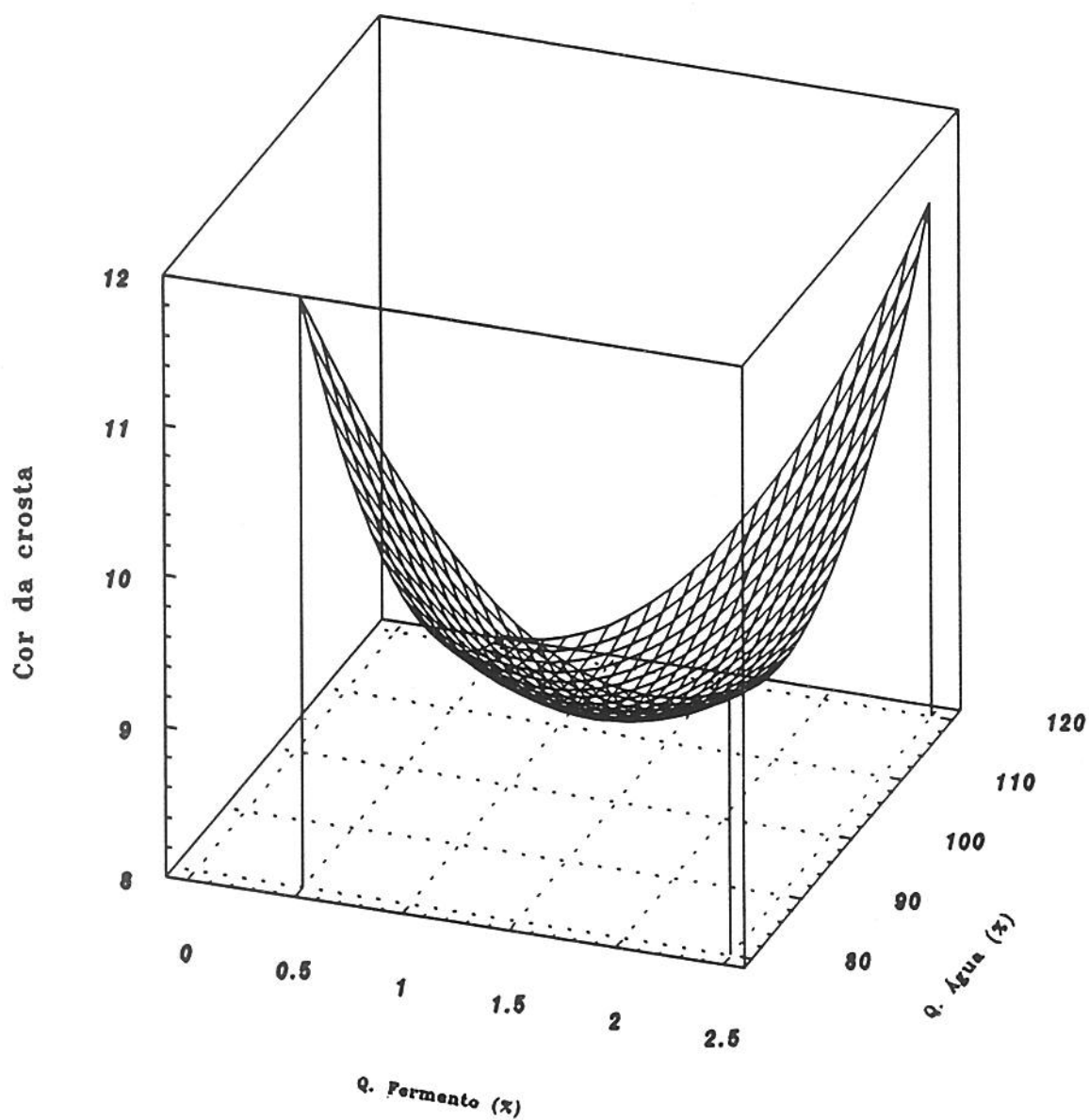


Figura 10 - Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água na cor da crosta de pães de farinha de arroz (proporção pasta/farinha = 20%, tempo de fermentação = 100 min)

b. Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação

A superfície de resposta, apresentada na figura 11, ilustra o efeito combinado da quantidade de fermento e tempo de fermentação, em cuja região estudada apresentou um ponto de sela.

Verificou-se que, para maiores quantidades de fermento, a cor da crosta melhorou com o aumento do tempo de fermentação, em contra-partida para menores quantidades de fermento a cor da crosta melhorou com a redução do tempo de fermentação.

Para se obter um pão com boa cor da crosta pode-se trabalhar com menor quantidade de fermento em combinação com menor tempo de fermentação ou, maior quantidade de fermento e maior tempo de fermentação.

c. Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha

No diagrama de superfície de resposta para cor da crosta em função da quantidade de água e proporção pasta/farinha, apresentado na figura 12, verificou-se a existência de um ponto de sela no intervalo estudado.

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que em regiões de maior quantidade de água a cor da crosta melhorou com o aumento da proporção pasta/farinha. Em regiões de menor proporção pasta/farinha, melhores resultados foram obtidos com a redução da quantidade de água.

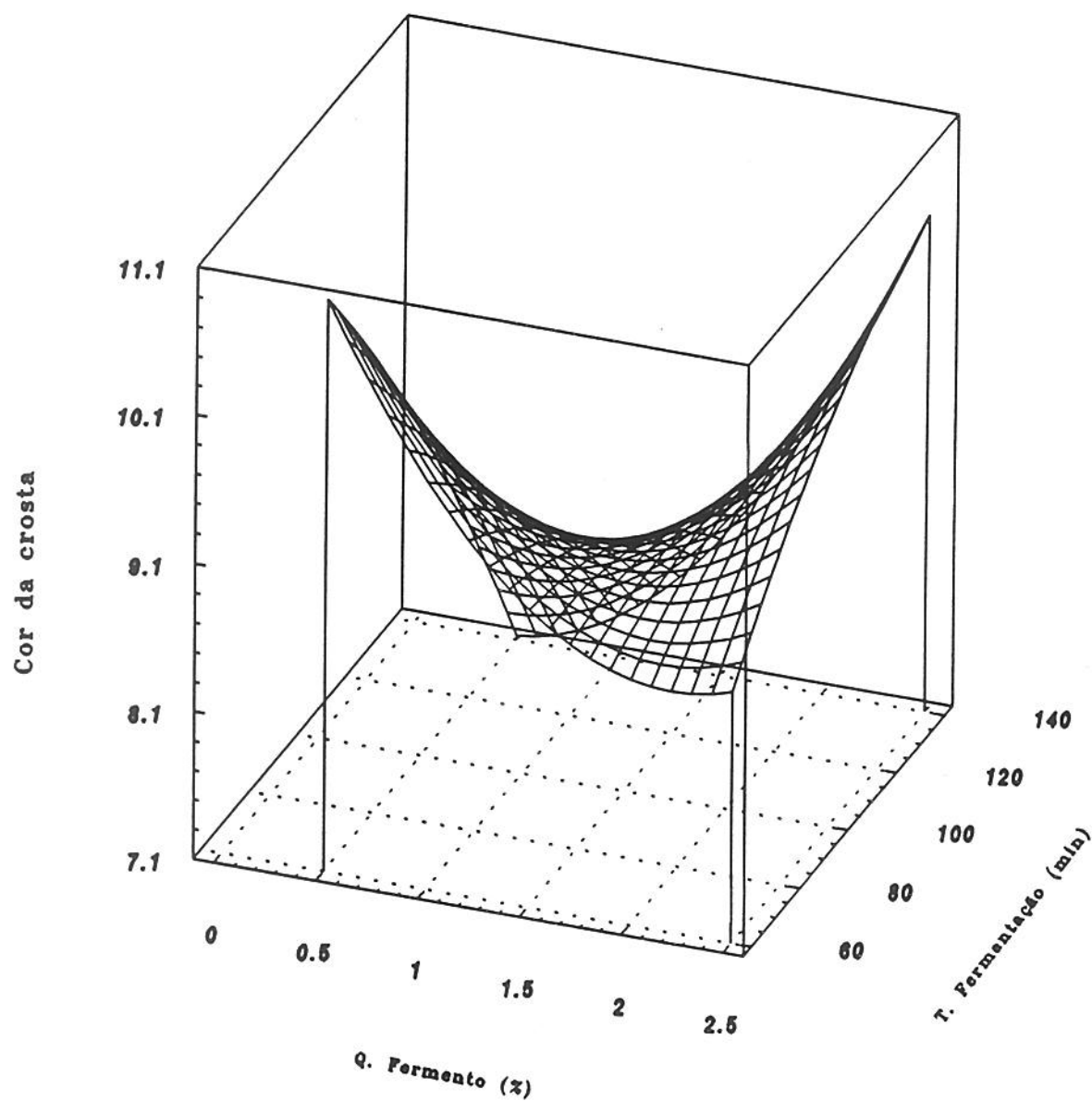


Figura 11 - Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na cor da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, proporção pasta/farinha = 20%)

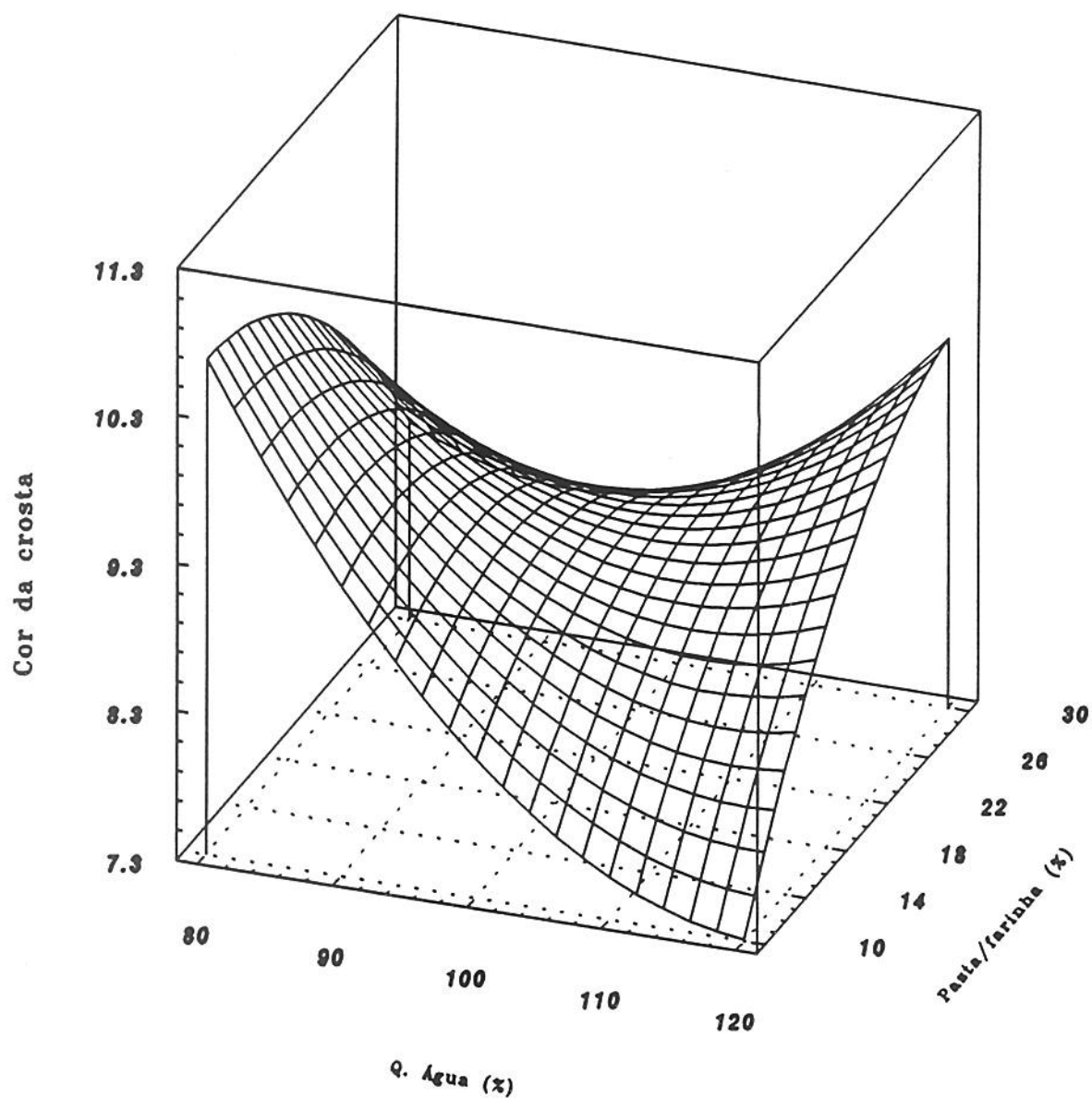


Figura 12 - Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha na cor da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, tempo de fermentação = 100 min).

Assim, pães de excelente cor da crosta podem ser obtidos com menor quantidade de água em combinação com menores proporções pasta/farinha (10-14%).

d. Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação

A figura 13 representa o efeito combinado da quantidade de água e tempo de fermentação na resposta cor da crosta, em cuja região estudada apresentou um ponto de sela.

Como mostra a figura com menores quantidades de água incrementos no tempo de fermentação resultou em melhora na cor da crosta. À medida que se aumentou a quantidade de água, a cor da crosta piorou com o aumento do tempo de fermentação. Trabalhando-se com menor tempo de fermentação incrementos na quantidade de água produziu melhora na cor da crosta.

Assim, a melhor cor da crosta pode ser obtida com menor quantidade de água e maior tempo de fermentação.

e. Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação

O efeito combinado da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação pode ser visualizado através da superfície de resposta apresentada na figura 14, onde se observou a presença de um ponto de sela.

Verificou-se que para menores proporções pasta/farinha incrementos no tempo de fermentação piorou a cor da crosta

porém, com maiores proporções pasta/farinha incrementos no tempo de fermentação resultou em melhora da cor da crosta. Trabalhando-se com menor tempo de fermentação a cor da crosta piorou à medida que se aumentou a proporção pasta/farinha porém, com maior tempo de fermentação aumentos na proporção pasta/farinha melhoraram a cor da crosta.

Assim, resultados de cor da crosta mais intensa foram obtidos com maior proporção pasta/farinha (próximo de 28%) e tempo de fermentação próximo de 90 minutos. Bons resultados também podem ser obtidos com menor proporção pasta/farinha e menor tempo de fermentação.

De acordo com os diagramas analisados pode-se verificar que o emprego de menores quantidades de água e fermento associados a maior proporção pasta/farinha e menor tempo de fermentação, resultaram em pães com excelente cor da crosta.

iii. Simetria

A simetria do pão é um atributo de aparência e depende das técnicas empregadas no manuseio e moldagem da massa, além das condições ideais de formulação e processamento (EL-DASH et alii, 1982).

Os valores atribuídos experimentalmente para a simetria segundo condições dos tratamentos estão apresentados na tabela 13.

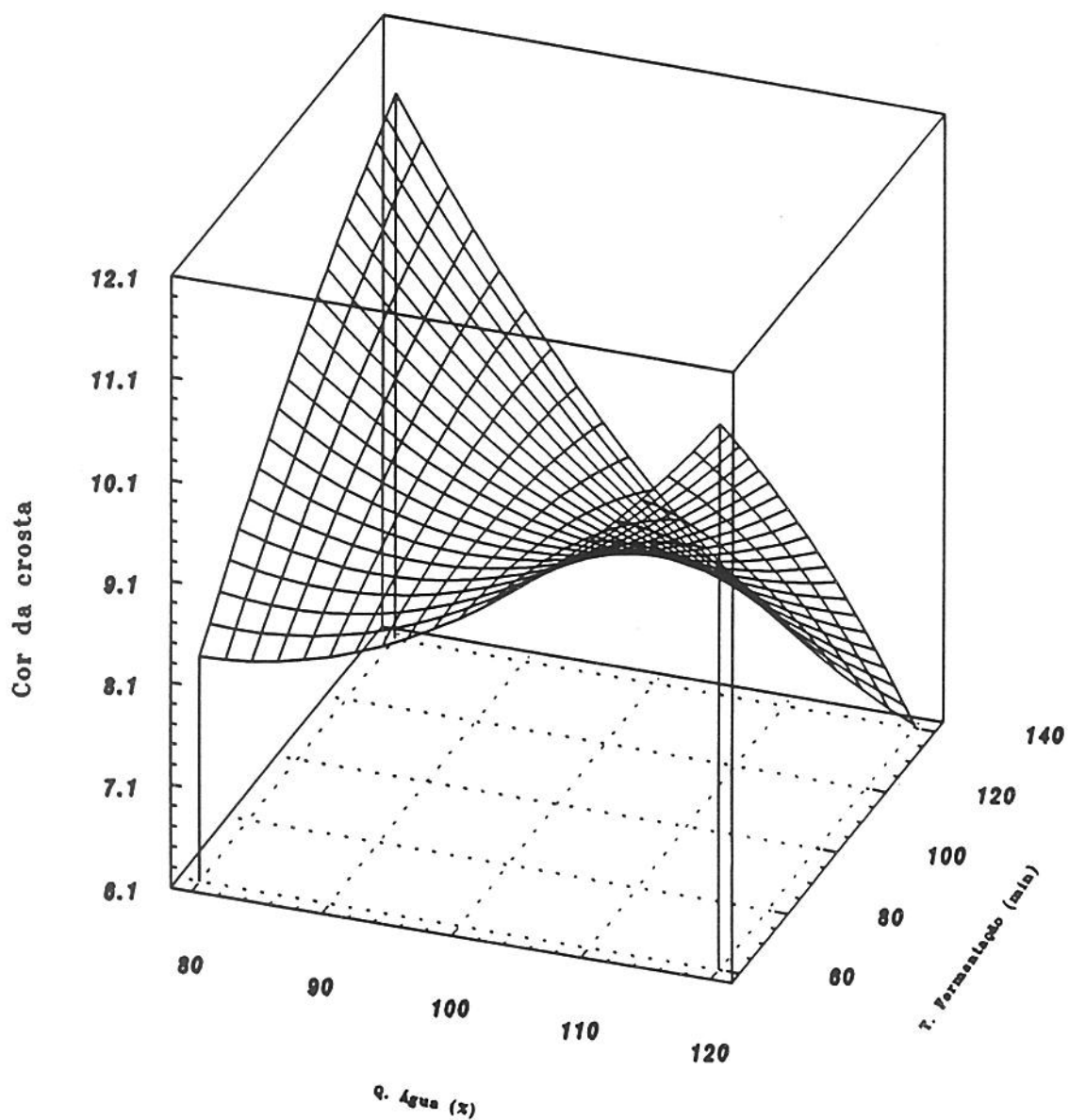


Figura 13 - Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação na cor da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento=1,5%, proporção pasta/farinha=20%)

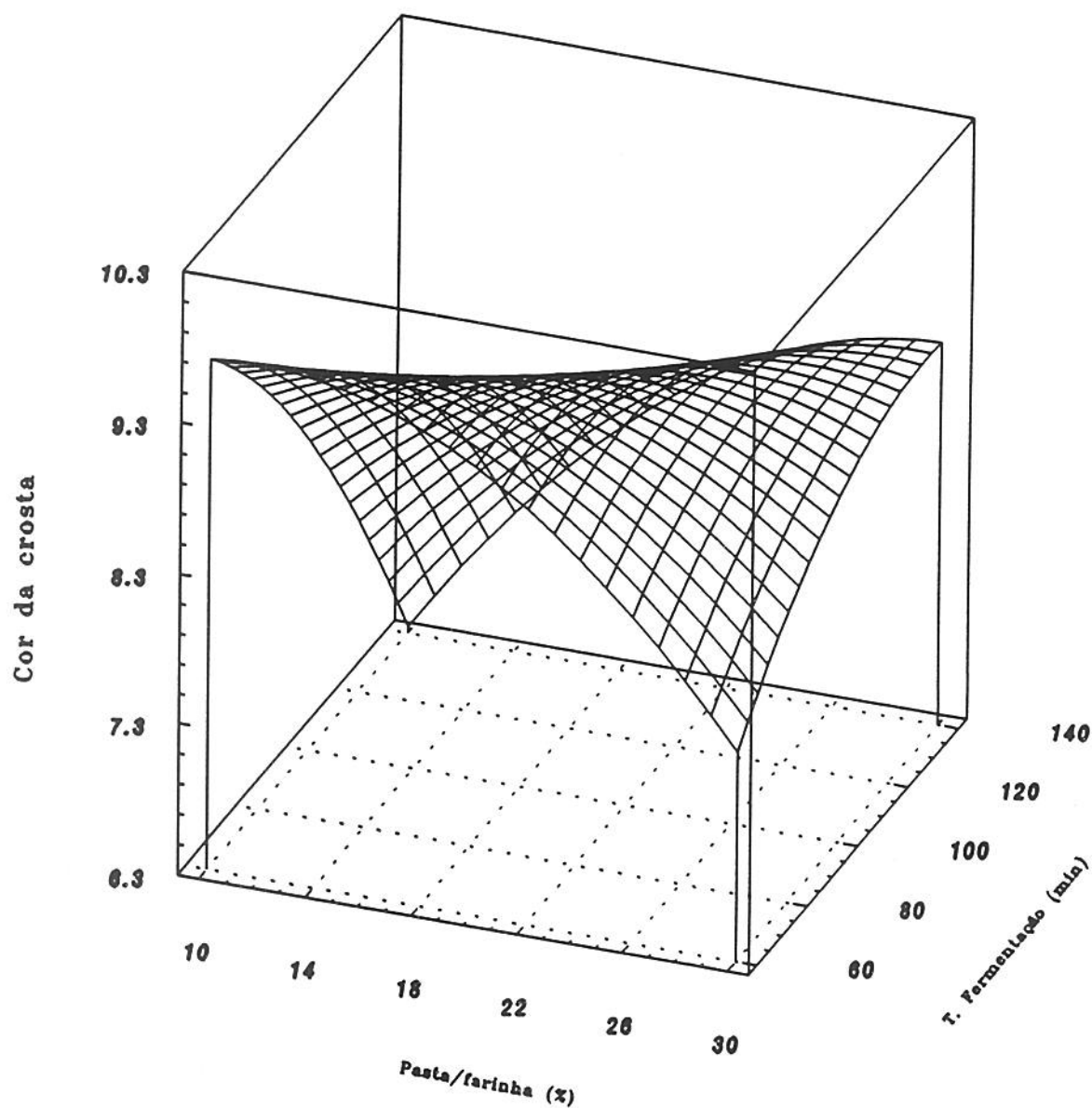


Figura 14 - Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação na cor da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento= 1,5%, quantidade de água= 100%)

De acordo com os dados experimentais, foi estabelecido o modelo de regressão completo. A partir da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos, dando origem a um modelo reajustado. A ANOVA para o modelo reajustado pode ser visto na tabela 14.

O modelo de regressão reajustado é pouco significativo ($p=0,0408$) e explica apenas 26% da variação da resposta (R^2), por isso, o polinômio descrito na equação 3 dificilmente poderá ser usado para prever os valores de simetria, no intervalo estudado.

$$Y = 11,64 - 3,46 \cdot 10^{-1} P - 6,46 \cdot 10^{-2} T + 3,13 \cdot 10^{-3} PT$$

(equação 3)

A ANOVA apresentada na tabela 14 indicou que apenas duas das quatro variáveis analisadas foram significativas para a simetria. Dos efeitos combinados e quadráticos apenas um foi significativo, indicando que a simetria dos pães pode ser dependente de outros fatores.

b. Características Internas

A análise das características internas dos pães completam a avaliação da qualidade. Vários são os atributos que a compõem, sendo todos analisados sensorialmente.

Tabela 13- Influência das variáveis de processamento e formulação no atributo simetria de pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Simetria (nota 0 - 5)
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	1.0	90	15	80	5.0
2	2.0	90	15	80	5.0
3	1.0	110	15	80	5.0
4	2.0	110	15	80	5.0
5	1.0	90	25	80	4.0
6	2.0	90	25	80	5.0
7	1.0	110	25	80	4.0
8	2.0	110	25	80	4.0
9	1.0	90	15	120	4.0
10	2.0	90	15	120	5.0
11	1.0	110	15	120	5.0
12	2.0	110	15	120	4.0
13	1.0	90	25	120	5.0
14	2.0	90	25	120	5.0
15	1.0	110	25	120	5.0
16	2.0	110	25	120	5.0
17	0.5	100	20	100	4.0
18	2.5	100	20	100	5.0
19	1.5	80	20	100	5.0
20	1.5	120	20	100	4.0
21	1.5	100	10	100	5.0
22	1.5	100	30	100	3.5
23	1.5	100	20	60	4.5
24	1.5	100	20	140	3.5
25	1.5	100	20	100	5.0
26	1.5	100	20	100	5.0
27	1.5	100	20	100	4.0
28	1.5	100	20	100	4.0
29	1.5	100	20	100	4.0
30	1.5	100	20	100	4.5
31	1.5	100	20	100	4.0

X_1 = Quantidade de fermento (%)

X_2 = Quantidade de água (%)

X_3 = Proporção pasta/farinha (%)

X_4 = Tempo de fermentação (min)

Tabela 14- Análise de variância e estimativa dos coeficientes para a simetria dos pães de farinha de arroz

Média das respostas	4.52
Desvio-padrão	0.52
Coeficiente de variação	11.53
R ²	0.2598

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	3	2.2708	0.7569	3.16	0.4048
Resíduo	27	6.4711	0.2397		
Total	30	8.7419			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	11.64	
P	-3.46.10 ⁻¹	0.0096
T	-6.46.10 ⁻²	0.0155
PT	3.13.10 ⁻³	0.0166

P= Proporção pasta/farinha (%)

T= Tempo de fermentação (min)

i. Características da crosta

O aspecto da camada interna da crosta é importante para a qualidade do pão. Uma boa crosta deve ser fina e não dura ou borrachenta. A presença de bolhas ou uma crosta grossa ou dura evidenciam problemas que podem estar relacionados com a farinha empregada; quantidade de açúcar; tempo e umidade da fermentação; umidade, tempo e temperatura do forno entre outros (EL-DASH et alii, 1982). Segundo MATZ (1960) a formulação

empregada determina consideravelmente as características da crosta.

As notas atribuídas experimentalmente para as características da crosta de acordo com as condições dos tratamentos estão apresentadas na tabela 15.

De acordo com os dados experimentais, foi estabelecido o modelo de regressão completo. A partir da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos, dando origem a um modelo reajustado. A ANOVA para o modelo reajustado pode ser visto na tabela 16.

O modelo de regressão reajustado foi significativo com $p=0,0003$ e explica 59% da variação das características da crosta ($R^2=0,5919$) em função das quatro variáveis estudadas, devendo o polinômio descrito na equação 4 ser usado com cautela para predizer as tendências das características da crosta.

$$Y = 5,11 + 3,96 \cdot 10^{-2} A - 6,87 \cdot 10^{-1} P + 9,37 \cdot 10^{-3} P^2 + 2,75 \cdot 10^{-3} PT - 2,17 \cdot 10^{-4} T^2$$

(equação 4)

Através da equação 4 foram geradas superfícies de resposta, ilustrando o efeito das variáveis sobre as características da crosta, no intervalo estudado, que serão analisados a seguir.

Tabela 15- Influência das variáveis de processamento e formulação nas características da crosta de pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Características da crosta (nota 0 - 5)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
1	1.0	90	15	80	2.0
2	2.0	90	15	80	2.0
3	1.0	110	15	80	3.0
4	2.0	110	15	80	3.0
5	1.0	90	25	80	1.0
6	2.0	90	25	80	1.0
7	1.0	110	25	80	2.0
8	2.0	110	25	80	2.0
9	1.0	90	15	120	2.0
10	2.0	90	15	120	2.0
11	1.0	110	15	120	3.0
12	2.0	110	15	120	3.5
13	1.0	90	25	120	3.0
14	2.0	90	25	120	2.0
15	1.0	110	25	120	3.0
16	2.0	110	25	120	3.0
17	0.5	100	20	100	3.0
18	2.5	100	20	100	2.0
19	1.5	80	20	100	2.0
20	1.5	120	20	100	3.0
21	1.5	100	10	100	4.0
22	1.5	100	30	100	3.5
23	1.5	100	20	60	2.5
24	1.5	100	20	140	2.5
25	1.5	100	20	100	3.0
26	1.5	100	20	100	3.0
27	1.5	100	20	100	2.0
28	1.5	100	20	100	2.0
29	1.5	100	20	100	2.0
30	1.5	100	20	100	2.5
31	1.5	100	20	100	3.5

X₁ = Quantidade de fermento (%)

X₂ = Quantidade de água (%)

X₃ = Proporção pasta/farinha (%)

X₄ = Tempo de fermentação (min)

Tabela 16- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para as características da crosta dos pães de farinha de arroz

Média das respostas	2.52
Desvio-padrão	0.56
Coeficiente de variação	22.28
R ²	0.5919

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	5	9.0221	1.8044	7.25	0.0003
Resíduo	25	6.2198	0.2488		
Total	30	15.2419			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	5.11	
A	$3.96 \cdot 10^{-2}$	0.0007
P	$-6.87 \cdot 10^{-2}$	0.0008
P ²	$9.40 \cdot 10^{-3}$	0.0175
PT	$2.80 \cdot 10^{-3}$	0.0194
T ²	$-2.00 \cdot 10^{-4}$	0.0629

A= Quantidade de água (%)
P= Proporção pasta/farinha (%)
T= Tempo de fermentação

Através da ANOVA da tabela 16 pode-se observar que entre as variáveis estudadas apenas a quantidade de água e a proporção pasta/farinha apresentaram efeito linear significativo para as características da crosta dos pães. Dentre os efeitos combinados analisados apenas a proporção pasta/farinha e o tempo de fermentação possuem significância.

a. Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha

Na figura 15 pode ser visualizado o efeito combinado da quantidade de água e proporção pasta/farinha.

As características da crosta apresentaram melhora com o aumento da quantidade de água. O aumento na proporção pasta/farinha influenciou negativamente nas características da crosta até um limite (24%), sendo que acima deste ponto houve melhora do atributo.

Em região de menor proporção pasta/farinha, incrementos na quantidade de água levaram a uma melhora nas características da crosta.

Assim, um pão com melhor característica da crosta pode ser obtido com menor proporção pasta/farinha e maior quantidade de água.

b. Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação

O efeito combinado da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação sobre as características da crosta de pães de farinha de arroz pode ser visualizado na figura 16, onde verificou-se a presença de um ponto de sela.

Em regiões de menor proporção pasta/farinha incrementos no tempo de fermentação pouca alteração causou às características da crosta, porém, em regiões de maior proporção pasta/farinha a melhora no atributo foi significativa com o aumento do tempo de fermentação.

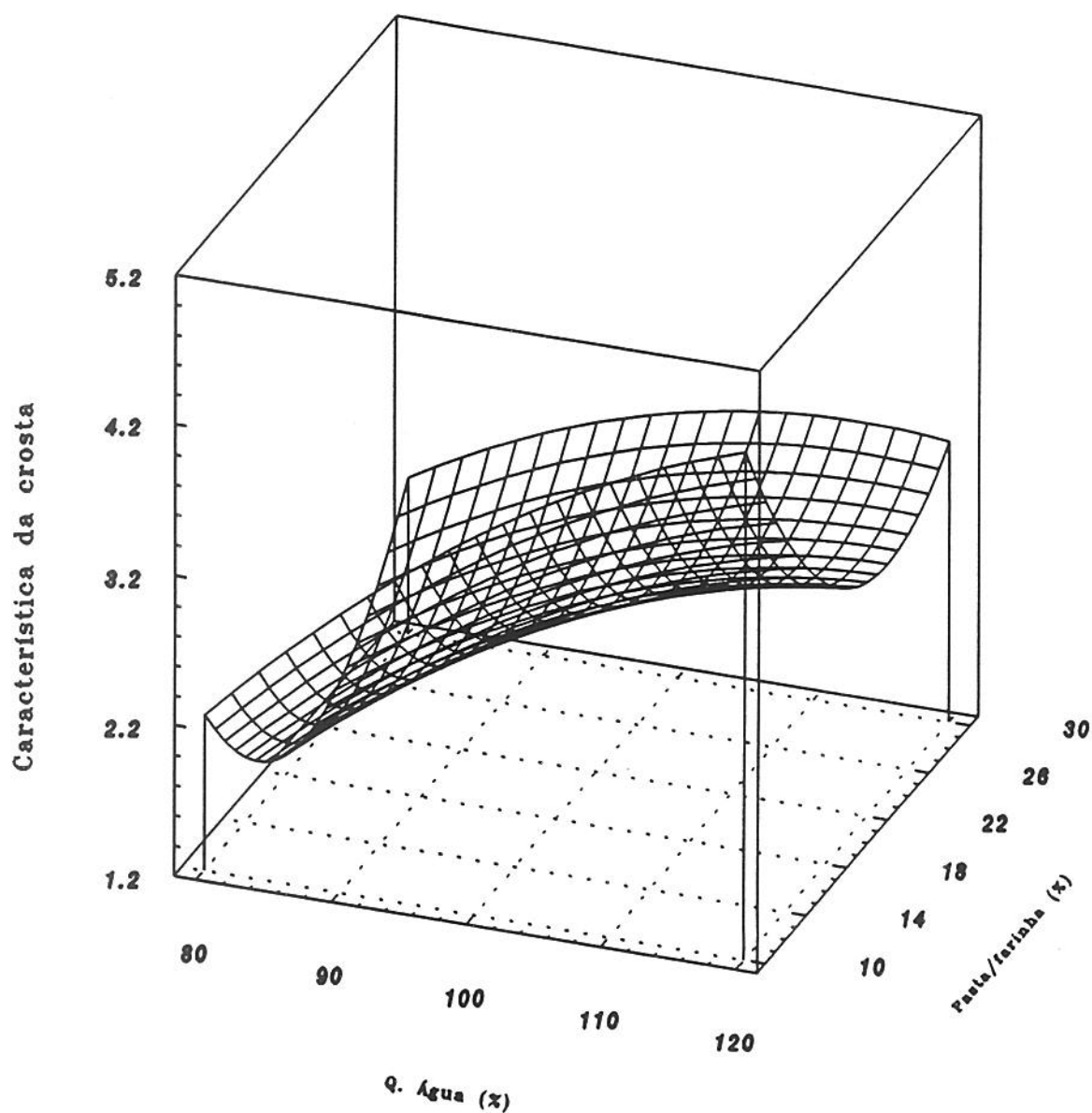


Figura 15 - Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha nas características da crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, tempo de fermentação = 100 min).

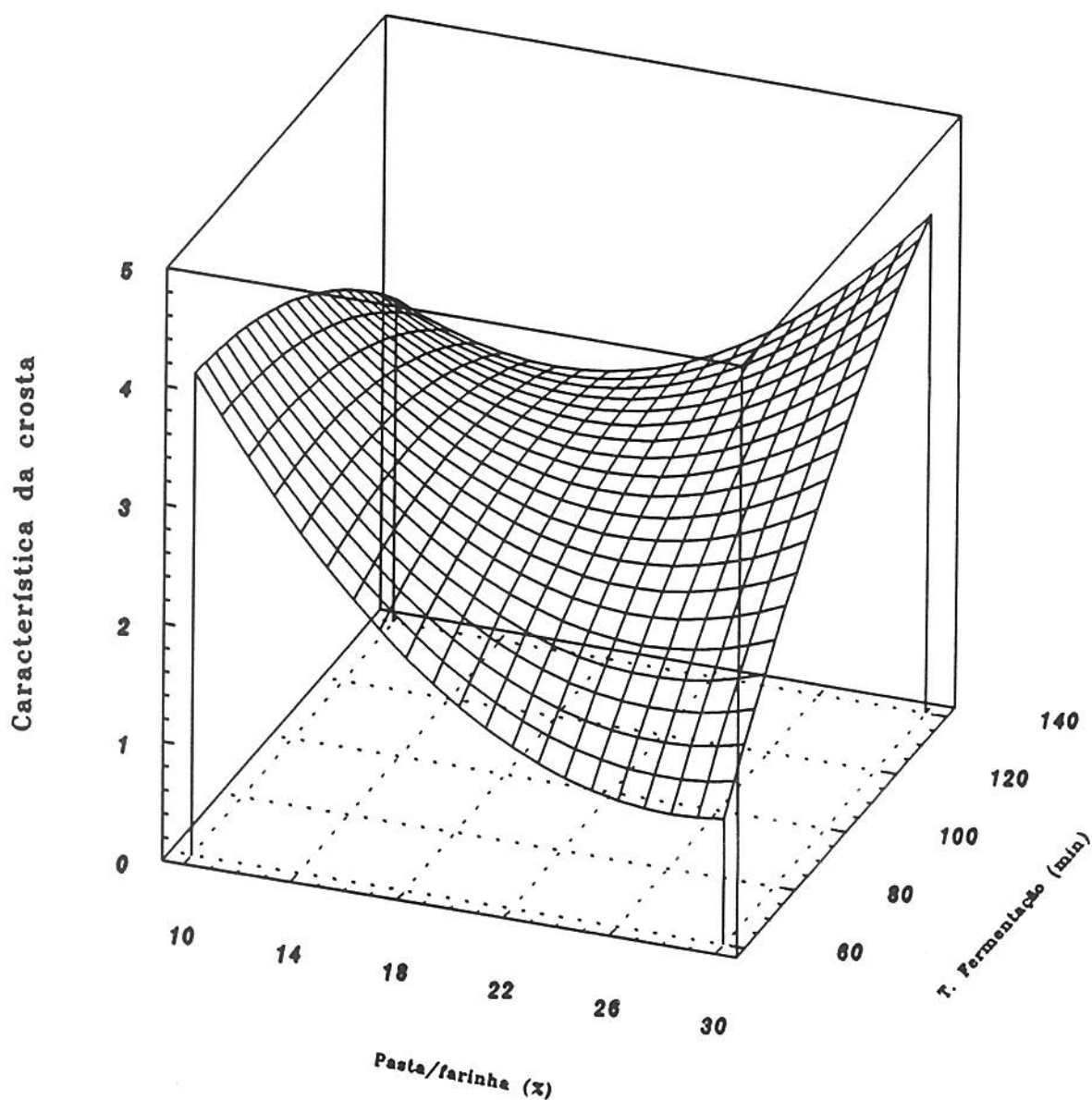


Figura 16 - Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação nas características dz crosta de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, quantidade de água = 100%).

Assim, pães com melhor característica de crosta podem ser obtidos com maior proporção pasta/farinha e maior tempo de fermentação ou com menor proporção pasta/farinha e menor tempo de fermentação.

Considerando o efeito das variáveis estudadas sobre as características da crosta dos pães, verificou-se que melhores resultados podem ser obtidos com menor proporção pasta/farinha, maior quantidade de água e menor tempo de fermentação. A variável quantidade de fermento não influenciou as características da crosta.

ii. Cor do miolo

Segundo EL-DASH et alii (1982) um miolo macio, branco e sem estrias ou manchas é considerado o ideal.

O grau de extração e o tipo de farinha empregado interferem diretamente na coloração do miolo do pão.

A incorporação de farelo à farinha interferem negativamente na cor do miolo. O tempo e a temperatura de fermentação quando excessivamente elevados também afetarão a cor.

Na prática, segundo PYLER (1988a) a cor do miolo é influenciada pela fineza e uniformidade das células do miolo. Células mais finas resultarão em miolo mais claro, como é detectado pelo olho humano.

A avaliação da cor deve ser feita em superfícies recentemente cortadas porque o miolo tende a escurecer um pouco após exposição prolongada da superfície cortada.

As notas atribuídas experimentalmente para a cor do miolo de acordo com as condições dos tratamentos estão apresentadas na tabela 17.

De acordo com os dados experimentais, foi estabelecido o modelo de regressão completo. A partir da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos, dando origem a um modelo reajustado. A ANOVA para o modelo reajustado pode ser visto na tabela 18.

O modelo de regressão reajustado foi significativo ao nível de 1% ($p=0,0094$) e explica 28% da variação da cor do miolo em função das quatro variáveis estudadas, portanto, o polinômio descrito na equação 5 dificilmente poderá ser usado para prever as tendências da cor do miolo.

$$Y = 8,03 + 3,75.10^{-4} AT - 2,33.10^{-4} T^2$$

(equação 5)

Analizando a ANOVA da tabela 18 pode-se perceber que a cor do miolo não tem relação direta com as variáveis estudadas pois, apenas um efeito combinado (quantidade de água e tempo de fermentação) e um efeito quadrático possuem significância.

iii. Estrutura de Células do Miolo

De acordo com EL-DASH et alii (1982) a qualidade da farinha e a fermentação são os fatores mais importantes que afetam a estrutura de células do miolo, isto inclui tamanho, forma e natureza das paredes das células do miolo.

Tabela 17- Influência das variáveis de processamento e formulação na cor do miolo de pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Cor do miolo (nota 0 - 10)
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	1.0	90	15	80	10.0
2	2.0	90	15	80	10.0
3	1.0	110	15	80	10.0
4	2.0	110	15	80	10.0
5	1.0	90	25	80	10.0
6	2.0	90	25	80	9.0
7	1.0	110	25	80	10.0
8	2.0	110	25	80	10.0
9	1.0	90	15	120	9.0
10	2.0	90	15	120	9.0
11	1.0	110	15	120	10.0
12	2.0	110	15	120	9.0
13	1.0	90	25	120	9.0
14	2.0	90	25	120	9.0
15	1.0	110	25	120	10.0
16	2.0	110	25	120	10.0
17	0.5	100	20	100	10.0
18	2.5	100	20	100	9.0
19	1.5	80	20	100	8.0
20	1.5	120	20	100	10.0
21	1.5	100	10	100	10.0
22	1.5	100	30	100	8.5
23	1.5	100	20	60	8.0
24	1.5	100	20	140	8.0
25	1.5	100	20	100	9.0
26	1.5	100	20	100	10.0
27	1.5	100	20	100	10.0
28	1.5	100	20	100	10.0
29	1.5	100	20	100	9.0
30	1.5	100	20	100	8.0
31	1.5	100	20	100	9.0

X_1 = Quantidade de fermento (%)

X_2 = Quantidade de água (%)

X_3 = Proporção pasta/farinha (%)

X_4 = Tempo de fermentação (min)

Tabela 18- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães de farinha de arroz

Média das respostas	9.37
Desvio-padrão	0.72
Coeficiente de variação	7.64
R ²	0.2832

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	2	4.5273	2.2637	5.53	0.0094
Resíduo	28	11.4565	0.4092		
Total	30	15.9839			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	8.03	
AT	$3.80 \cdot 10^{-4}$	0.0060
T ²	$-2.30 \cdot 10^{-4}$	0.0025

A= Quantidade de água (%)

T= Tempo de fermentação (min)

O miolo do pão pode ter granulidade aberta (células grandes) ou fechada (células pequenas) ou ainda uma combinação delas. As células podem ser redondas ou alongadas, sendo a última preferível.

As notas atribuídas experimentalmente para a estrutura de células do miolo de acordo com as condições dos tratamentos constam da tabela 19.

Tabela 19- Influência das variáveis de processamento e formulação na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz

Tratamento	Variáveis				Estrutura de células do miolo (nota 0 - 10)
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	1.0	90	15	80	5.0
2	2.0	90	15	80	5.0
3	1.0	110	15	80	7.0
4	2.0	110	15	80	8.0
5	1.0	90	25	80	4.0
6	2.0	90	25	80	2.0
7	1.0	110	25	80	4.0
8	2.0	110	25	80	4.0
9	1.0	90	15	120	3.0
10	2.0	90	15	120	7.0
11	1.0	110	15	120	8.0
12	2.0	110	15	120	8.5
13	1.0	90	25	120	6.0
14	2.0	90	25	120	6.0
15	1.0	110	25	120	8.0
16	2.0	110	25	120	8.5
17	0.5	100	20	100	8.5
18	2.5	100	20	100	7.5
19	1.5	80	20	100	6.0
20	1.5	120	20	100	9.0
21	1.5	100	10	100	10.0
22	1.5	100	30	100	5.5
23	1.5	100	20	60	6.5
24	1.5	100	20	140	6.5
25	1.5	100	20	100	6.0
26	1.5	100	20	100	7.0
27	1.5	100	20	100	7.0
28	1.5	100	20	100	8.0
29	1.5	100	20	100	7.0
30	1.5	100	20	100	6.5
31	1.5	100	20	100	8.0

X_1 = Quantidade de fermento (%)

X_2 = Quantidade de água (%)

X_3 = Proporção pasta/farinha (%)

X_4 = Tempo de fermentação (min)

Tabela 20- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a estrutura de células do miolo dos pães de farinha de arroz

Média das respostas	6.55
Desvio-padrão	1.37
Coeficiente de variação	20.86
R ²	0.6883

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	6	69.9840	11.6640	8.83	0.0001
Resíduo	24	31.6934	1.3206		
Total	30	101.6774			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	-1.03.10 ⁺¹	
A	2.37.10 ⁻¹	0.0005
FP	-1.80.10 ⁻¹	0.0457
AP	-6.85.10 ⁻³	0.0175
FT	3.77.10 ⁻²	0.0384
PT	8.05.10 ⁻³	0.0020
T ²	-9.20.10 ⁻⁴	0.0020

F= Quantidade de fermento (%)

A= Quantidade de água (%)

P= Proporção pasta/farinha (%)

T= Tempo de fermentação (min)

Um modelo de regressão completo foi estabelecido segundo os dados experimentais obtidos. A partir da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos, dando origem a um modelo reajustado. A ANOVA para o modelo reajustado pode ser vista na tabela 20.

O modelo reajustado é altamente significativo ($p=0,0001$) e explica 69% da variação da estrutura de células do miolo em função das quatro variáveis estudadas, podendo o polinômio descrito na equação 6 ser usado com certa cautela para prever a tendência da estrutura de células do miolo.

$$Y = -10,31 + 2,37 \cdot 10^{-1} A - 1,80 \cdot 10^{-1} FP - 6,85 \cdot 10^{-3} AP \\ + 3,77 \cdot 10^{-2} FT + 8,05 \cdot 10^{-3} PT - 9,22 \cdot 10^{-4} T^2$$

(equação 6)

Através da ANOVA da tabela 20 pode-se perceber que a estrutura das células do miolo é dependente dentre as variáveis estudadas apenas da quantidade de água ($p=0,0005$), as outras variáveis apresentaram significância, quando combinadas.

a. Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha

A figura 17 ilustra o efeito combinado da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha na estrutura de células do miolo. De acordo com o diagrama verifica-se a presença de um ponto de sela segmentando as tendências da resposta.

Em regiões de menor quantidade de fermento, aumentos na proporção pasta/farinha, resultou em pequena melhoria na estrutura de células do miolo porém, em regiões de maior quantidade de fermento o efeito do incremento na proporção pasta/farinha foi contrário, ou seja, houve uma influência negativa na estrutura de células do miolo.

Em regiões de menor proporção pasta/farinha incrementos na quantidade de fermento proporcionou a obtenção de melhores estruturas de células do miolo, o efeito foi contrário em regiões de maior proporção pasta/farinha pois, incrementos na quantidade de fermento influenciou negativamente.

Assim, a melhor estrutura de células do miolo pode ser obtida com maior quantidade de fermento e menor proporção pasta/farinha.

b. Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha

O diagrama de superfície de resposta da figura 18 ilustra o efeito combinado da quantidade de água e proporção pasta/farinha na estrutura de células do miolo. De acordo com a análise do diagrama pode-se observar que a estrutura de células do miolo melhora com incrementos da quantidade de água e redução na proporção pasta/farinha.

c. Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação

A figura 19 ilustra o efeito combinado da quantidade de fermento e tempo de fermentação na estrutura de células do miolo.

Em regiões de maior quantidade de fermento incrementos no tempo de fermentação proporcionaram a obtenção de melhores estruturas de células do miolo.

A melhor estrutura de células do miolo foi obtida com maior quantidade de fermento (2,5%) e maior tempo de fermentação (140 minutos).

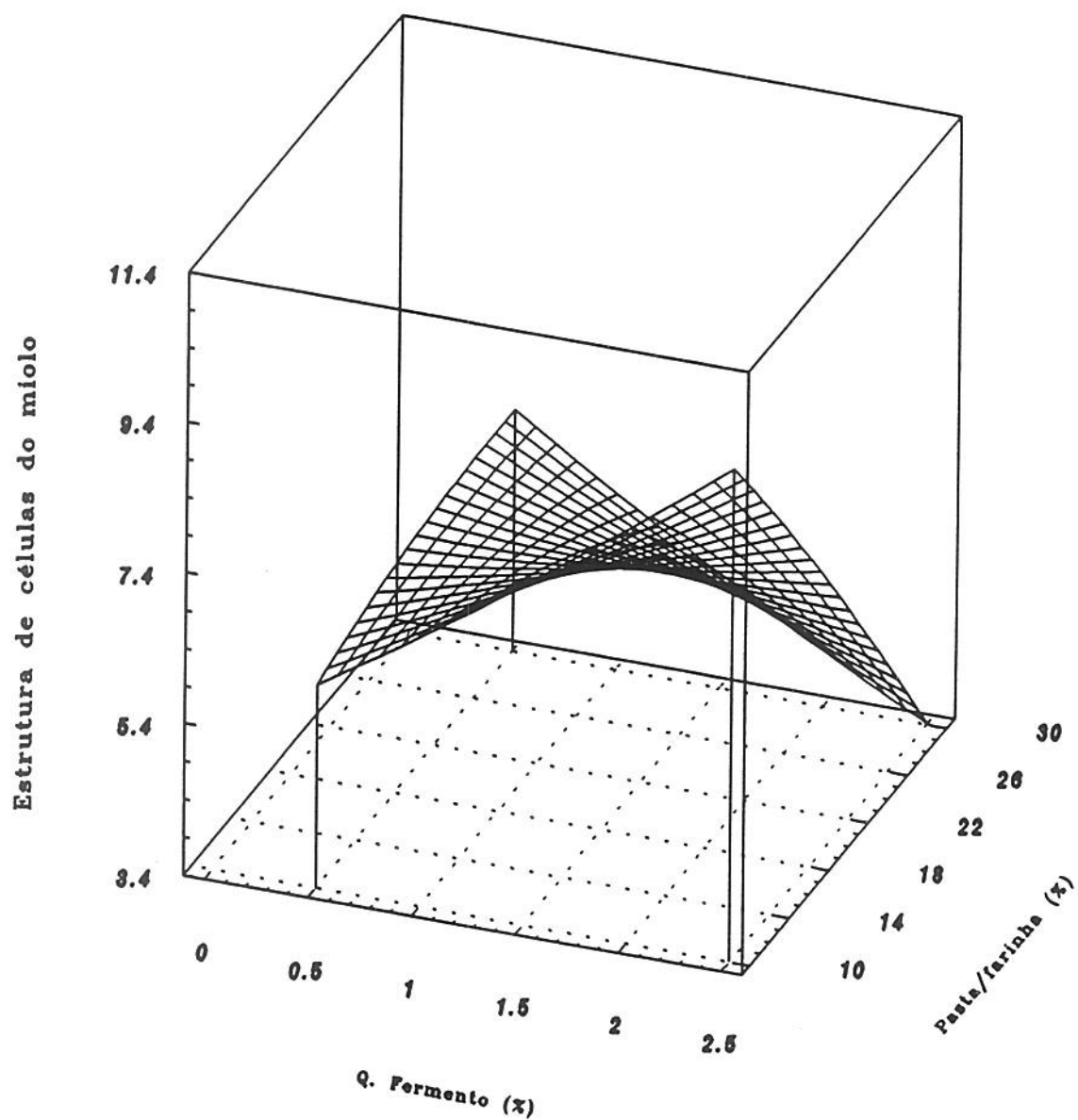


Figura 17 - Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, tempo de fermentação = 100 min).

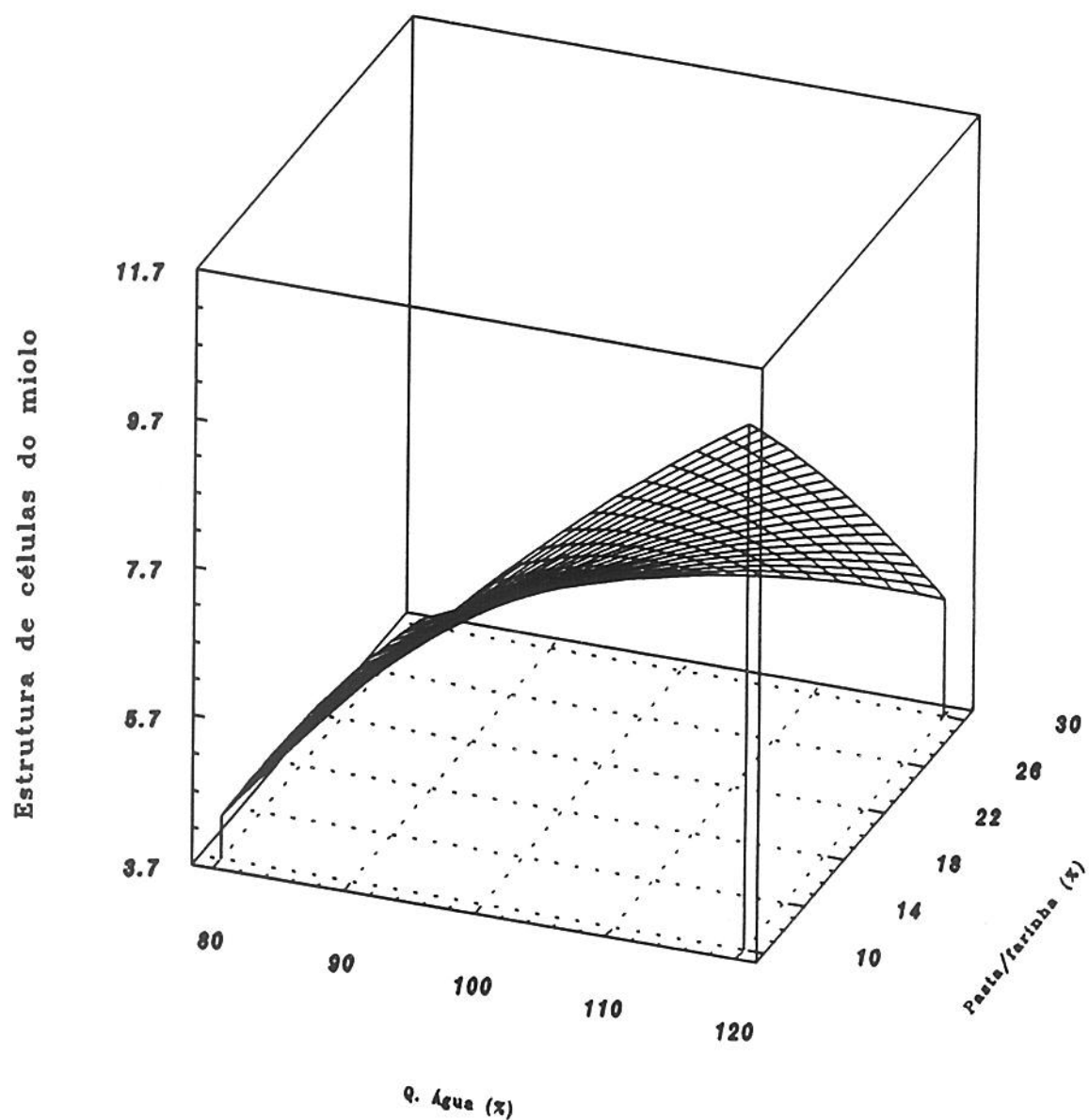


Figura 18 - Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, tempo de fermentação = 100 min).

d. Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação

Conforme mostra o diagrama de superfície de resposta da figura 20, dentro do intervalo estudado para as características de estrutura de células do miolo, em função da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação, ocorreu um ponto de sela, segmentando as tendências dos efeitos.

Assim, para grandes proporções pasta/farinha, um incremento no tempo de fermentação melhorou sensivelmente a estrutura de células do miolo, enquanto que para pequenas proporções pasta/farinha a redução do tempo de fermentação resultou em melhoria da estrutura de células.

Dessa forma, pães com melhores estruturas de células do miolo podem ser obtidos em duas regiões distintas, quais sejam: menor proporção pasta/farinha e menor tempo de fermentação ou maior proporção pasta/farinha e maior tempo de fermentação.

Analisando o efeito das variáveis sobre a estrutura de células do miolo dos pães, observou-se que o melhor resultado pode ser obtido com maior quantidade de água, menor proporção pasta/farinha, maior quantidade de fermento e maior tempo de fermentação.

iv. Textura

O miolo ideal do pão deve ser suave, macio e elástico, sendo considerado indesejável uma textura desigual, grossa, gomosa e maçuda.

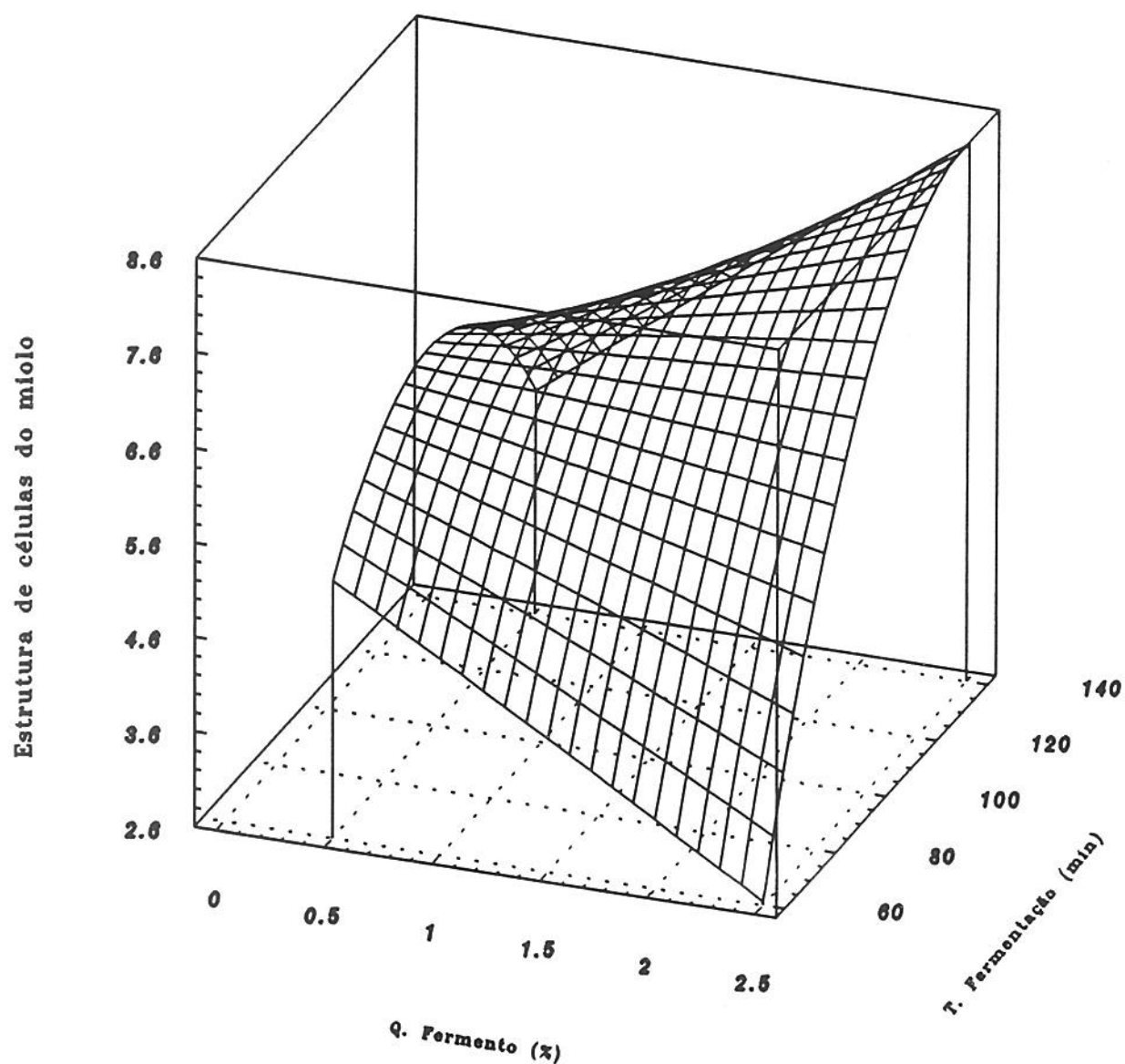


Figura 19 - Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, proporção pasta/farinha = 20%).

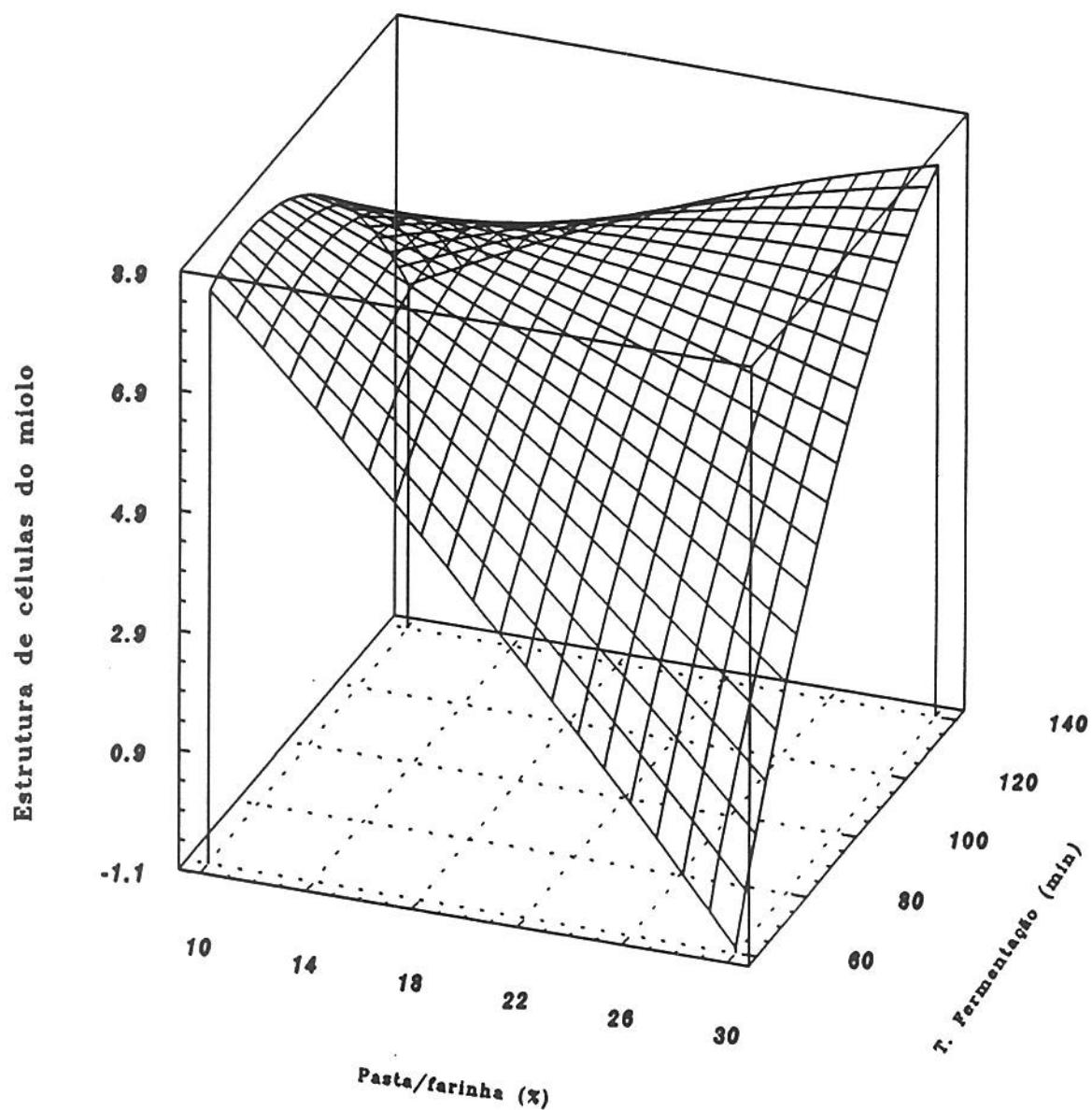


Figura 20 - Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação na estrutura de células do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, quantidade de água = 100%).

Segundo PYLER (1988a) para os consumidores a textura do miolo é um dos maiores fatores de qualidade, a maciez, suavidade e elasticidade estão associadas à frescura do pão. Pode ser avaliada através de leve pressão e deslizamento dos dedos sobre a superfície recentemente cortada do pão.

A textura é influenciada pela granulosidade ou estrutura de células do miolo sendo que, células uniformes, pequenas e de paredes finas proporcionam um miolo macio e mais elástico.

Os valores para a textura do miolo atribuídos experimentalmente em função das variáveis estudadas estão apresentados na tabela 21.

De acordo com os dados experimentais foi estabelecido um modelo de regressão completo. A partir da análise de variância desse modelo foram eliminados os efeitos não-significativos e novo modelo foi reajustado em função dos efeitos significativos.

A tabela 22 mostra a ANOVA do modelo reajustado que foi significativo ao nível de 1% ($p=0,0001$) e explica 60% das variações de textura do miolo dos pães ($R^2=0,60$). Neste caso, o polinômio representativo do modelo, descrito na equação 7 pode ser empregado com cautela, para prever respostas de textura do miolo em função das quatro variáveis estudadas.

$$Y = -6,80 - 9,06 F + 2,42 \cdot 10^{-2} FA - 1,08 \cdot 10^{-3} T^2$$

(equação 7)

Tabela 21- Influência das variáveis de processamento e formulação na textura do miolo dos pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Textura do miolo (nota 0 - 10)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
1	1.0	90	15	80	3.0
2	2.0	90	15	80	4.0
3	1.0	110	15	80	8.0
5	1.0	90	25	80	4.0
6	2.0	90	25	80	2.0
7	1.0	110	25	80	5.0
8	2.0	110	25	80	8.0
9	1.0	90	15	120	4.0
10	2.0	90	15	120	9.0
12	2.0	110	15	120	9.0
13	1.0	90	25	120	7.0
14	2.0	90	25	120	6.0
15	1.0	110	25	120	8.0
16	2.0	110	25	120	9.0
17	0.5	100	20	100	8.0
18	2.5	100	20	100	7.5
19	1.5	80	20	100	6.0
20	1.5	120	20	100	9.0
21	1.5	100	10	100	9.0
22	1.5	100	30	100	6.5
23	1.5	100	20	60	7.0
24	1.5	100	20	140	5.5
25	1.5	100	20	100	6.0
26	1.5	100	20	100	7.0
27	1.5	100	20	100	8.0
28	1.5	100	20	100	8.0
29	1.5	100	20	100	7.0
30	1.5	100	20	100	7.0
31	1.5	100	20	100	8.0

X₁= Quantidade de fermento (%)

X₂= Quantidade de água (%)

X₃= Proporção pasta/farinha (%)

X₄= Tempo de fermentação (min)

Pela ANOVA da tabela 22 verifica-se que a textura do miolo é dependente dos efeitos lineares das variáveis, quantidade de fermento e tempo de fermentação e de apenas um efeito combinado e quadrático.

a. Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação

O diagrama de superfície de resposta da figura 21 ilustra o efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na textura do miolo.

De acordo com o diagrama aumentos na quantidade de fermento e no tempo de fermentação proporcionaram a obtenção de pães com melhor textura do miolo.

Em região de menor quantidade de fermento, aumentos no tempo de fermentação melhoraram a textura do miolo até um máximo, onde a partir deste ponto os incrementos no tempo de fermentação não afetaram a textura do miolo.

Assim, a melhor textura do miolo pode ser obtida com maiores quantidade de fermento e tempo de fermentação.

b. Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água

Neste caso, como mostra a figura 22, aumentos na quantidade de água melhoram a textura do miolo, independente da quantidade de fermento porém, esta melhora foi mais acentuada em região de maior quantidade de fermento.

Assim, a melhor textura pode ser obtida com maiores quantidades de fermento e água.

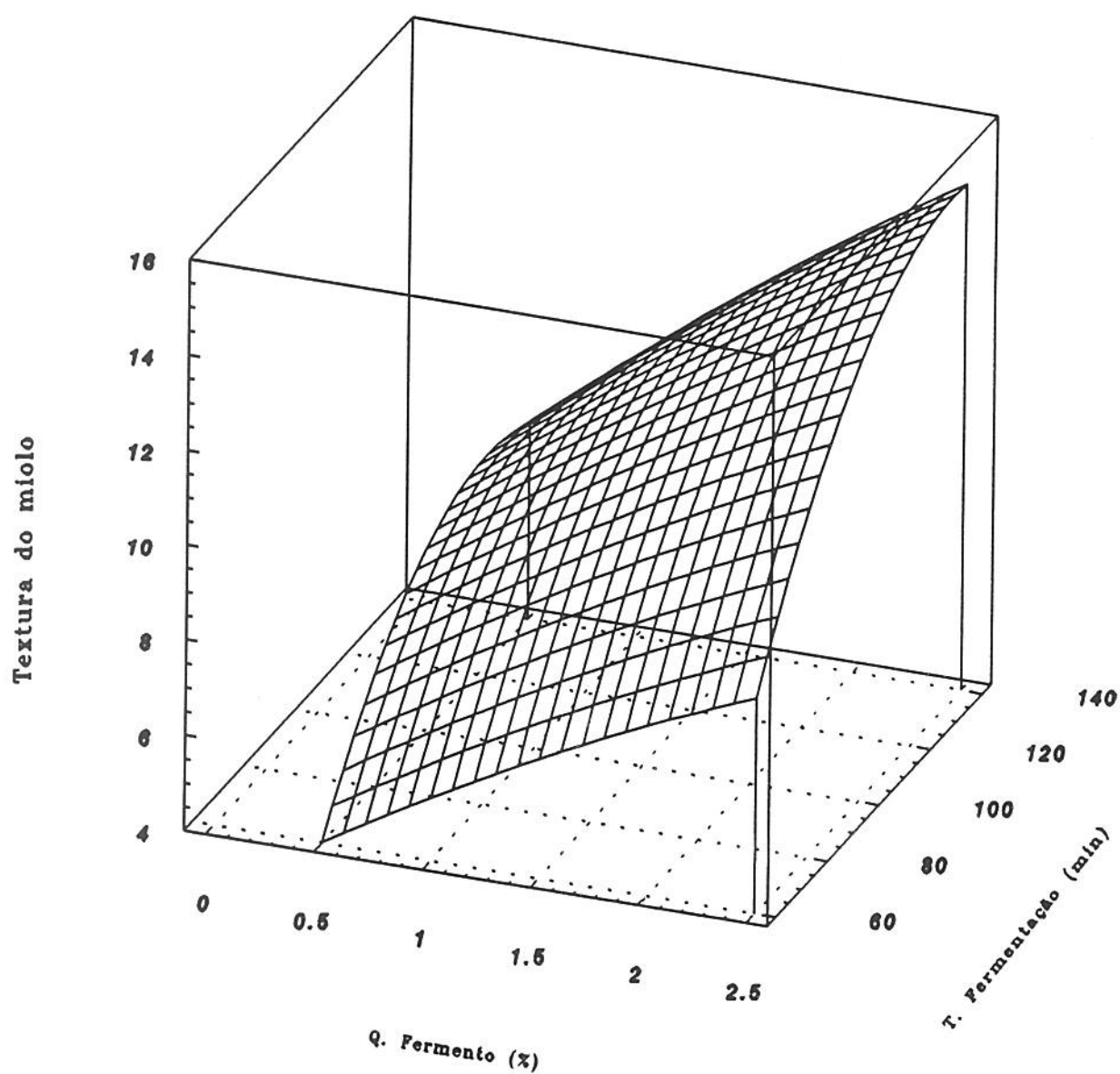


Figura 21 - Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na textura do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, proporção pasta/farinha= 20%).

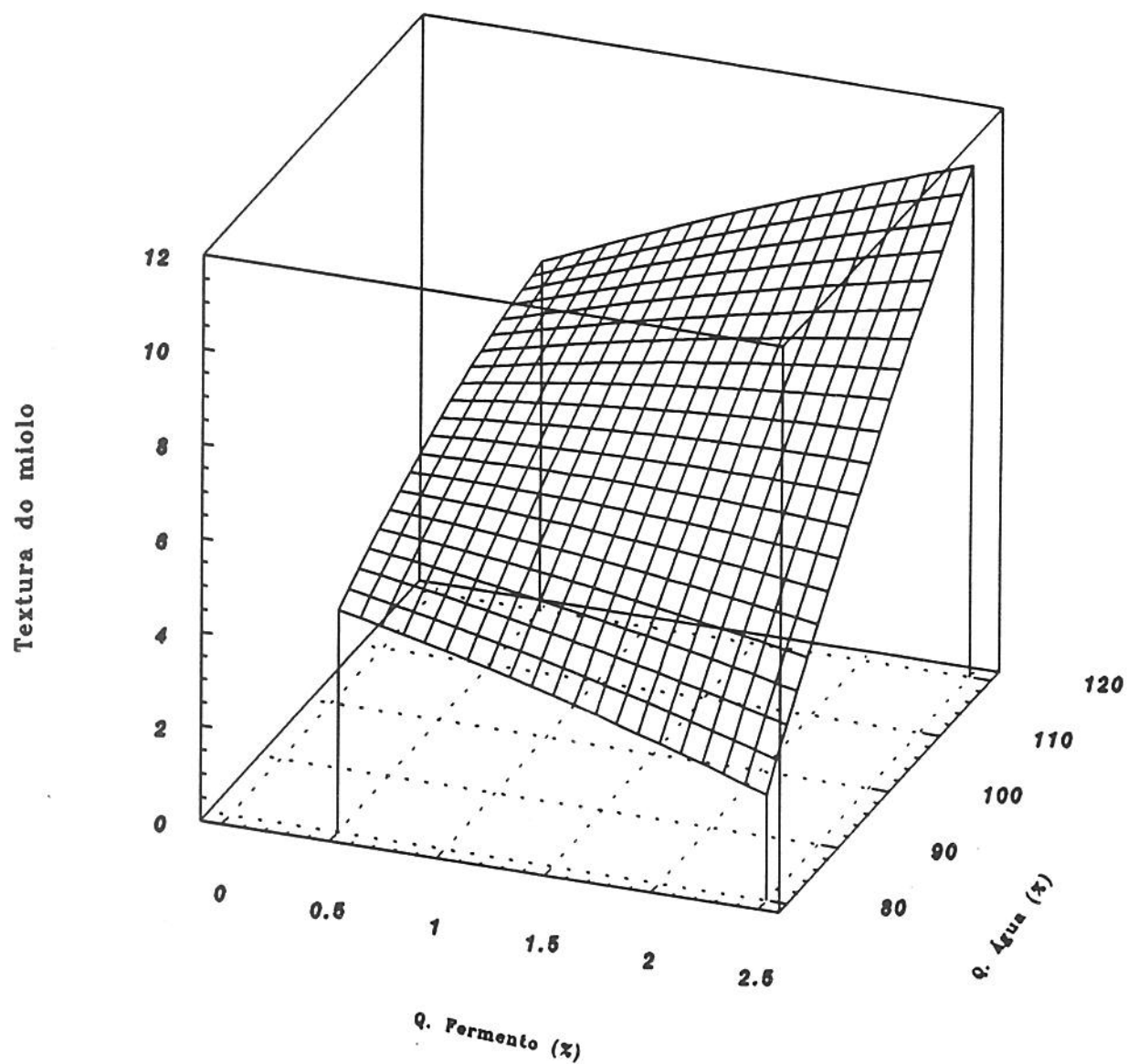


Figura 22 - Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água na textura do miolo de pães de farinha de arroz (proção pasta/farinha = 20%, tempo de fermentação = 100 min)

Tabela 22- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura do miolo dos pães de farinha de arroz

Média das respostas	6.69
Desvio-padrão	1.49
Coeficiente de variação	22.24
R ²	0.5965

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	4	63.1277	15.7819	9.61	0.0001
Resíduo	26	42.7110	1.6427		
Total	30	105.8387			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	-6.80	
F	-9.06	0.0001
T	$2.42 \cdot 10^{-1}$	0.0521
FA	$9.31 \cdot 10^{-2}$	0.0001
T ²	$-1.08 \cdot 10^{-3}$	0.0805

F= Quantidade de fermento (%)

T= Tempo de fermentação (min)

A= Quantidade de água (%)

Considerando o efeito das variáveis estudadas sobre a textura do miolo verificou-se que, a melhor pode ser obtida com maiores quantidades de água e fermento, e maior tempo de fermentação.

c. Aroma e Gosto

i. Aroma

O aroma é a característica de qualidade percebida pelo olfato. O pão deve possuir um aroma delicado e típico dos produtos, isento de odores estranhos tais como ranço, azedo, mofo e outros.

Como o aroma é o maior componente do "flavor" do pão, ele desempenha um importante papel na determinação da preferência dos consumidores (PYLER, 1988a).

Os valores para o aroma atribuídos experimentalmente em função das quatro variáveis estudadas estão apresentados na tabela 23.

Com os dados experimentais foi estabelecido um modelo de regressão completo. A partir da análise de variância desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos e novo modelo foi reajustado em função dos efeitos significativos.

A tabela 24 mostra a ANOVA do modelo reajustado que foi significativo ao nível de 1% ($p=0,0001$) e explica 75% das variações do aroma.

Dada a complexidade do processo de avaliação do aroma o polinômio descrito na equação 8, que representa o modelo reajustado, pode ser empregado para fins preditivos de aroma em função das quatro variáveis estudadas.

$$Y = -9,57 - 10,76F + 0,63A - 0,89P + 1,64 F^2 + 6,25 \cdot 10^{-2} AF \\ - 3,40 \cdot 10^{-3} A^2 + 8,84 \cdot 10^{-3} PT - 8,61 \cdot 10^{-4} T^2$$

(equação 8)

Tabela 23- Influência das variáveis de processamento e formulação no aroma de pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Aroma (nota 0 - 10)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
1	1.0	90	15	80	7.0
2	2.0	90	15	80	7.0
3	1.0	110	15	80	9.0
4	2.0	110	15	80	9.0
5	1.0	90	25	80	7.0
6	2.0	90	25	80	6.0
7	1.0	110	25	80	6.0
8	2.0	110	25	80	7.0
9	1.0	90	15	120	6.0
10	2.0	90	15	120	6.0
11	1.0	110	15	120	6.0
12	2.0	110	15	120	8.0
13	1.0	90	25	120	8.0
14	2.0	90	25	120	8.0
15	1.0	110	25	120	9.0
16	2.0	110	25	120	10.0
17	0.5	100	20	100	9.0
18	2.5	100	20	100	10.0
19	1.5	80	20	100	6.0
20	1.5	120	20	100	7.0
21	1.5	100	10	100	9.0
22	1.5	100	30	100	7.0
23	1.5	100	20	60	7.0
24	1.5	100	20	140	6.5
25	1.5	100	20	100	7.0
26	1.5	100	20	100	8.0
27	1.5	100	20	100	9.0
28	1.5	100	20	100	8.0
29	1.5	100	20	100	7.0
30	1.5	100	20	100	7.0
31	1.5	100	20	100	7.5

X₁= Quantidade de fermento (%)

X₂= Quantidade de água (%)

X₃= Proporção pasta/farinha (%)

X₄= Tempo de fermentação (min)

Tabela 24- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o aroma de pães de farinha de arroz

Média das respostas	7.55
Desvio-padrão	0.77
Coeficiente de variação	10.25
R ²	0.7485

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	8	33.0863	4.1335	8.19	0.0001
Resíduo	22	11.1091	0.5050		
Total	30	44.1774			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	-9.57	
F	-1.08.10 ⁺¹	0.0115
A	6.31.10 ⁻¹	0.0284
P	-8.92.10 ⁻¹	0.0001
F ²	1.64	0.0050
FA	6.25.10 ⁻²	0.0925
A ²	-3.40.10 ⁻³	0.0171
PT	8.80.10 ⁻³	0.0001
T ²	-8.60.10 ⁻⁴	0.0001

F= Quantidade de fermento (%)

A= Quantidade de água (%)

P= Proporção pasta/farinha (%)

T= Tempo de fermentação (min)

O efeito das variáveis sobre o aroma serão discutidos a seguir.

Através da ANOVA da tabela 24 verifica-se que a variável de maior efeito linear sobre o aroma do pão foi a proporção pasta/farinha ($p= 0,0001$). A variável tempo de fermentação não foi significativa ao nível de 10%, no intervalo estudado.

a. Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água

A figura 23 ilustra o efeito combinado da quantidade de fermento e quantidade de água no aroma, em cuja região estudada apresentou um ponto de sela.

De acordo com a figura verifica-se que em região de menor quantidade de fermento, incrementos na quantidade de água até aproximadamente 100% resultou em pães com melhor aroma, a partir desta quantidade os incrementos levaram a uma redução no aroma. Em região de maior quantidade de fermento incrementos na quantidade beneficiaram o aroma.

Em região de menor quantidade de água, o aumento na quantidade de fermento piorou o aroma até um determinado ponto (1,5 - 2,0%) sendo que aumento acima deste valor melhorou-o levemente. Efeito análogo foi verificado no extremo oposto porém, passado o ponto estacionário (1,5% fermento) a tendência foi uma acentuada melhora no aroma.

Assim, o melhor aroma pode ser obtido nos extremos, maiores quantidades de fermento e água.

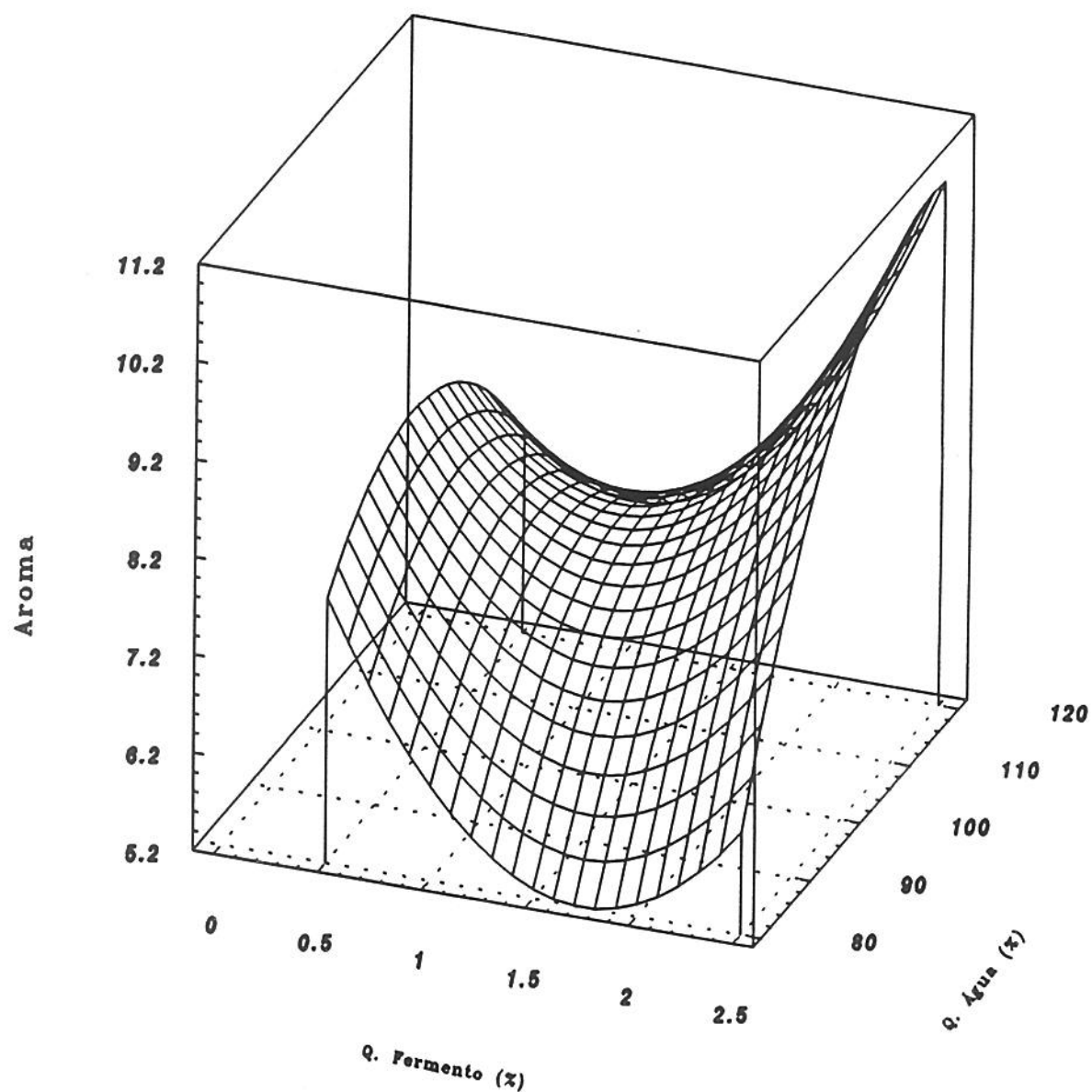


Figura 23 - Efeito da quantidade de fermento e quantidade de água no aroma de pães de farinha de arroz (proporção pasta/farinha = 20%, tempo de fermentação = 100 min).

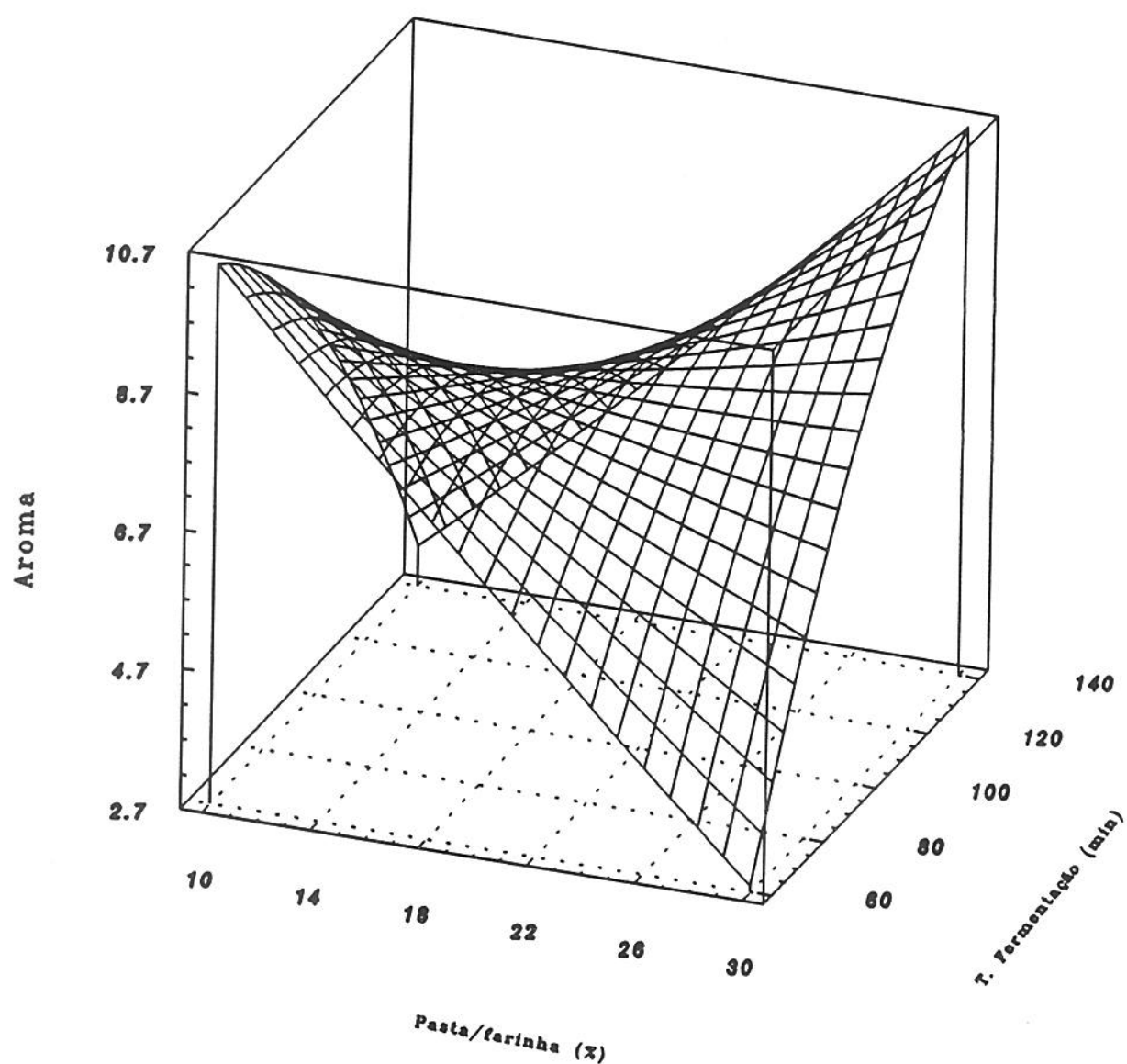


Figura 24 - Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no aroma de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, quantidade de fermento = 1,5%).

b. Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação

De acordo com o diagrama de superfície de resposta apresentado na figura 24, que ilustra o efeito combinado da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação, existe um ponto de sela segmentando as tendências da resposta no intervalo estudado.

Em regiões de maior proporção pasta/farinha o aumento do tempo de fermentação proporcionou uma grande melhora no aroma.

Em região de maior tempo de fermentação, incrementos na proporção pasta/farinha resultaram em pães com melhor aroma.

Desta maneira, os melhores aromas podem ser obtidos em duas regiões distintas, ou seja, com menor proporção pasta/farinha (10%) e menor tempo de fermentação (60 minutos) ou, no extremo oposto, maior proporção pasta/farinha (30%) e longo tempo de fermentação (140 minutos).

c. Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha

Como mostra a figura 25, o efeito combinado da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha, apresenta um ponto de mínimo.

O aumento da quantidade de fermento acima de 1,4% combinado com qualquer proporção pasta/farinha teve influência positiva no aroma dos pães.

O melhor aroma foi obtido com menor quantidade de fermento e maior proporção pasta/farinha, ou com maior quantidade de fermento independente da proporção pasta/farinha.

d. Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha

A figura 26 ilustra o efeito combinado da quantidade de água e proporção pasta/farinha no aroma, em cuja região apresentou um ponto de sela.

Em região de menor proporção pasta/farinha, incrementos na quantidade de água até aproximadamente 100% proporcionaram uma melhora do aroma porém, para quantidades de água acima deste valor a influência foi negativa, o mesmo ocorrendo em região de maior proporção pasta/farinha.

Trabalhando-se com menor quantidade de água, incrementos na proporção pasta/farinha beneficiaram o aroma, enquanto que com maior quantidade de água o aumento da proporção pasta/farinha resultou em pequeno efeito negativo.

O melhor aroma pode ser obtido com menor proporção pasta/farinha e maior quantidade de água.

De acordo com os efeitos das variáveis estudadas sobre o aroma verificou-se que o melhor aroma pode ser obtido com: maiores, quantidades de fermento e água; e menores, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

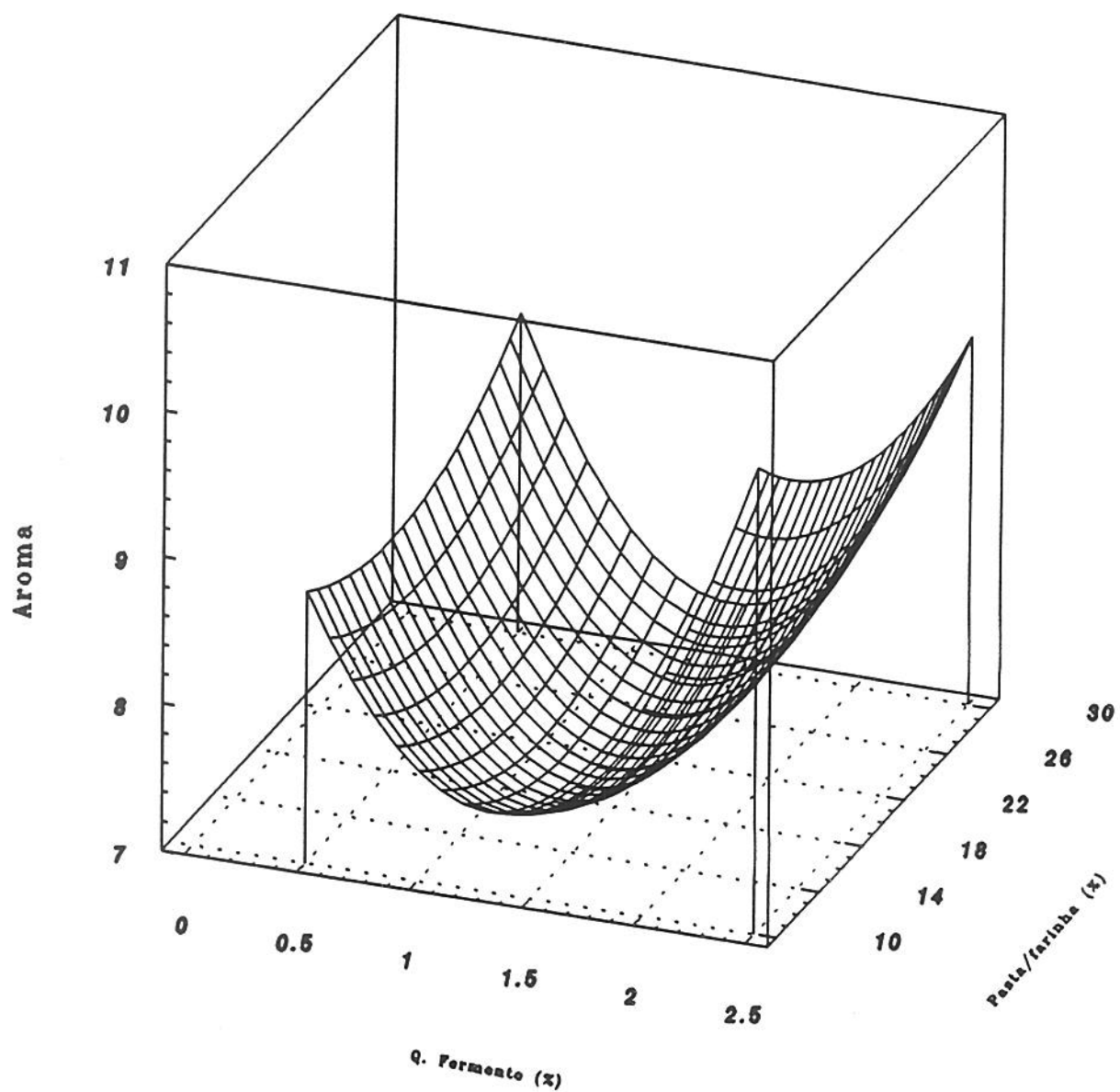


Figura 25 - Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha no aroma de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, tempo de fermentação = 100 min).

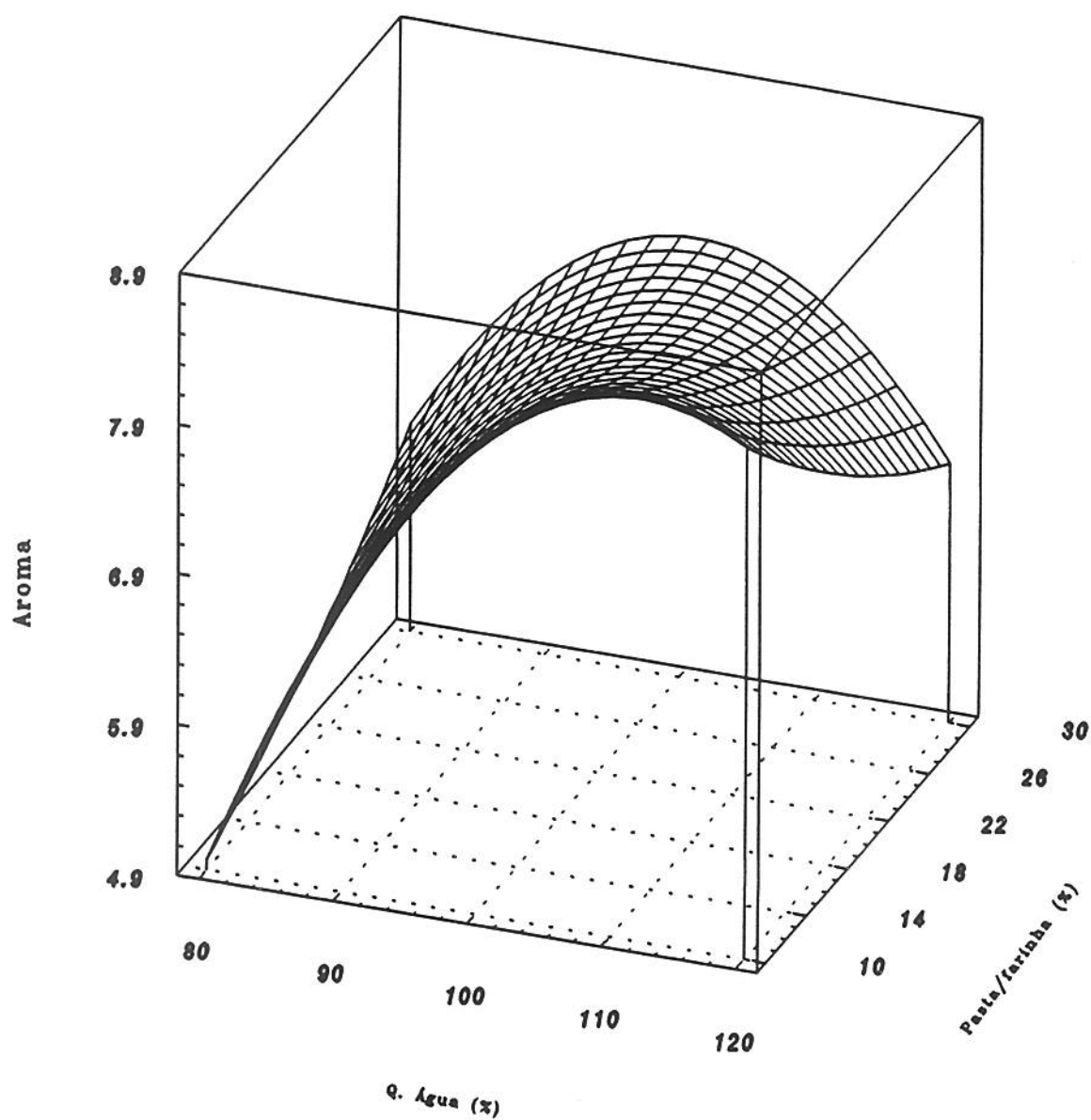


Figura 26 - Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no aroma de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, tempo de fermentação = 100 min).

ii. Gosto

O gosto é o segundo componente do "flavor" do pão, o qual quando fresco deve se apresentar levemente doce e ácido, devendo ser isento de sabores remanescentes ou estranhos.

A sensação do gosto é percebida através da mastigação, sendo que o mesmo deve se desintegrar rápido na boca durante a mastigação sem formar massa gomosa (PYLER, 1988a).

As notas atribuídas sensorialmente aos pães, em função das quatro variáveis estudadas estão apresentadas na tabela 25.

Com os dados experimentais foi estabelecido um modelo de regressão completo. A partir da análise de variância desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos e novo modelo foi reajustado em função dos efeitos significativos.

A tabela 26 contém a ANOVA do modelo reajustado que foi significativo com $p=0,0008$ e explica 55% das variações do gosto. Devido à complexidade que envolve uma análise sensorial, o polinômio descrito pela equação 9, o qual representa o modelo reajustado, deverá ser empregado com muita cautela na previsão de tendências do gosto em função das variáveis estudadas.

$$Y = 37,98 - 9,87 F - 1,87 P + 3,76 F^2 + 1,61 \cdot 10^{-2} PT - 1,65 \cdot 10^{-3} T^2$$

(equação 9)

Tabela 25- Influência das variáveis de processamento e formulação no gosto de pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Gosto (nota 0 - 15)
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	1.0	90	15	80	13.0
2	2.0	90	15	80	13.0
3	1.0	110	15	80	14.0
4	2.0	110	15	80	14.0
5	1.0	90	25	80	9.0
6	2.0	90	25	80	8.0
7	1.0	110	25	80	8.0
8	2.0	110	25	80	10.0
9	1.0	90	15	120	5.0
10	2.0	90	15	120	10.0
11	1.0	110	15	120	11.0
12	2.0	110	15	120	12.0
13	1.0	90	25	120	10.0
14	2.0	90	25	120	10.0
15	1.0	110	25	120	12.0
16	2.0	110	25	120	14.0
17	0.5	100	20	100	10.0
18	2.5	100	20	100	14.0
19	1.5	80	20	100	10.0
20	1.5	120	20	100	8.0
21	1.5	100	10	100	14.5
22	1.5	100	30	100	4.0
23	1.5	100	20	60	6.0
24	1.5	100	20	140	6.0
25	1.5	100	20	100	5.0
26	1.5	100	20	100	10.0
27	1.5	100	20	100	11.0
28	1.5	100	20	100	11.0
29	1.5	100	20	100	11.0
30	1.5	100	20	100	8.0
31	1.5	100	20	100	8.0

X_1 = Quantidade de fermento (%)

X_2 = Quantidade de água (%)

X_3 = Proporção pasta/farinha (%)

X_4 = Tempo de fermentação (min)

Tabela 26- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para o gosto dos pães de farinha de arroz

Média das respostas	9.98
Desvio-padrão	2.38
Coefficiente de variação	23.83
R ²	0.5489

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	5	138.9943	27.7990	6.08	0.0008
Resíduo	25	114.2476	4.5699		
Total	30	253.2419			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	37.98	
F	-9.87	0.0509
P	-1.87	0.0006
F ²	3.76	0.0250
PT	$1.61 \cdot 10^{-2}$	0.0022
T ²	$-1.65 \cdot 10^{-3}$	0.0019

F= Quantidade de fermento (%)

P= Proporção pasta/farinha (%)

T= Tempo de fermentação (min)

A ANOVA da tabela 26 indicou que a proporção pasta/farinha foi a variável de maior significância para o gosto, seguida pela quantidade de fermento. A quantidade de água (p= 0,2932) e o tempo de fermentação (p= 0,5617) foram consideradas não-significativas para essa resposta, dentro da região estudada.

a. Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha

A figura 27 ilustra o efeito combinado da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha no gosto dos pães.

De acordo com a figura incrementos na quantidade de fermento a partir de 1,4% proporcionou uma melhora do gosto dos pães, independente da proporção pasta/farinha.

O melhor gosto pode ser obtido com maiores, quantidade de fermento, independente da proporção pasta/farinha.

b. Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação

O diagrama de superfície de resposta da figura 28 ilustra o efeito combinado da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação, em cuja região estudada apresentou um ponto de sela segmentando as tendências do gosto.

Em região de menor tempo de fermentação, o gosto foi melhorado com a redução da proporção pasta/farinha. Em região de maior tempo de fermentação os incrementos da proporção pasta/farinha resultaram em melhora do atributo, gosto.

Em região de maior proporção pasta/farinha aumentos do tempo de fermentação proporcionaram uma melhora acentuada da qualidade do gosto.

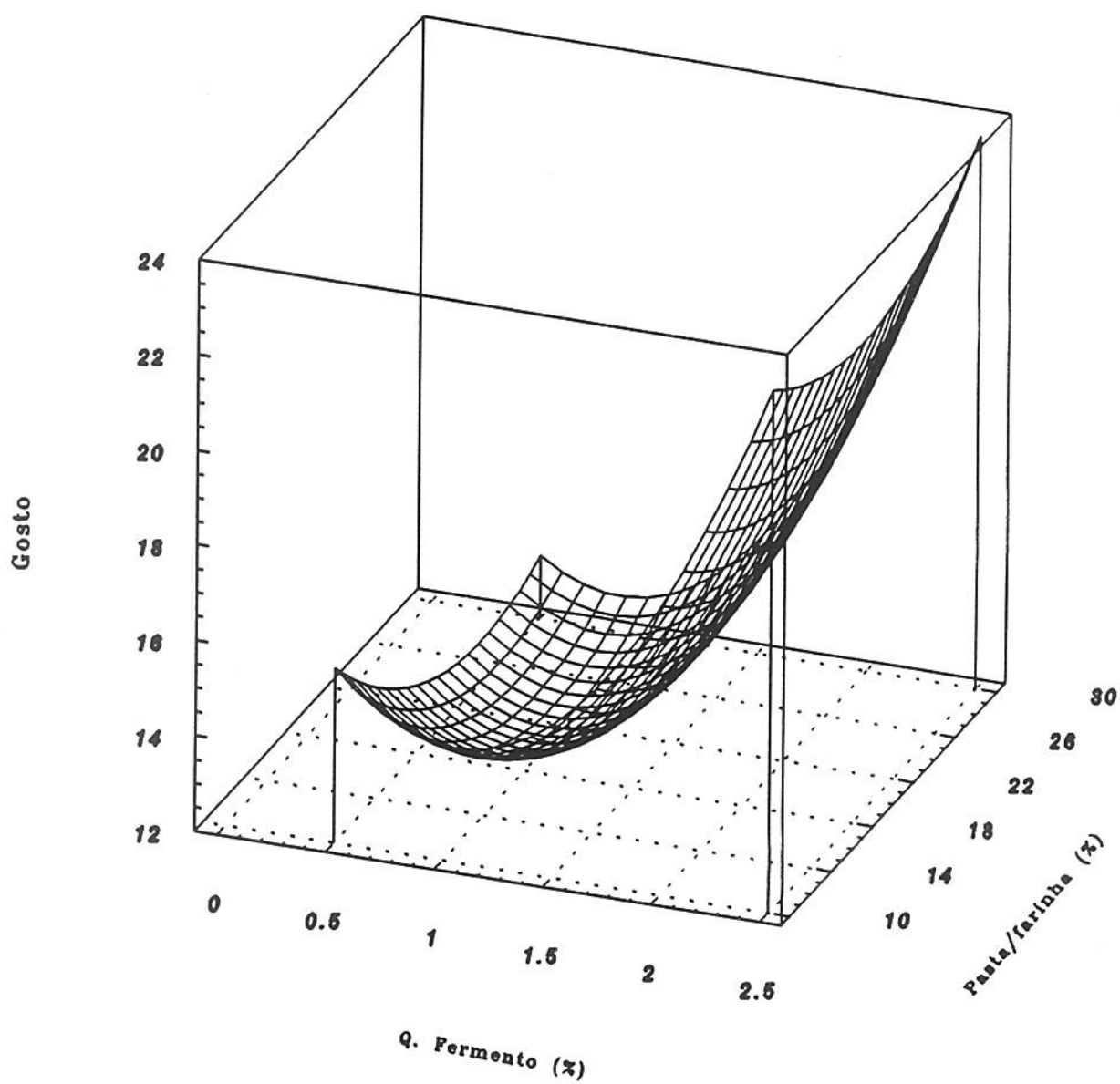


Figura 27 - Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha no gosto de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, tempo de fermentação = 100 min).

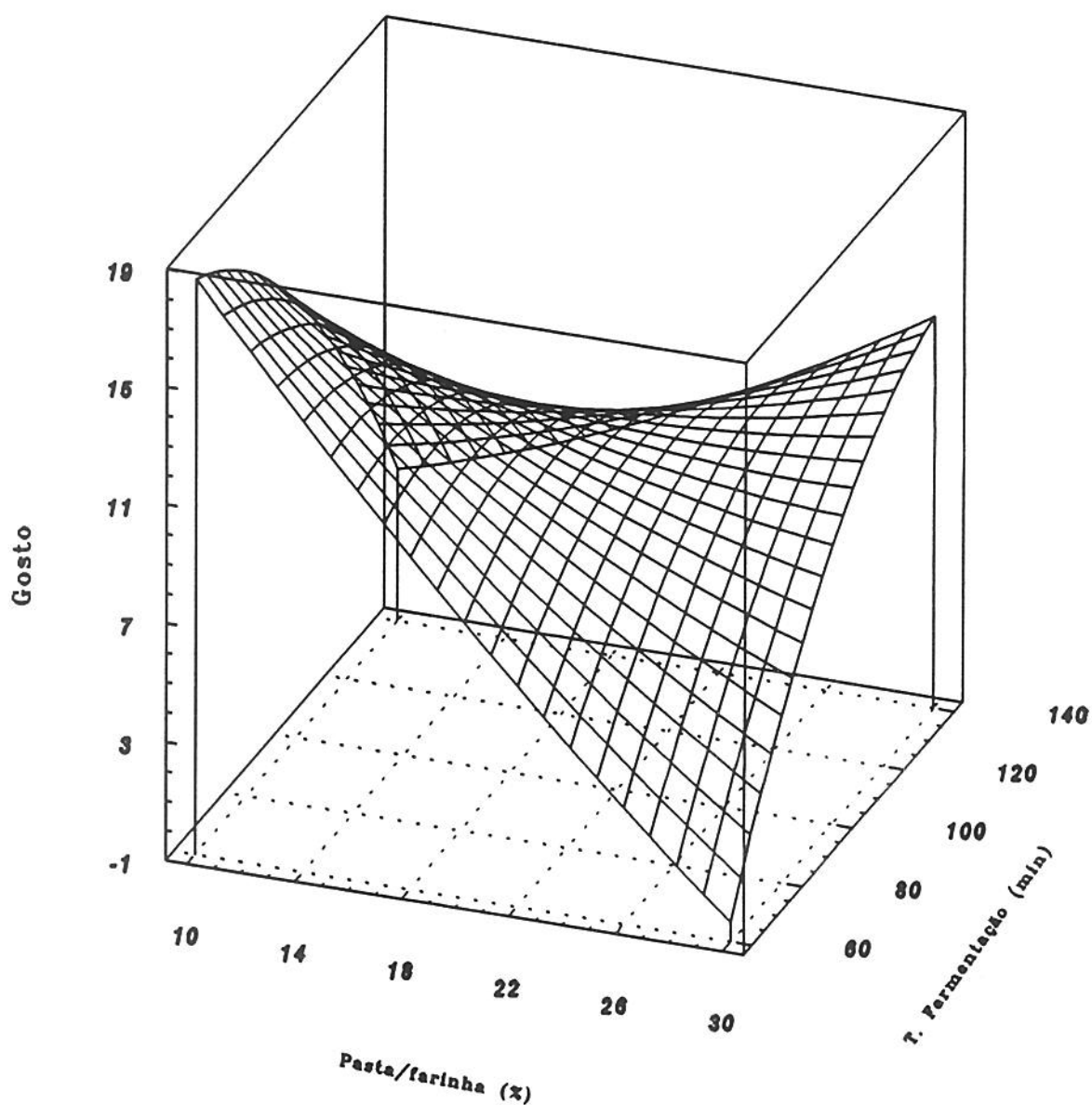


Figura 28 - Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no gosto de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, quantidade de água = 100%).

Desta maneira, pães com melhor gosto podem ser obtidos com menor proporção pasta/farinha e menor tempo de fermentação, sendo que em pontos onde a proporção pasta/farinha for alta o tempo de fermentação deverá ser aumentado para manter o gosto.

Considerando o efeito das variáveis sobre o gosto verificou-se que o melhor pode ser obtido com maior quantidade de fermento, menor tempo de fermentação, independente da proporção pasta/farinha. A variável quantidade de água não influenciou o gosto dos pães.

2- Testes Instrumentais

Segundo BRADY & MAYER (1985) existe grande correlação entre a análise sensorial e os testes instrumentais. Os pesquisadores postulam que a presença de diferenças significativas entre amostras observadas com avaliação instrumental e não percebidas com a sensorial sugere que os provadores e o equipamento não estejam medindo o mesmo parâmetro ou que o instrumento foi mais sensível às pequenas diferenças.

a- Textura do Miolo

O método instrumental para determinação de pães, adotado pela AACC (American Association of Cereal Chemists) tem sido muito empregado porque, quando a análise é realizada sensorialmente o provador é influenciado pelas características de textura como, a coesividade, elasticidade e mastigabilidade, em adição à textura (SECZESNIAK, 1963).

Os valores encontrados experimentalmente para a textura do miolo segundo condições dos tratamentos estão apresentados na tabela 27.

De acordo com os dados experimentais, foi estabelecido o modelo de regressão completo. A partir da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos, dando origem a um modelo reajustado. A ANOVA para o modelo reajustado pode ser visto na tabela 28.

O modelo reajustado é altamente significativo ($p = 0,0001$) e explica 85% da variação da resposta ($R^2 = 0,85$), por isso, o polinômio descrito na equação 10 pode ser usado para prever os valores de textura do miolo.

$$Y = 6,90.10^4 - 4,69.10^2A - 5,92.10^2T - 1,59.10^2FP + 7,75 P^2 + 3,09.10 FT + 2,56 AT + 1,29T^2$$

(equação 10)

Ainda pela ANOVA da tabela 28, a textura do miolo mostrou ser dependente, dentre as quatro variáveis estudadas, da quantidade de água e do tempo de fermentação, indicando maior significância do efeito linear do tempo de fermentação ($p = 0,0012$) e menor significância do efeito combinado do tempo de fermentação e quantidade de água ($p = 0,0563$).

As variáveis apresentadas pelo modelo são significativas ao nível de 10%.

Tabela 27- Influência das variáveis de processamento e formulação na textura do miolo dos pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Textura (g)
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	1.0	90	15	80	7666.3
2	2.0	90	15	80	10133.7
3	1.0	110	15	80	3775.6
4	2.0	110	15	80	2859.2
5	1.0	90	25	80	10459.1
6	2.0	90	25	80	7333.3
7	1.0	110	25	80	3422.4
8	2.0	110	25	80	2914.2
9	1.0	90	15	120	5242.5
10	2.0	90	15	120	6626.4
11	1.0	110	15	120	1641.4
12	2.0	110	15	120	2820.0
13	1.0	90	25	120	6309.7
14	2.0	90	25	120	5995.1
15	1.0	110	25	120	2470.1
16	2.0	110	25	120	2805.5
17	0.5	100	20	100	4511.9
18	2.5	100	20	100	3787.5
19	1.5	80	20	100	8573.3
20	1.5	120	20	100	1479.2
21	1.5	100	10	100	2716.0
22	1.5	100	30	100	6750.6
23	1.5	100	20	60	6397.8
24	1.5	100	20	140	6428.8
25	1.5	100	20	100	3722.5
26	1.5	100	20	100	3699.5
27	1.5	100	20	100	4850.9
28	1.5	100	20	100	4198.7
29	1.5	100	20	100	3270.8
30	1.5	100	20	100	4676.4
31	1.5	100	20	100	6227.1

X_1 = Quantidade de fermento (%)

X_2 = Quantidade de água (%)

X_3 = Proporção pasta/farinha (%)

X_4 = Tempo de fermentação (min)

Tabela 28- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a textura do miolo dos pães de farinha de arroz

Média das respostas	4960.18
Desvio-padrão	1178.68
Coeficiente de variação	23.76
R ²	0.8529

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	7	1.38.10 ⁺⁸	1.97.10 ⁺⁷	19.05	0.0001
Resíduo	23	2.38.10 ⁺⁷	1.04.10 ⁺⁶		
Total	30	1.62.10 ⁺⁸			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	68987.90	
A	-469.28	0.0014
T	-591.49	0.0012
FP	-158.78	0.0435
P ²	7.75	0.0142
FT	30.92	0.0514
AT	2.56	0.0563
T ²	1.30	0.0112

A= Quantidade de água (%)

T= Tempo de fermentação (min)

F= Quantidade de fermento (%)

P= Proporção pasta/farinha (%)

O efeito das variáveis independentes sobre a resposta textura do miolo será discutido a seguir.

i. Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação

A figura 29 ilustra o efeito da quantidade de água e tempo de fermentação na textura do miolo dos pães de farinha de arroz.

Verificou-se que em regiões de menor tempo de fermentação, incrementos na quantidade de água proporcionaram uma sensível alteração da textura do miolo; em regiões de longo tempo de fermentação verificou-se o mesmo efeito positivo, porém, menos acentuado.

Em regiões de maior quantidade de água, aumentos no tempo de fermentação foi altamente benéfico até aproximadamente 95 minutos, sendo que tempos maiores refletiram negativamente na textura.

Desta maneira a melhor textura foi obtida com maior quantidade de água (120%) e tempo de fermentação entre 90-95 minutos.

ii. Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha

A superfície de resposta apresentada na figura 30, ilustra o efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha na textura.

De acordo com o diagrama, em região de menor proporção pasta/farinha a redução da quantidade de fermento resultou em melhora da textura. Um efeito semelhante foi observado em região de maior proporção pasta/farinha onde, aumento da quantidade de fermento proporcionou melhora da textura.

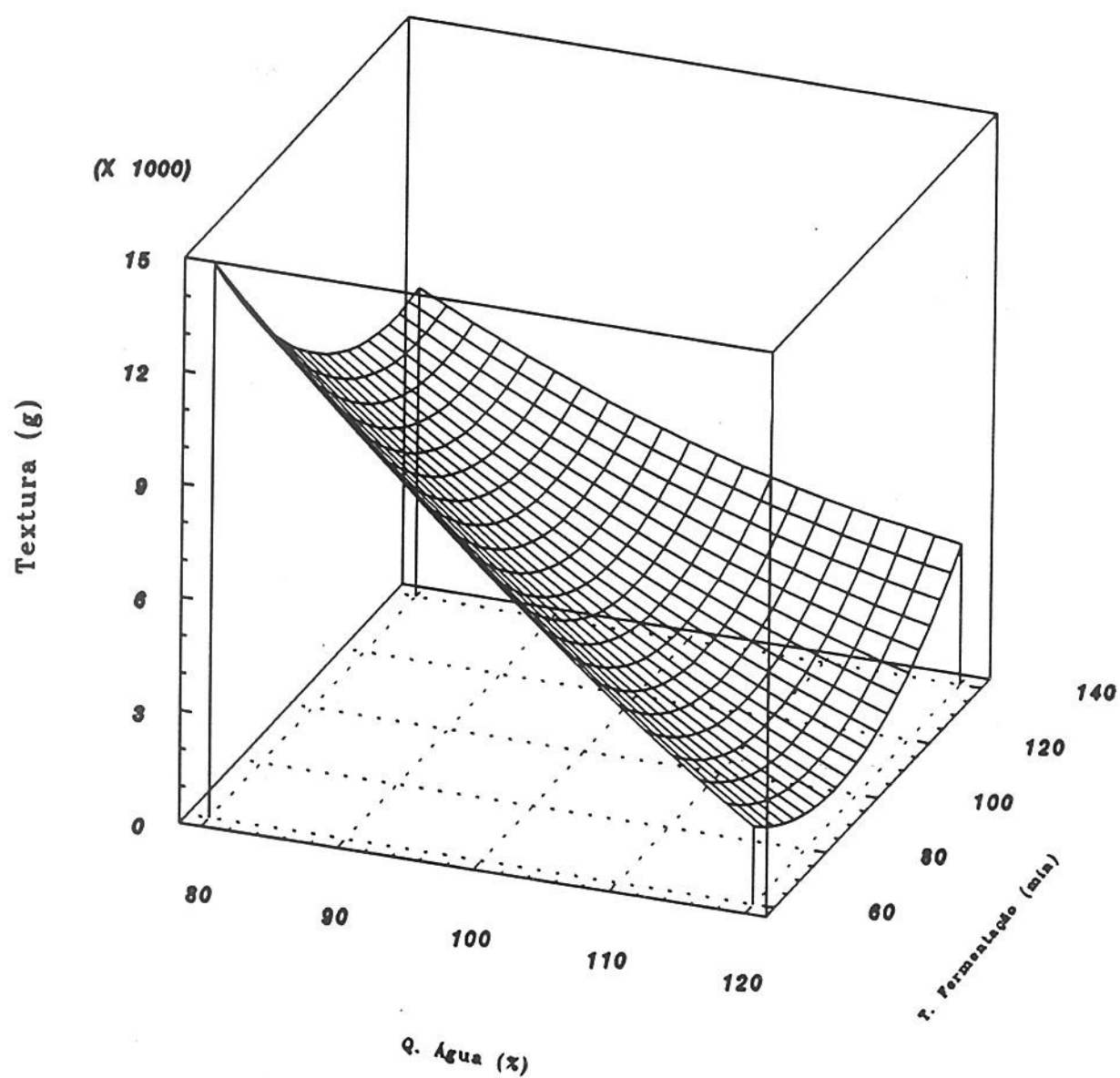


Figura 29 - Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação na textura do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, proporção pasta/farinha = 20%).

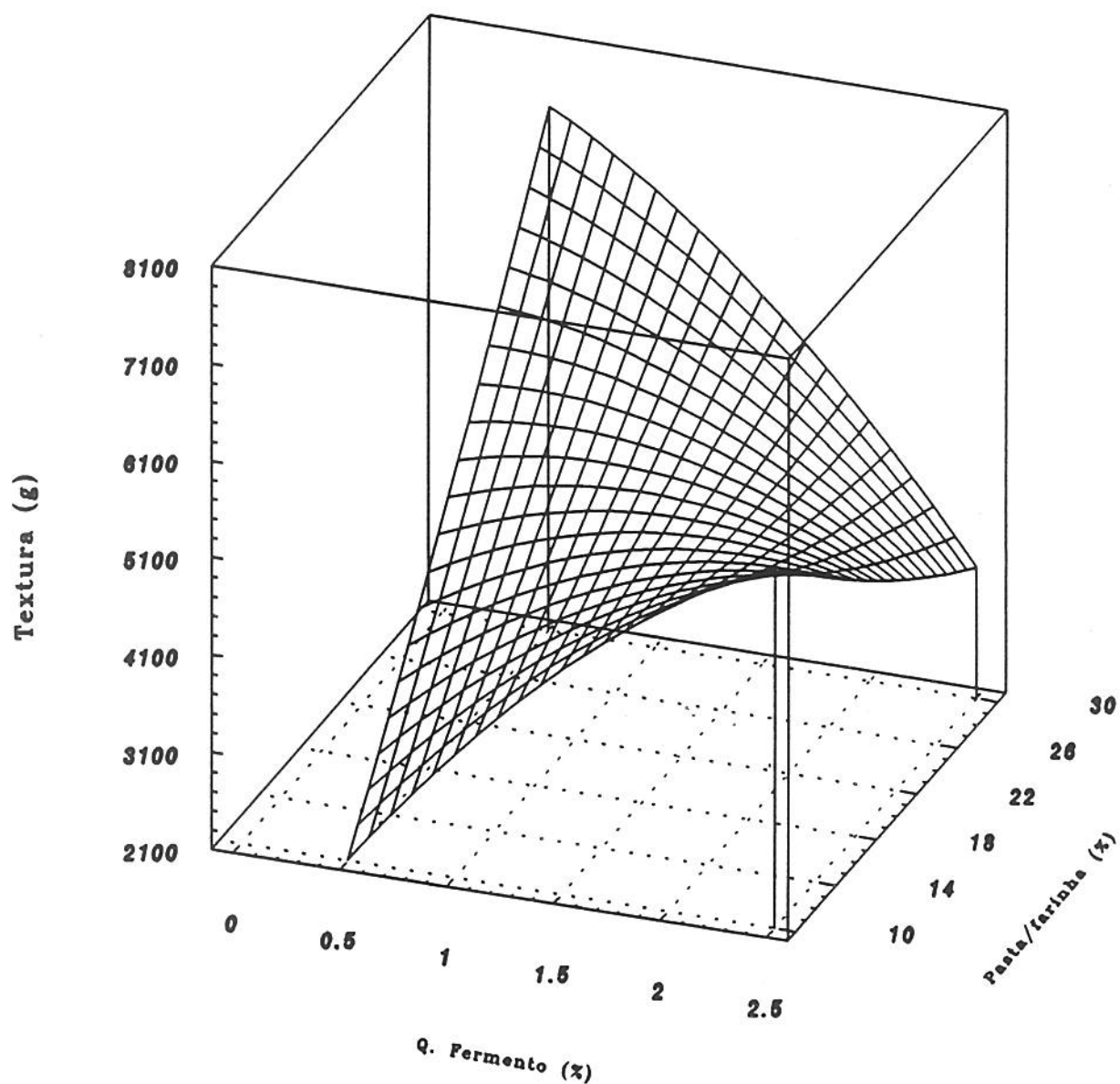


Figura 30 - Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha na textura do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, tempo de fermentação = 100min).

Verificou-se que para menores quantidades de fermento a redução da proporção pasta/farinha contribuiu para uma melhora acentuada da textura.

Assim, os melhores resultados foram obtidos com menores, proporção pasta/farinha e quantidade de fermento.

iii. Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação

A figura 31 ilustra o efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na textura.

De acordo com o diagrama, em região de menor tempo de fermentação, incrementos na quantidade de fermento levaram a uma melhora da textura. Em região de maior tempo de fermentação obteve-se uma melhora significativa do atributo com a redução da quantidade de fermento.

A melhor textura foi obtida com menor quantidade de fermento e maior tempo de fermentação.

Segundo os resultados obtidos a melhor textura dos pães de farinha de arroz pode ser obtida com maior quantidade de água, menor quantidade de fermento, menor proporção pasta/farinha e tempo de fermentação acima de 90 minutos.

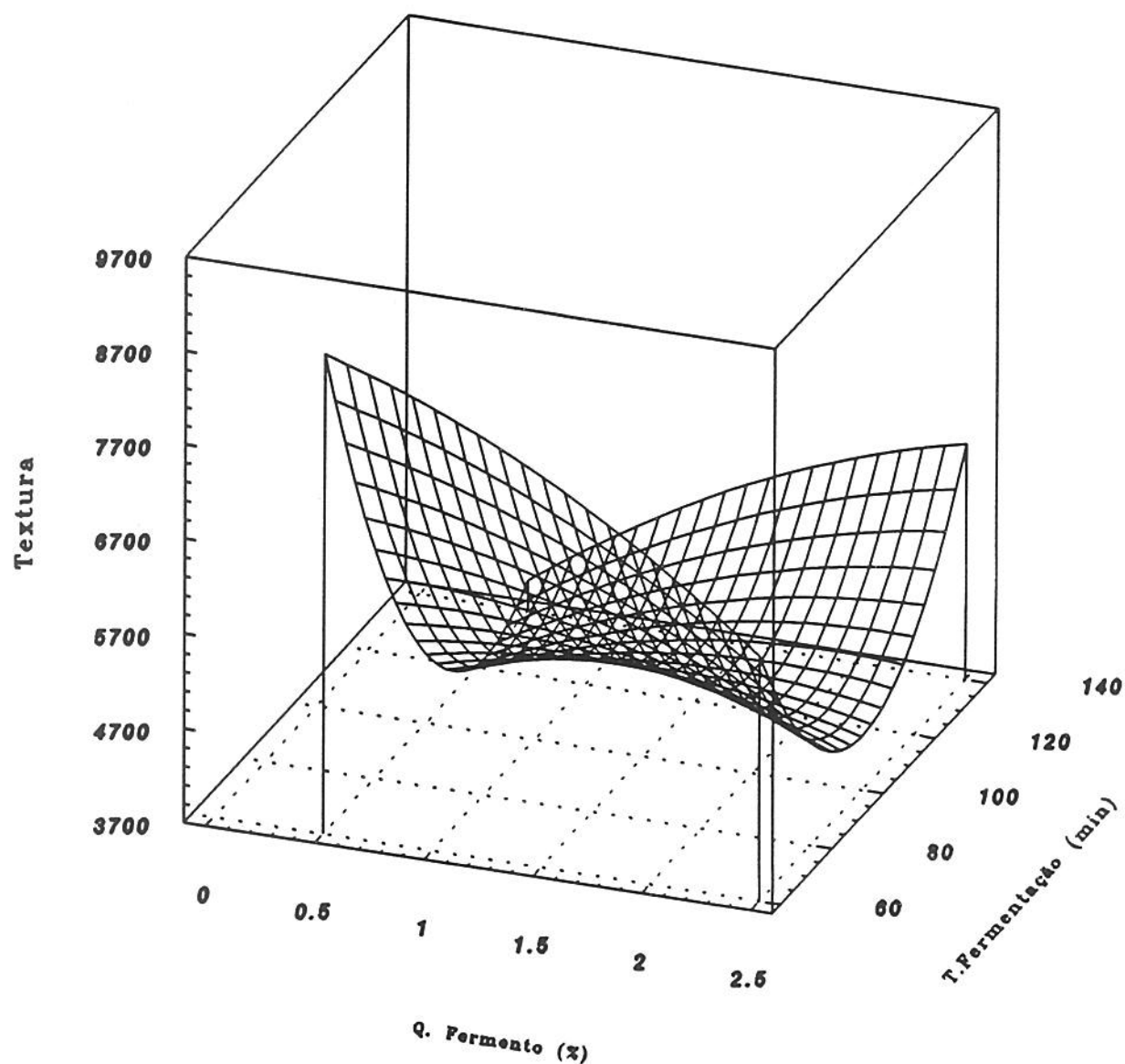


Figura 31 - Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação na textura do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, proporção pasta/farinha= 20%).

b- Cor do Miolo

A cor do miolo determinada instrumentalmente é afetada pela estrutura das células que interferem na refração da luz. Uma granulosidade grossa irá representar uma cor do miolo mais escura enquanto que, uma granulosidade fina, uma cor mais clara, mesmo empregando formulações idênticas (PYLER, 1988a).

Os valores obtidos instrumentalmente para a cor do miolo segundo condições dos tratamentos estão apresentados na tabela 29.

A cor do miolo dos pães foi medida através de três componentes L, a, b do sistema Hunter.

A figura 32 mostra a representação do sólido de cor L, a, b do sistema Hunter, onde os valores L (luminosidade) vão do zero (preto) até 100 (branco); +a (até 100) corresponde ao vermelho; -a (até -80) correspondente ao verde; +b (até +70) correspondente ao amarelo e -b (até -100) correspondente ao azul (FERREIRA, 1981).

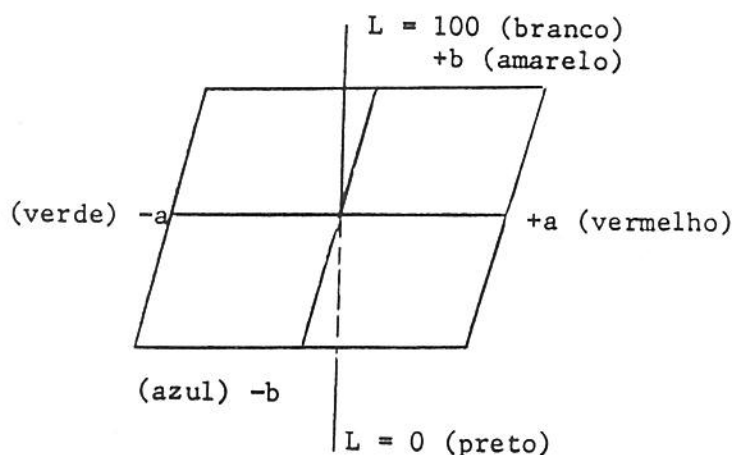


FIGURA 32- Sólido de cor L, a, b, do Sistema Hunter.

Componente L_{Hunter} (Luminosidade)

O componente " L_{Hunter} " de cor está relacionado à luminosidade. Os valores de luminosidade variam de 0 (preto) a 100 (branco), passando pelos vários tons de cinza, portanto, maiores valores de luminosidade estão relacionados a amostras mais claras e menores valores a amostras mais escuras.

Os valores de luminosidade encontrados para o miolo dos pães de farinha de arroz variaram de 77 a 85 (tabela 29).

Com os dados experimentais, foi estabelecido o modelo de regressão completo. Através da análise de variância encontrou-se um modelo de regressão para luminosidade em função das variáveis estudadas, cuja relação é representada pela seguinte equação.

$$Y = -26,26 + 1,22 A + 1,04 P + 6,63 \cdot 10^{-1} T - 3,77 \cdot 10^{-3} A^2 - 2,27 \cdot 10^{-2} P^2 - 4,33 \cdot 10^{-3} A \cdot T - 9,14 \cdot 10^{-4} T^2$$

(equação 11)

O modelo, conforme análise de regressão contida na tabela 30, foi significativo ($p=0,0001$) e explica 73,5% das variações de luminosidade ($R^2=0,7349$), podendo ser utilizado para testes preditivos.

A ANOVA indicou que a variável tempo de fermentação apresentou maior significância e que a variável quantidade de fermento não apresentou efeito significativo sobre o componente L_{Hunter} .

Tabela 29- Influência das variáveis de processamento e formulação na cor do miolo de pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Componentes		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	L	a	b
1	1.0	90	15	80	77.57	3.16	5.23
2	2.0	90	15	80	78.12	2.80	5.69
3	1.0	110	15	80	81.35	1.80	4.89
4	2.0	110	15	80	82.48	1.28	5.43
5	1.0	90	25	80	80.28	1.66	6.60
6	2.0	90	25	80	81.39	1.42	6.36
7	1.0	110	25	80	82.85	1.06	4.83
8	2.0	110	25	80	82.55	3.22	4.39
9	1.0	90	15	120	82.79	3.20	4.97
10	2.0	90	15	120	82.70	1.90	5.61
11	1.0	110	15	120	81.94	1.72	4.58
12	2.0	110	15	120	83.10	0.46	5.48
13	1.0	90	25	120	83.91	1.37	7.14
14	2.0	90	25	120	83.09	0.95	7.67
15	1.0	110	25	120	83.00	0.63	5.96
16	2.0	110	25	120	82.45	1.06	7.00
17	0.5	100	20	100	82.14	1.44	6.16
18	2.5	100	20	100	83.15	0.40	7.01
19	1.5	80	20	100	82.67	0.23	7.33
20	1.5	120	20	100	81.32	2.14	5.15
21	1.5	100	10	100	79.60	2.57	5.86
22	1.5	100	30	100	82.87	0.31	6.07
23	1.5	100	20	60	80.56	2.15	6.29
24	1.5	100	20	140	83.52	0.66	5.87
25	1.5	100	20	100	83.09	1.81	5.53
26	1.5	100	20	100	83.10	2.08	5.65
27	1.5	100	20	100	84.25	0.58	6.64
28	1.5	100	20	100	83.60	0.89	6.39
29	1.5	100	20	100	84.87	0.51	6.54
30	1.5	100	20	100	81.60	2.22	6.12
31	1.5	100	20	100	84.11	0.63	6.17

X₁= Quantidade de fermento (%)

X₂= Quantidade de água (%)

X₃= Proporção pasta/farinha (%)

X₄= Tempo de fermentação (min)

L= luminosidade

a= vermelho

b= amarelo

Tabela 30- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães de farinha de arroz: componente L_{Hunter} (luminosidade)

Média das respostas	82.26
Desvio-padrão	0.95
Coeficiente de variação	1.15
R^2	0.7349

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	7	60.2612	8.6087	9.11	0.0001
Resíduo	23	21.7420	0.9453		
Total	30	82.0032			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	-26.26	
A	1.22	0.0041
P	1.04	0.0017
T	$6.63 \cdot 10^{-1}$	0.0002
A^2	$-3.77 \cdot 10^{-3}$	0.0484
P^2	$-2.27 \cdot 10^{-2}$	0.0046
PT	$-4.33 \cdot 10^{-3}$	0.0016
T^2	$-9.14 \cdot 10^{-4}$	0.0550

A= Quantidade de água (%)

P= Proporção pasta/farinha (%)

T= Tempo de fermentação (min)

Através da equação 11 foram geradas superfícies de resposta que ilustram o efeito das variáveis sobre " L_{Hunter} ".

i. Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha

Pela superfície de resposta da figura 33 pode-se observar que a luminosidade aumentou com aumento da proporção pasta/farinha.

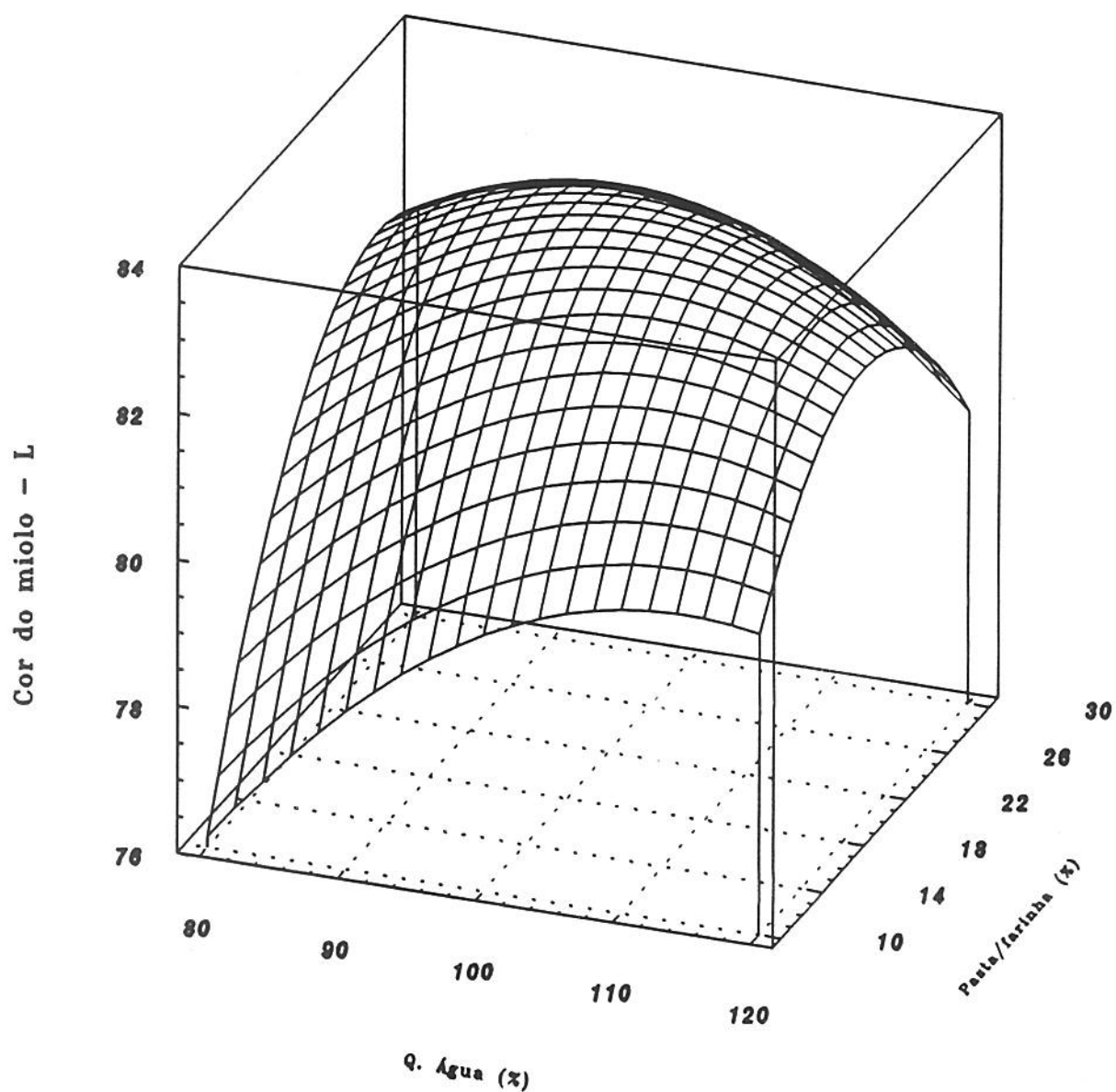


Figura 33 - Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no componente L_{Hunter} (luminosidade) do miolo de pães farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, tempo de fermentação = 100 min).

Em região de menor quantidade de água, incrementos na proporção pasta/farinha resultou em aumento da luminosidade; o mesmo efeito foi observado em regiões de maior quantidade de água porém, em menores proporções.

Para o efeito combinado das duas variáveis encontrou-se uma região de maior luminosidade, ou seja, de pães com miolo mais claro, definida por quantidade de água entre 102 - 104% e proporção pasta/farinha entre 23 - 24%.

ii. Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação

O diagrama de superfície de resposta da figura 34 ilustra o efeito da quantidade de água e tempo de fermentação no componente L_{Hunter} (luminosidade) do miolo dos pães.

De acordo com o diagrama pode-se verificar que a luminosidade aumenta com o aumento do tempo de fermentação, em região de menor quantidade de água.

Em região de menor tempo de fermentação, aumentos na quantidade de água, proporcionaram aumento da luminosidade, enquanto que em região de maior tempo de fermentação, a luminosidade aumentou com redução da quantidade de água.

Assim, a melhor luminosidade do miolo foi obtida com menor quantidade de água (80%) e maior tempo de fermentação (140 min.)

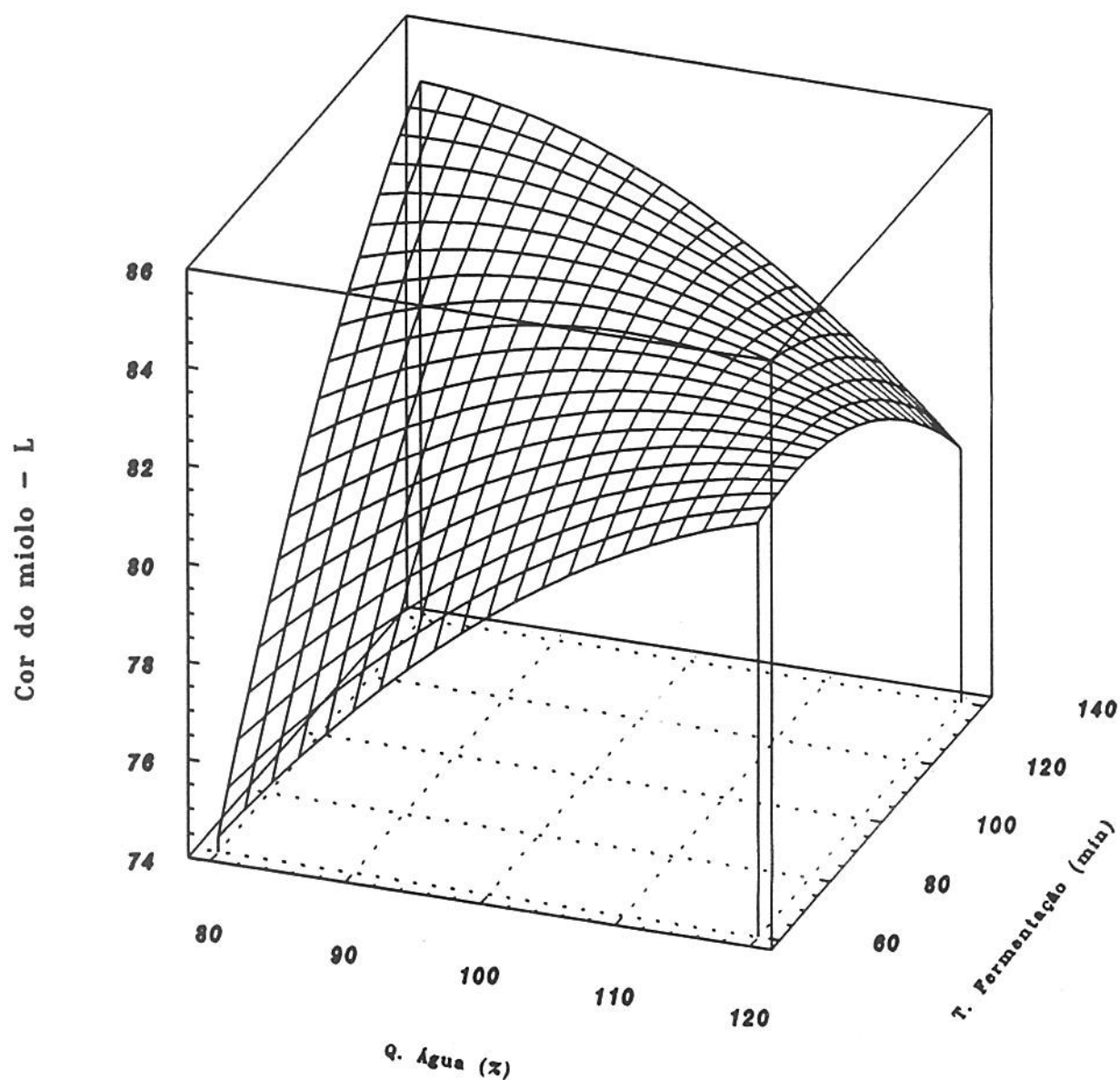


Figura 34 - Efeito da quantidade de água e tempo de fermentação no componente L_{Hunter} (luminosidade) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, proporção pasta/farinha = 20%).

iii. Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação

A figura 35 ilustra o efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no componente L_{Hunter} (luminosidade) do miolo dos pães.

Em região de menor proporção pasta/farinha incrementos no tempo de fermentação proporcionaram aumento da luminosidade.

Em região de menor tempo de fermentação, incrementos na proporção pasta/farinha até 22% resultou em aumento da luminosidade, sendo que o mesmo efeito pode ser observado em região de maior tempo de fermentação.

Assim, para o efeito combinado das duas variáveis obteve-se uma região de maior luminosidade, ou seja, de pães com miolos mais claros, definida por proporção pasta/farinha entre 20 - 21% e tempo de fermentação entre 120 - 130 minutos.

Combinando-se os efeitos das quatro variáveis estudadas obteve-se miolos mais claros (maior valor de L) nas seguintes condições: quantidade de água entre 80 - 104%, proporção pasta/farinha entre 20 - 24% e tempo de fermentação entre 120 - 140 minutos.

Componente a_{Hunter}

Os valores do componente a_{Hunter} variam de +a (até 100) que corresponde ao vermelho até -a (até -80) que corresponde ao verde.

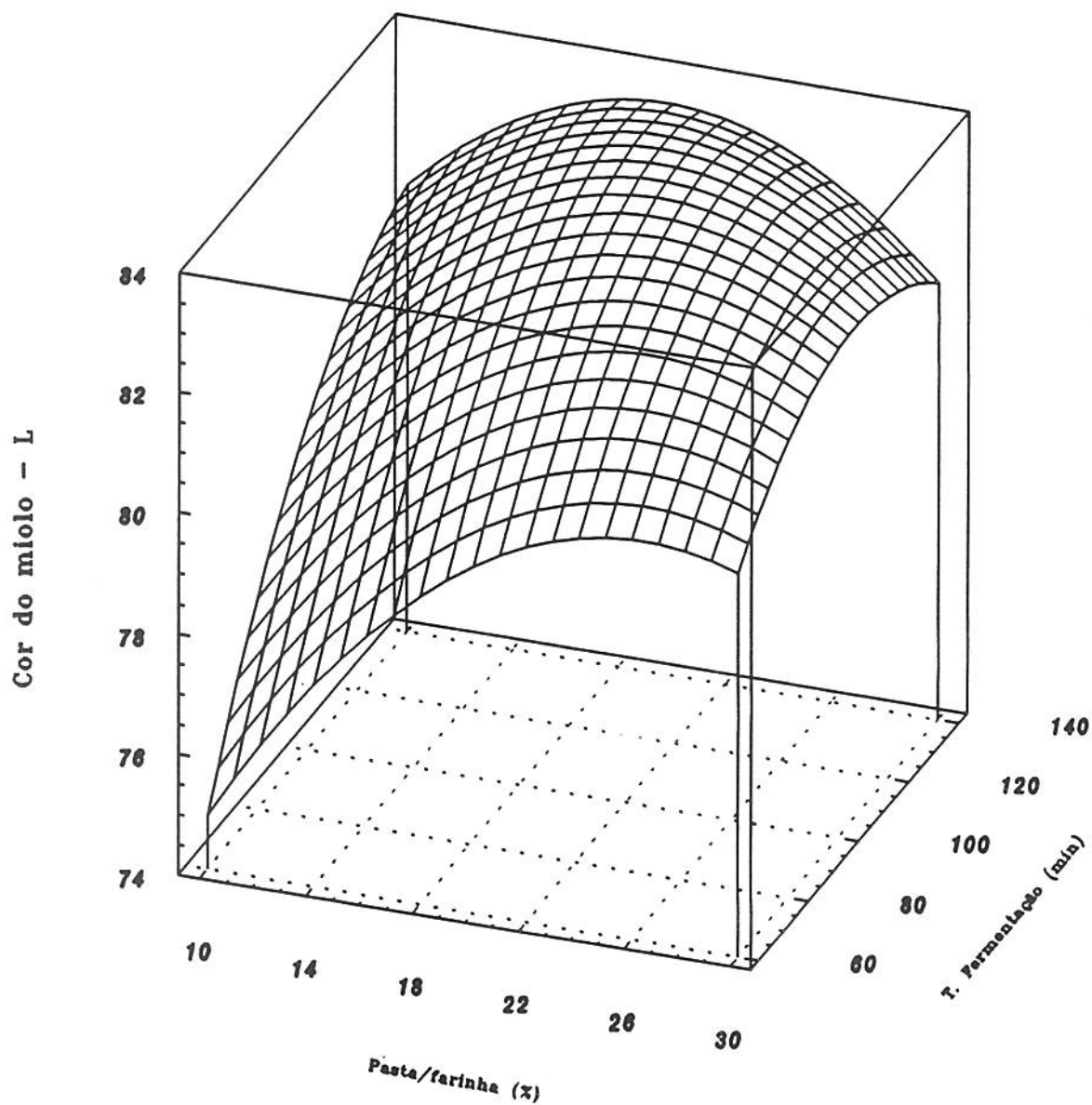


Figura 35 - Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no componente L_{Hunter} (luminosidade) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, quantidade de água = 100%).

Valores positivos para o componente a_{Hunter} (vermelho) foram encontrados para os miolos dos pães de farinha de arroz.

Conforme a tabela 29 pode-se verificar que os valores de a_{Hunter} variaram de 0,30 a 3,22.

Com os valores obtidos experimentalmente foi estabelecido o modelo de regressão completo. Através da análise de variância (ANOVA) desse modelo eliminou-se os efeitos não-significativos, dando origem a um modelo reajustado para o componente a_{Hunter} , cuja relação é representada pela seguinte equação.

$$Y = 21,26 - 1,65 \cdot 10^{-1} A - 9,60 \cdot 10^{-1} P + 5,67 \cdot 10^{-2} FP + 7,96 \cdot 10^{-3} AP - 1,37 \cdot 10^{-2} FT$$

(equação 12)

A ANOVA para o modelo reajustado pode ser visto na tabela 31.

O modelo reajustado aos dados experimentais é significativo com $p=0,0048$ e explica 47,2% da variação das respostas ($R^2=0,4719$), podendo ser utilizado com cautela para o estudo das tendências do componente a_{Hunter} , mas não se recomendaria o seu emprego como modelo preditivo.

Ainda pela ANOVA pode-se verificar que dentre as variáveis estudadas apenas a quantidade de água ($p=0,0321$) e a proporção pasta/farinha ($p=0,0131$) possuíram efeito linear significativo, ao nível de 10%.

Através da equação 12 foram geradas superfícies de resposta que ilustram o efeito das variáveis sobre o componente a_{Hunter} .

Tabela 31- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo dos pães de farinha de arroz: componente a_{Hunter} (vermelho)

Média das respostas	1.49
Desvio-padrão	0.79
Coefficiente de variação	52.74
R^2	0.4719

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	5	11.3488	2.2698	4.47	0.0048
Resíduo	25	12.6995	0.5080		
Total	30	24.0483			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	21.64	
A	$-1.65 \cdot 10^{-1}$	0.0321
P	-0.96	0.0131
FP	$5.67 \cdot 10^{-2}$	0.0368
AP	$7.96 \cdot 10^{-3}$	0.0346
FT	$-1.37 \cdot 10^{-2}$	0.0051

A= Quantidade de água (%)
P= Proporção pasta/farinha (%)
F= Quantidade de fermento (%)
T= Tempo de fermentação (min)

i. Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha

A figura 36 ilustra o efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no componente a_{Hunter} (vermelho) do miolo dos pães, em cuja região estudada apresentou um ponto de sela segmentando as tendências do valor a_{Hunter} .

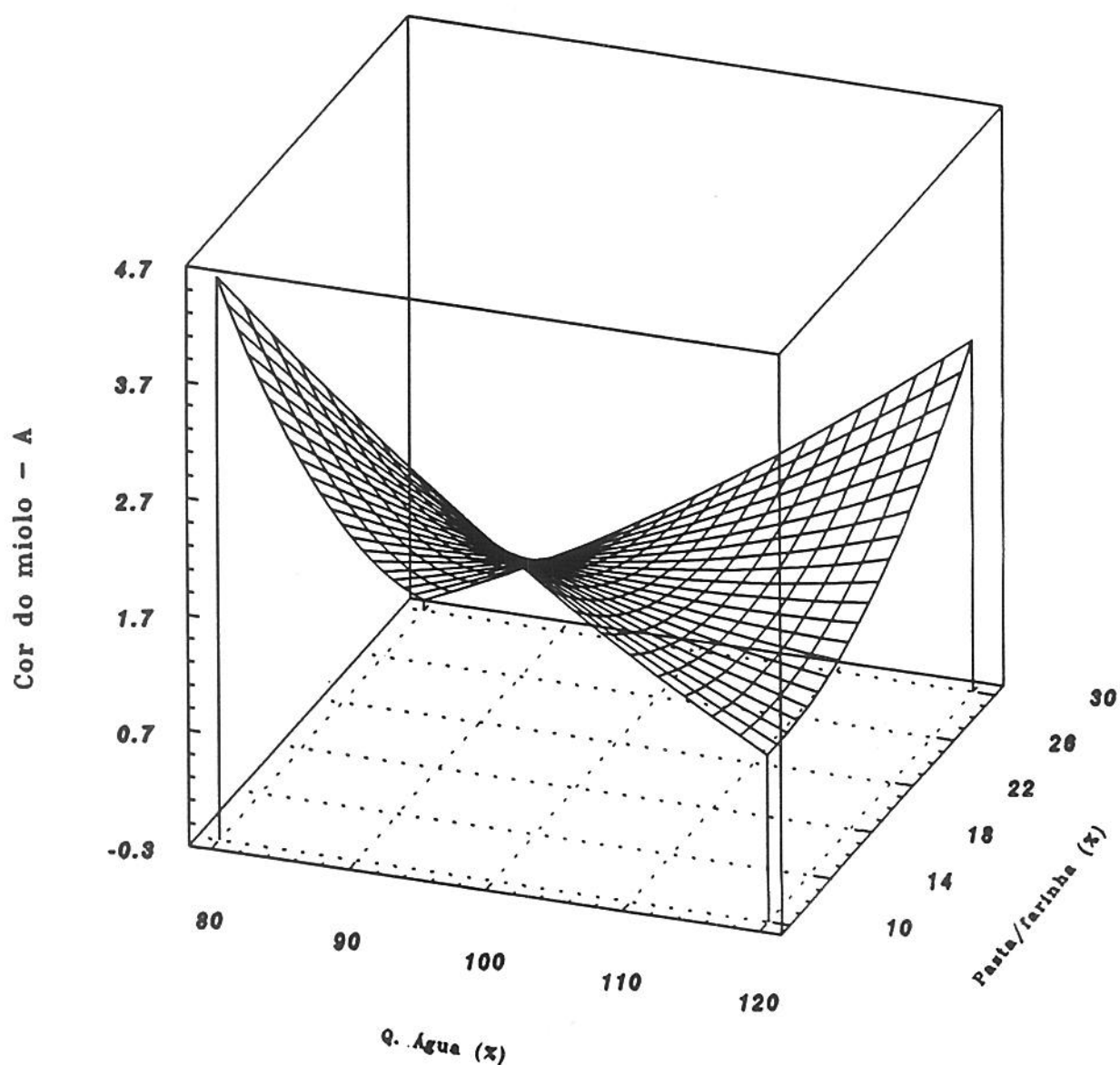


Figura 36 - Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no componente a_{Hunter} (vermelho) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, tempo de fermentação = 100 min).

Em região de menor proporção pasta/farinha observou-se que o aumento da quantidade de água proporcionou redução no valor de a_{Hunter} (vermelho). Efeito contrário foi observado em região de maior proporção pasta/farinha.

Em região de menor quantidade de água, aumentos na proporção pasta/farinha reduziram o valor de a_{Hunter} ; efeito contrário foi verificado em região de maior quantidade de água.

Assim, combinando as duas variáveis obteve-se uma região de menor valor positivo de a_{Hunter} (vermelho), ou seja, de pães com menor intensidade de vermelho no miolo, definida por quantidade de água entre 80 - 100% e proporção pasta/farinha entre 23 - 30%.

ii. Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha

De acordo com a figura 37 o efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha sobre o componente a_{Hunter} do miolo pode ser analisado como, em região de menor proporção pasta/farinha, aumento na quantidade de fermento reduziu o valor a_{Hunter} (vermelho), enquanto que em condições de maior proporção pasta/farinha, aumento na quantidade de fermento resultou em aumento do valor a_{Hunter} .

Aumentos na proporção pasta/farinha resultaram em menores valores de a_{Hunter} quando combinado à pequena quantidade de fermento.

Do efeito combinado das duas variáveis obteve-se duas regiões de menor valor positivo de a_{Hunter} , definidas por:

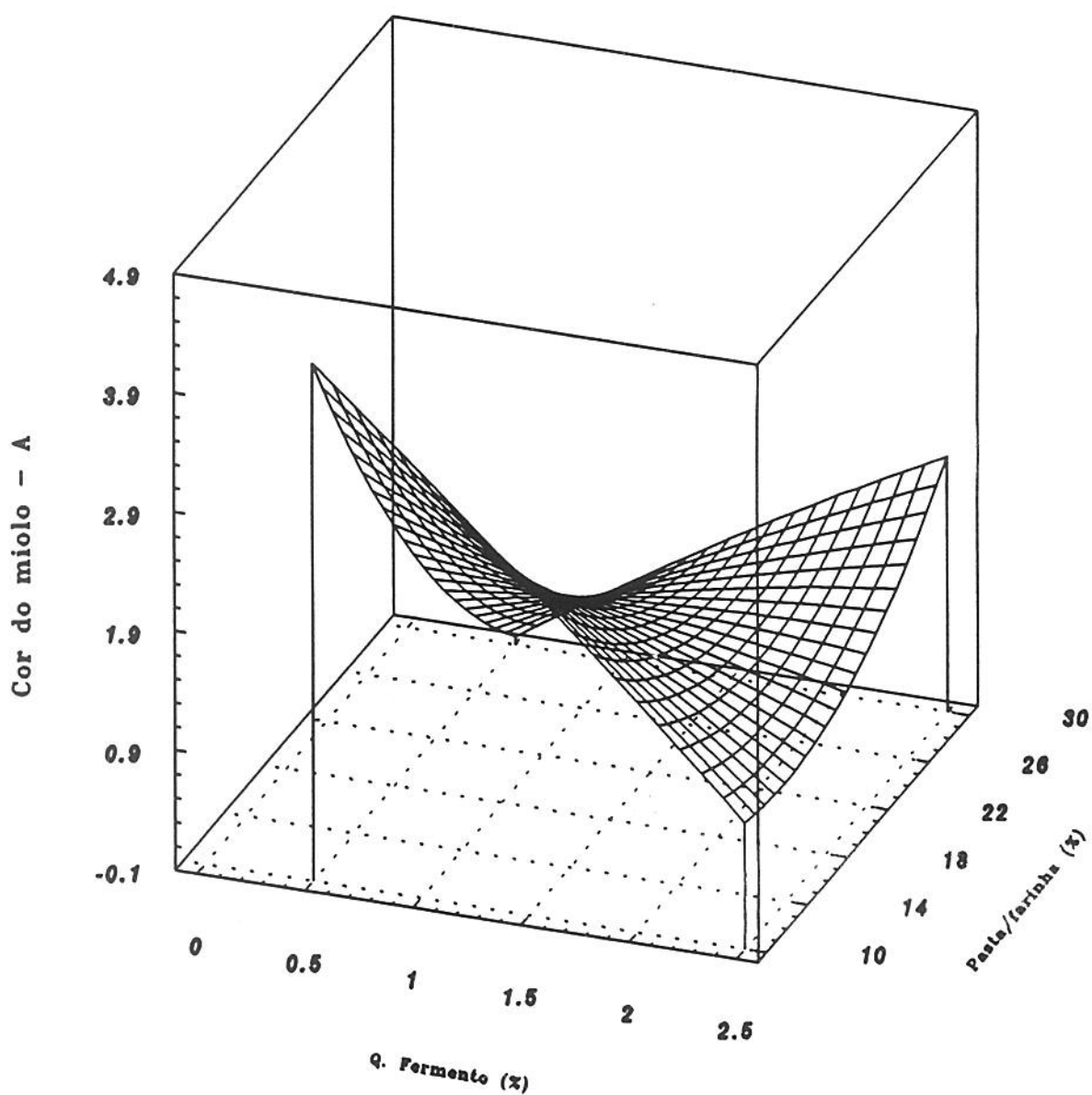


Figura 37 - Efeito da quantidade de fermento e proporção pasta/farinha no componente a_{Hunter} (vermelho) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, tempo de fermentação = 100 min).

quantidade de fermento entre 2,4 - 2,5%, proporção pasta/farinha entre 10 - 19%; e quantidade de fermento entre 0,5 - 1,4%, proporção pasta/farinha entre 23 - 30%.

iii. Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação

O diagrama de superfície de resposta da figura 38 ilustra o efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação no componente a_{Hunter} (vermelho) do miolo dos pães, em cuja região estudada apresentou ponto de sela, segmentando as tendências do valor a_{Hunter} .

Conforme mostra o diagrama para menores tempos de fermentação aumento na quantidade de fermento levou a um aumento do valor a_{Hunter} , enquanto que para maiores tempos de fermentação houve redução do valor a_{Hunter} , com o aumento da quantidade de fermento.

Assim, a região onde se obteve menor valor de a_{Hunter} , em função das duas variáveis combinadas, é definida por: quantidade de fermento entre 1,6 - 2,5% e tempo de fermentação entre 100 - 140 minutos.

Combinando-se os efeitos das quatro variáveis estudadas verificou-se que menores valores de a_{Hunter} (vermelho), ou seja, pães com miolos menos coloridos, são obtidos com: maiores quantidades de água (80 - 100%), maiores proporções pasta/farinha (23 - 30%) e maiores tempos de fermentação (100 - 140 minutos). A variável quantidade de fermento não apresentou uma região definida.

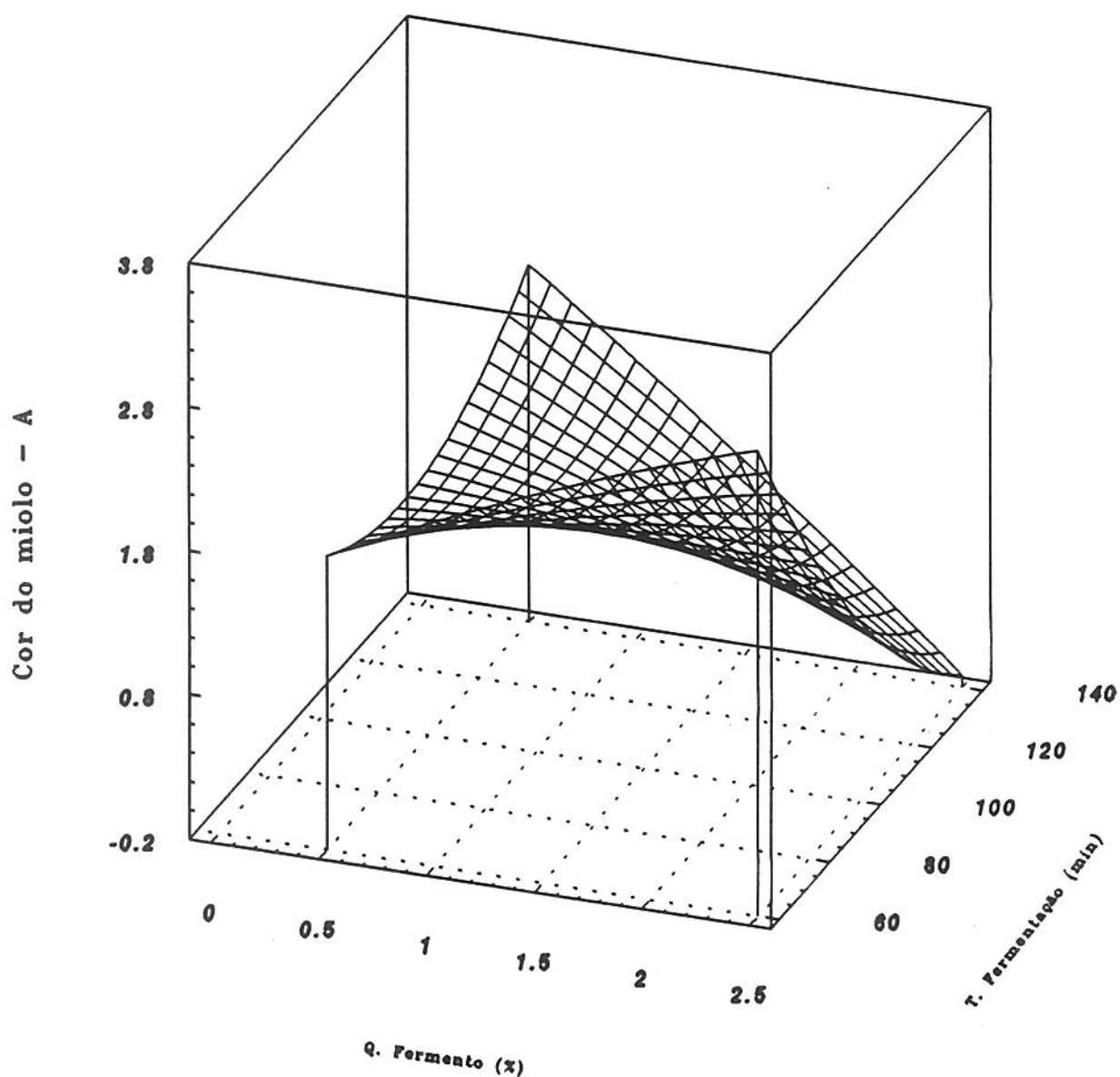


Figura 38 - Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação no componente a_{Hunter} (vermelho) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, proporção pasta/farinha = 20%).

Componente b_{Hunter}

Os valores do componente b_{Hunter} variam de +b (até +70) que corresponde ao amarelo até -b (até -100) correspondente ao azul.

Os valores obtidos experimentalmente para o componente b_{Hunter} variaram de 4,39 a 7,33, conforme consta na tabela 29.

Com base nos dados experimentais foi estabelecido o modelo de regressão completo e através da análise de variância do mesmo eliminou-se os efeitos não significativos, originando um novo modelo de regressão, significativo ($p=0,0001$) com $R^2=66,1\%$. A tabela 32 mostra a ANOVA do modelo reajustado indicando que o tempo de fermentação foi a única variável com efeito linear significativo ($p=0,0001$).

O polinômio descrito na equação 13 pode ser considerado aceitável, podendo ser utilizado com cautela para o estudo de tendências do componente b_{Hunter} .

Para a avaliação das tendências de b_{Hunter} em função das variáveis gerou-se diagramas de superfície de resposta, considerando os efeitos significativos ao nível de 10% ($p=0,1000$).

$$Y = 10,16 - 6,35 \cdot 10^{-2} T - 2,54 \cdot 10^{-3} AP + 4,62 \cdot 10^{-3} FT + 3,26 \cdot 10^{-3} PT$$

(equação 13)

i. Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha

A figura 39 ilustra o efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no componente b_{Hunter} (amarelo) do miolo dos pães.

No intervalo estudado observou-se que em região de menor quantidade de água o aumento na proporção pasta/farinha resultou em aumento acentuado do valor de b_{Hunter} , sendo que, o mesmo efeito não ocorreu em região de maior quantidade de água.

Em região de maior proporção pasta/farinha, incrementos na quantidade de água reduziram o valor de b_{Hunter} (amarelo), sendo que o mesmo não ocorreu em região de menor proporção pasta/farinha.

O menor valor de b_{Hunter} (amarelo) foi obtido com menor proporção pasta/farinha (10%) e menor quantidade de água (80%).

ii. Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação

De acordo com a figura 40 verificou-se que em maiores tempos de fermentação o aumento da quantidade de fermento proporcionou aumento do valor b_{Hunter} (amarelo), sendo que com menor tempo de fermentação o efeito foi contrário.

Em região de maior quantidade de fermento, aumentos no tempo de fermentação proporcionaram um acentuado aumento do valor b_{Hunter} (amarelo).

Os menores valores de b_{Hunter} (amarelo) foram obtidos na região compreendida por quantidade de fermento entre 1,0 - 2,5% e tempo de fermentação entre 60 - 70 minutos. Pode-se observar a obtenção de diferentes valores de b_{Hunter} em distintas regiões porém, apesar de serem diferentes, os valores oscilaram em uma estreita faixa (5,0 - 7,5), indicando pequena intensidade de amarelo no miolo dos pães.

Tabela 32- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor do miolo de pães de farinha de arroz: componente b_{Hunter} (amarelo)

Média das respostas	5.96
Desvio-padrão	0.55
Coefficiente de variação	9.25
R^2	0.6608

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	4	13.2995	3.3249	12.66	0.0001
Resíduo	26	6.8273	0.2626		
Total	30	20.1268			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	10.16	
T	$-6.35 \cdot 10^{-2}$	0.0001
AP	$-2.54 \cdot 10^{-3}$	0.0001
FT	$4.62 \cdot 10^{-3}$	0.0341
PT	$3.26 \cdot 10^{-3}$	0.0001

T= Tempo de fermentação (min)
A= Quantidade de água (%)
P= Proporção pasta/farinha (%)
F= Quantidade de fermento (%)

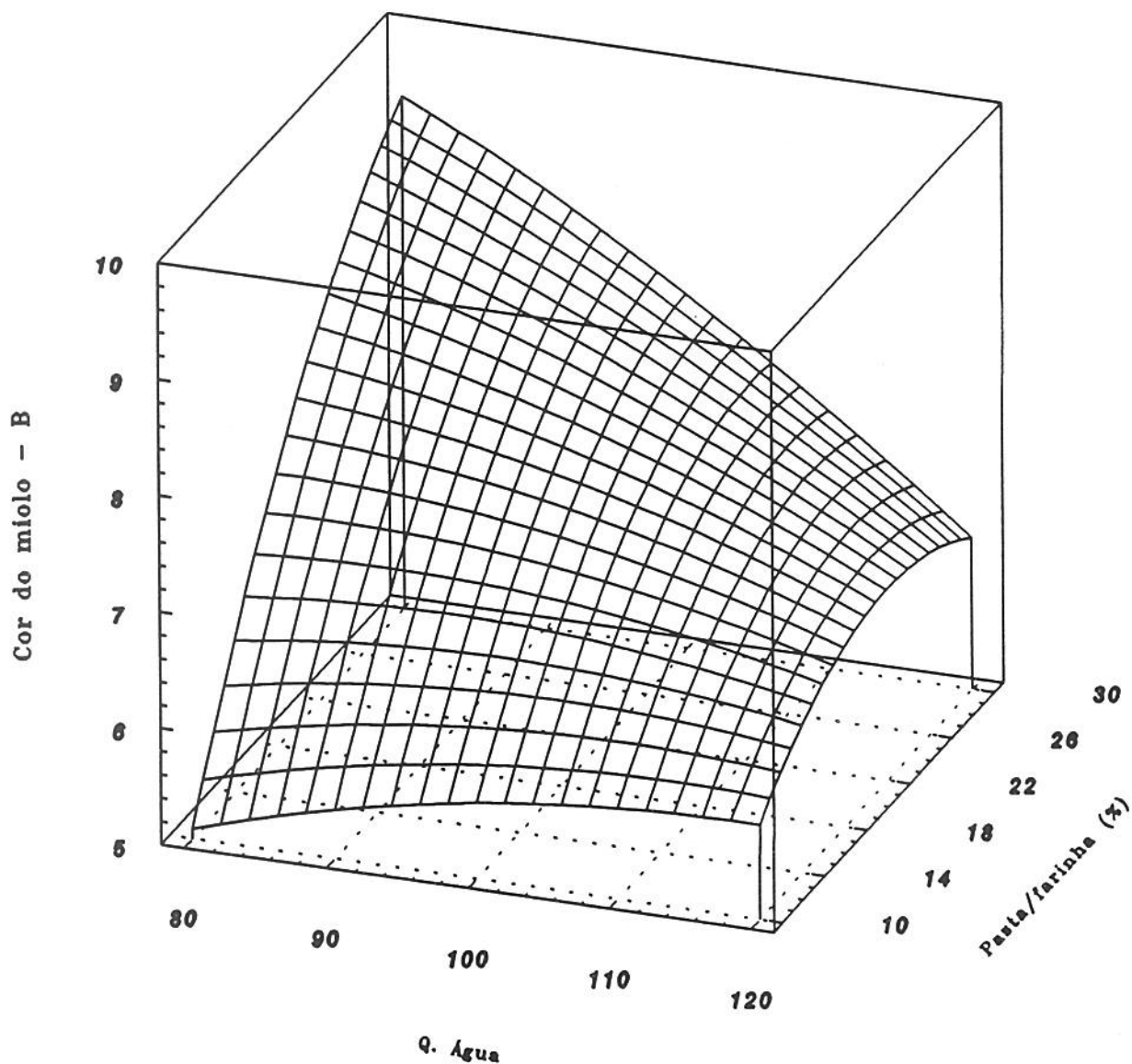


Figura 39 - Efeito da quantidade de água e proporção pasta/farinha no componente b_{Hunter} (amarelo) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de fermento = 1,5%, tempo de fermentação = 100 min).

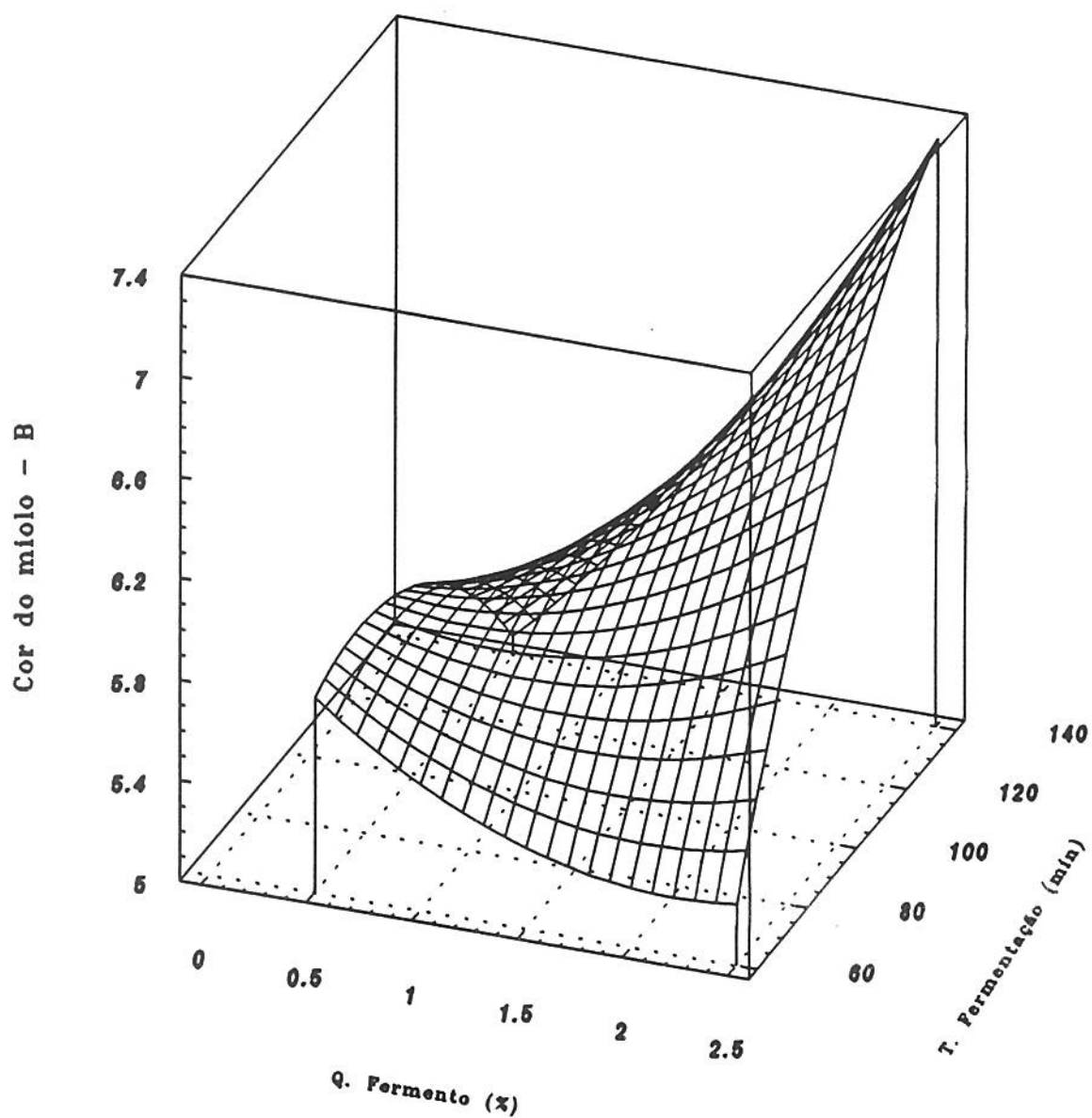


Figura 40 - Efeito da quantidade de fermento e tempo de fermentação no componente b_{Hunter} (amarelo) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, proporção pasta/farinha = 20%).

iii. Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação

Segundo o diagrama de superfície de resposta da figura 41 verificou-se que em região de maior tempo de fermentação, incrementos na proporção pasta/farinha elevaram o valor de b_{Hunter} (amarelo) e que em região de menor tempo de fermentação o efeito foi contrário.

Aumentos no tempo de fermentação foram benéficos em região de menor proporção pasta/farinha.

Assim, menor valor de b_{Hunter} (amarelo) foi obtido na região compreendida por: menor proporção pasta/farinha (10%) e maior tempo de fermentação (140 minutos).

Combinando-se as variáveis estudadas verificou-se que menores valores de b_{Hunter} (amarelo) ou seja, pães com miolos menos coloridos, foram obtidos com maior quantidade de água (120%), maior proporção pasta/farinha (30%) e menor tempo de fermentação (60 - 70 minutos). A quantidade de fermento oscilou entre 1,0 - 2,5%, o que se traduz como pouco influente.

c- Cor da Crosta

Os valores obtidos experimentalmente para a cor da crosta segundo as condições dos tratamentos estão relacionados na tabela 33.

A cor da crosta dos pães foi determinada através de três componentes L, a, b do sistema Hunter.

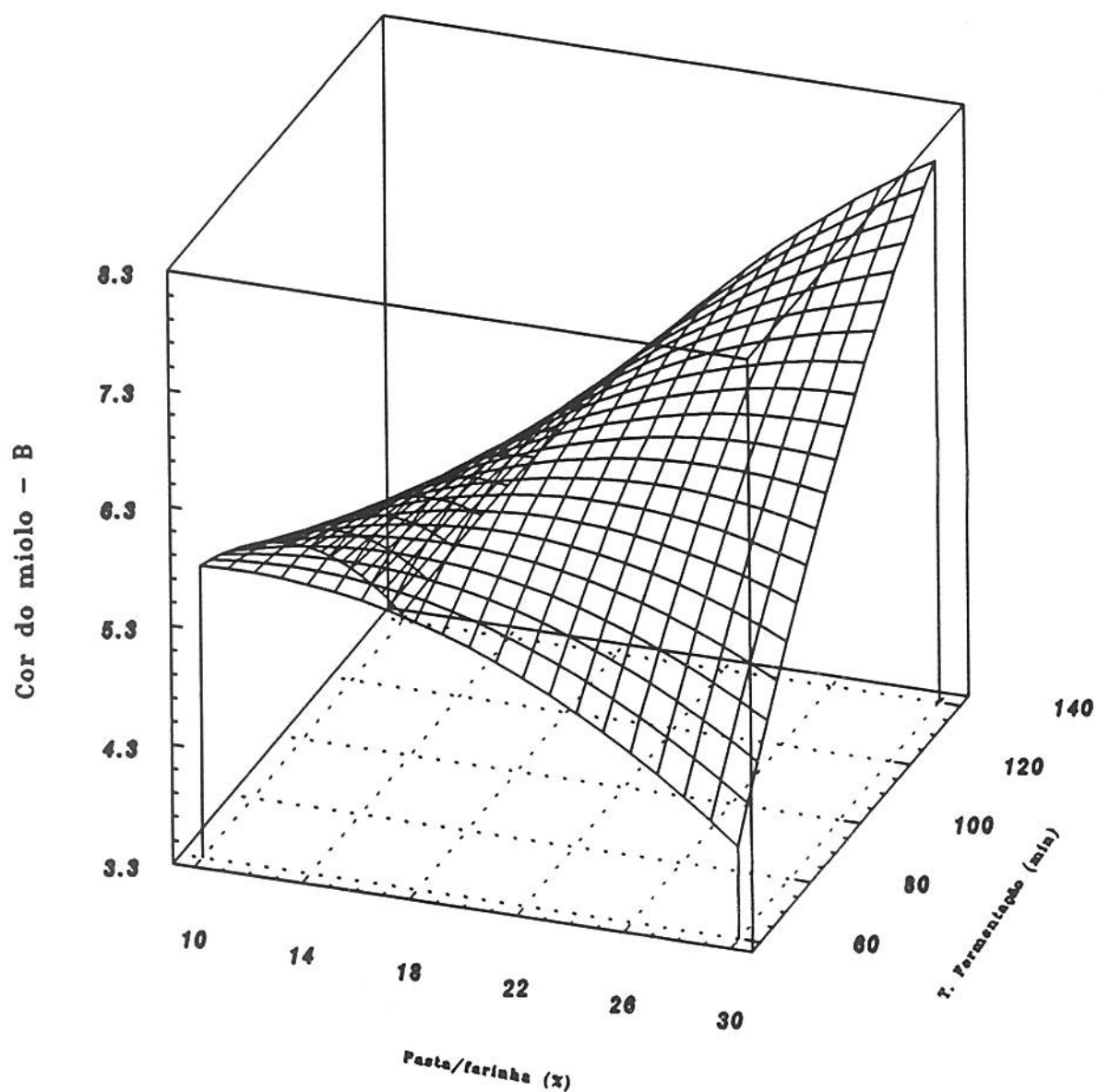


Figura 41 - Efeito da proporção pasta/farinha e tempo de fermentação no componente b_{Hunter} (amarelo) do miolo de pães de farinha de arroz (quantidade de água = 100%, quantidade de fermento = 1,5%).

Componente L_{Hunter} (luminosidade)

Os valores do componente L_{Hunter} (luminosidade) obtidos para a cor da crosta dos pães de farinha de arroz variaram entre 48 e 66 (tabela 33).

Com os dados obtidos experimentalmente foi estabelecido o modelo de regressão completo. Através da análise de variância, eliminou-se os efeitos não-significativos que foram incorporados ao resíduo, estabelecendo-se um novo modelo de regressão. A ANOVA do modelo reajustado se encontra na tabela 34, indicando que o modelo de regressão é significativo com $p=0,0055$ e explica apenas 38% da variação da luminosidade ($R^2=0,3683$), por isso, o polinômio descrito na equação 14 dificilmente poderá ser usado para prever os valores de L_{Hunter} (luminosidade) da crosta, no intervalo estudado.

$$Y = 35,95 + 2,31 P - 2,12 \cdot 10^{-2} PT + 1,63 \cdot 10^{-3} T^2$$

(equação 14)

Ainda pela ANOVA da tabela 34 pode-se observar que apenas uma variável entre as quatro analisadas foi significativa para a luminosidade da crosta. Dos efeitos quadráticos e combinados apenas dois foram significativos, indicando que a luminosidade dos pães pode ser dependente de outros fatores, não analisados.

Componente a_{Hunter} (vermelho)

Conforme mostra a tabela 33, os valores do componente a_{Hunter} para a crosta dos pães de farinha de arroz oscilaram entre 14 e 24.

Tabela 33- Influência das variáveis de processamento e formulação na cor da crosta de pães de farinha de arroz

Tratamentos	Variáveis				Componentes		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	L	a	b
1	1.0	90	15	80	54.43	20.92	22.67
2	2.0	90	15	80	52.76	20.34	20.40
3	1.0	110	15	80	55.95	19.60	21.83
4	2.0	110	15	80	56.93	18.46	22.96
5	1.0	90	25	80	62.36	14.46	23.31
6	2.0	90	25	80	66.18	13.79	23.25
7	1.0	110	25	80	61.99	15.73	23.95
8	2.0	110	25	80	57.66	18.76	22.59
9	1.0	90	15	120	59.39	17.00	23.50
10	2.0	90	15	120	58.04	18.41	24.17
11	1.0	110	15	120	47.82	24.47	20.04
12	2.0	110	15	120	56.07	17.15	23.89
13	1.0	90	25	120	59.20	18.61	23.89
14	2.0	90	25	120	50.24	22.73	20.15
15	1.0	110	25	120	54.69	21.70	23.82
16	2.0	110	25	120	52.50	22.83	22.65
17	0.5	100	20	100	54.69	19.40	23.54
18	2.5	100	20	100	55.24	20.14	23.63
19	1.5	80	20	100	56.21	19.20	23.17
20	1.5	120	20	100	62.12	16.72	25.13
21	1.5	100	10	100	56.74	18.46	22.05
22	1.5	100	30	100	56.57	15.00	23.27
23	1.5	100	20	60	63.57	15.09	23.91
24	1.5	100	20	140	54.87	18.15	23.07
25	1.5	100	20	100	52.20	22.53	21.73
26	1.5	100	20	100	54.46	19.64	22.68
27	1.5	100	20	100	58.12	19.06	25.34
28	1.5	100	20	100	50.64	22.45	21.55
29	1.5	100	20	100	52.68	21.45	22.88
30	1.5	100	20	100	63.61	14.76	24.86
31	1.5	100	20	100	56.10	19.18	22.88

X₁= Quantidade de fermento (%)

X₂= Quantidade de água (%)

X₃= Proporção pasta/farinha (%)

X₄= Tempo de fermentação (min)

L= Luminosidade

a= vermelho

b= amarelo

Tabela 34- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor da crosta de pães de farinha de arroz: componente L_{Hunter} (luminosidade)

Média das respostas	56.58
Desvio-padrão	4.18
Coeficiente de variação	7.39
R^2	0.3683

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	3	200.4460	66.8153	5.25	0.005
Resíduo	27	343.7964	12.7332		
Total	30	544.2424			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	35.95	
P	2.31	0.0074
PT	$-2.12 \cdot 10^{-2}$	0.0118
T^2	$1.63 \cdot 10^{-3}$	0.0509

P= Proporção pasta/farinha (%)
T= Tempo de fermentação (min)

Com os valores obtidos experimentalmente foi estabelecido um modelo de regressão completo. Através da análise de variância (ANOVA) os efeitos não-significativos foram eliminados e incorporados ao resíduo. Um novo modelo de regressão foi então estabelecido para o componente a_{Hunter} (vermelho), cuja relação é representada pela seguinte equação.

$$Y = 46,94 - 3,09P - 7,99 \cdot 10^{-2}FA + 4,05 \cdot 10^{-1}FP + 7,58 \cdot 10^{-3}AP + 1,60 \cdot 10^{-2}PT - 1,32 \cdot 10^{-3}T^2$$

(equação 15)

A ANOVA do modelo reajustado se encontra na tabela 35 e indica que o modelo de regressão é significativo com $p=0,0071$ e explica apenas 50% ($R^2=0,49$) da variação do componente a_{Hunter} (vermelho), por isso, o polinômio descrito pela equação 15 dificilmente poderá ser usado para prever os valores de a_{Hunter} da crosta, no intervalo estudado.

Ainda pela ANOVA pode-se observar que entre as variáveis apenas uma foi significativa no intervalo estudado; indicando que provavelmente outros fatores podem estar relacionados ao componente a_{Hunter} da crosta.

Componente b_{Hunter} (amarelo)

De acordo com a tabela 33, os valores do componente b_{Hunter} para a crosta dos pães de farinha de arroz variaram entre 20 e 25.

Com base nos dados experimentais foi estabelecido um modelo de regressão completo e através da análise de variância do mesmo eliminou-se os efeitos não-significativos, originando um novo modelo de regressão, pouco significativo ($p=0,1637$) o qual explica apenas 17% da variação do componente b_{Hunter} da cor da crosta dos pães. A tabela 36 mostra a ANOVA do modelo reajustado, indicando que apenas uma variável entre as quatro estudadas apresentou efeito significativo.

O polinômio descrito pela equação 16 dificilmente poderá ser usado para prever os valores de b_{Hunter} da crosta, no intervalo estudado.

$$Y = 17,96 + 2,75 \cdot 10^{-1} P + 2,62 \cdot 10^{-2} FA - 1,47 \cdot 10^{-1} FP$$

(equação 16)

Tabela 35- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor da crosta de pães de farinha de arroz: componente a_{Hunter} (vermelho)

Média das respostas	18.91
Desvio-padrão	2.48
Coeficiente de variação	13.11
R^2	0.4956

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	6	111.9673	18.6612	3.93	0.0071
Resíduo	24	113.9621	4.7484		
Total	30	225.9294			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	46.94	
P	-3.09	0.0006
FA	$-7.99 \cdot 10^{-2}$	0.0552
FP	$4.05 \cdot 10^{-1}$	0.0490
AP	$7.58 \cdot 10^{-3}$	0.0456
PT	$1.60 \cdot 10^{-2}$	0.0028
T^2	$1.32 \cdot 10^{-3}$	0.0122

P= Proporção pasta/farinha (%)

F= Quantidade de fermento (%)

A= Quantidade de água (%)

T= Tempo de fermentação (min)

A cor da crosta dos pães foi medida através de três componentes separadamente, os quais quando analisados em conjunto representariam a percepção da cor através do olho humano.

De acordo com as determinações instrumentais não se conseguiu definir o efeito das variáveis estudadas, porém, o mesmo não ocorreu quando a cor foi analisada visualmente.

Tabela 36- Análise de variância e estimativa dos coeficientes de regressão para a cor da crosta de pães de farinha de arroz: componente b_{Hunter} (amarelo)

Média das respostas	22.99
Desvio-padrão	1.38
Coefficiente de variação	6.01
R^2	0.1698

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Regressão	3	8.5210	2.9311	1.84	0.1637
Resíduo	27	41.6724	1.4796		
Total	30	50.1933			

Variáveis	Estimativa do coeficiente	Prob>F
Intercepto	17.96	
P	$2.75 \cdot 10^{-1}$	0.0266
FA	$2.62 \cdot 10^{-2}$	0.0668
FP	$-1.47 \cdot 10^{-1}$	0.0469

P= Proporção pasta/farinha (%)

F= Quantidade de fermento (%)

A= Quantidade de água (%)

V. CONCLUSÕES

EFEITO DA QUANTIDADE DE ÁGUA, QUANTIDADE DE FERMENTO, PROPORÇÃO PASTA/FARINHA E TEMPO DE FERMENTAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DOS PÃES DE FARINHA DE ARROZ.

1. VOLUME

O volume apresenta uma relação direta com a quantidade de água e indireta com a proporção pasta/farinha. O melhor volume pode ser obtido nas seguintes condições: maior quantidade de água, menor proporção pasta/farinha e tempo de fermentação entre 110 e 120 minutos. A quantidade de fermento não influi no volume.

2. COR DA CROSTA

Pães com melhor cor da crosta ocorrem com menores, quantidades de água, fermento, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

3. CARACTERÍSTICAS DA CROSTA

As melhores características da crosta ocorrem com maior quantidade de água e menores, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação. A quantidade de fermento não influi nas características da crosta.

4. ESTRUTURA DE CÉLULAS DO MIOLO

A estrutura de células do miolo melhoram com maiores, quantidades de água e fermento em combinação com menores, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

5. TEXTURA

A melhor textura do miolo dos pães de farinha de arroz pode ser obtida nas seguintes condições: maior quantidade de água, menores quantidade de fermento e proporção pasta/farinha. O tempo de fermentação ideal seria o intervalo entre 90 e 95 minutos ou acima (140 minutos).

6. COR DO MIOLO

A melhor cor do miolo pode ser obtida com maiores quantidade de água, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação. A variável quantidade de fermento não apresenta uma região ótima, definida.

7. AROMA

O melhor aroma pode ser obtido com: maiores, quantidades de fermento e água; e menores, proporção pasta/farinha e tempo de fermentação.

8. GOSTO

O gosto dos pães melhora com aumento da quantidade de fermento e redução do tempo de fermentação, independente da proporção pasta/farinha. A quantidade de água não influi no gosto.

As melhores características de qualidade dos pães de farinha de arroz, de acordo com o estudo realizado, podem ser obtidas nas condições de processamento conforme demonstrado na tabela 37.

Tabela 37 - Resposta das condições de processamento nas características de qualidade dos pães de farinha de arroz.

Melhores condições de processamento				
Características de qualidade	Quantidade fermento (%)	Quantidade água (%)	Proporção pas - ta/farinha (%)	Tempo de fermentação (min)
<u>Organolépticas</u>				
Volume	–	110-120	10	110-120
Cor da Crosta	0,5	80	25-30	60-90
Simetria	–	110-120	10-15	60-80
Características da crosta	–	120	10	80-100
Estrut. de células do miolo	2,5	120	10	140
Textura	2,5	120	–	140
Aroma	2,5	120	10	60-80
Gosto	2,5	–	–	60-80
<u>Instrumentais</u>				
Textura	0,5	120	10	90
Cor do miolo				
L	–	80-104	20-24	120-140
a	–	80-100	23-30	100-140
b	0,5	80	10	140

Obs:- Cor do miolo (sensorial) e cor da crosta (instrumental):- não foi possível avaliar o efeito das variáveis estudadas; provavelmente não existe relação direta entre os atributos e as variáveis.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - AACC Approved methods of the American Association of Cereal Chemists 8^a ed. St. Paul, 1983. v.1-2.
- 2 - AKOBUNDU, E.N.T.; UBBAONU, C.N.; NDUPUH, C.E.
Studies on baking potencial of non-wheat composite flours. **J. Sc. Technol.**, **25** (4): 211-214, 1988.
- 3 - AMEND, T. & BELITZ, H.D. Microstrutural studies of gluten and hypotesis on dough formation. **Food Struct.** **10** 4: 277-288, 1991.
- 4 - ARSENEVA, L.Yu.; DROBOT, V.I.; ZHUSHMAN, A.I.; KOPTILOVA, E. k. Use of modified starches in breadmaking. **Khlebopekarnaya i konditerskaya Promyshlennost** **8**: 20-22, 1987.
- 5 - BARTLEY, S. H. Taste and smell perceptions. In: principles of perception. New York, 1969. chap. 14, p.379-384.
- 6 - BARTNICK, M.; JAKUBCZYK, T.; DULINSKA, A.; KACZYNSKA, E. Use of various raw materials in the manufature of gluten-free bread. **Przegląd Piekarski e Cukierniczy** **34** (3): 6-9, 1986.
- 7 - BERNADIN, J.E. & KASARDA, D.D. The microstructure of wheat protein fibrils. **Cereal Chem.** **50**: 736, 1973.
- 8 - BLOSKMA, A.H. Oxidation by molecular oxygen of thiol groups in unleavened doughs from normal and defatted wheat flours. **J. Sci. Food Agr.** **14**: 529, 1963.
- 9 - BLOSKMA, A.H. Oxidation by potassium iodate of thiol groups in unleavened wheat flour doughs. **J. Sci. Food Agr.** **15**: 83, 1964.
- 10- BLOSKMA, A.H. Rheologie von brotteig bei langsamen deformatione **Brot. Gebaeck** **18**: 173, 1964.

- 11- BOX, G.E.P. & WILSON, K.B. On the experimental attainment of optimum condition. **J. Royal Stat. 13**: 1-45, 1951.

- 12- BRADY, P.L. & MAYER, S.M. Correlations of sensory and instrumental measures of bread texture. **Cereal Chem.** **62** (1): 70-72, 1985.

- 13- BRUMMER, J-M. Hydrocolloids for bread manufacture. **Getreide, Mehl und brot 31** (31): 296-299, 1977.

- 14- CASIER, J.P.J. & SOENEN, M. Die wasserunloslichen pentosane aus roggen und weizen und ihr einfluss auf die backwerte. **Getreide und Mehl 41**: 46, 1967.

- 15- CASIER, J.P.J.; de PAEPE, G.; BRUMMER, J-M. Einfluss der wasserunloslichen weizen-und roggen-pentosane auf die backeigenschaften von weizen-mehlen und anderen rohstoffen **Getreide, Mehl and Brot. 27**: 36, 1973.

- 16- CASIER, J.P.J.; PAEPE, G. de; WIELEMS, H.; GOFFINGS, G.; NOPPEN, H. Bread from starchy tropical crops. Bread production from pure millet and sorghum flours, using cereal endosperm cell-wall-pentosan as a universal baking factor. **Tropical Products Institute Conference Papers** 127-131, 1977.

- 17- CHINNASWAMY, R.; UNNIKRISHNAN, K.R.; BHATTACHARYA, K.R. Rheological properties of certain processed rice products. **Starch, 37** 3: 99-103, 1985.

- 18- CHRISTIANSON, D.D. Bread foods fortified with vegetable protein. **Bakers Digest, 50** (3): 34-36, 1976.

- 19- CHRISTIANSON, D.D. et alii. Xanthan gum in protein fortified starch bread. **Food Technol. 28**: 23-29, 1979.

- 20- COCHRAN, W.G. & COX, G.M. Experimental designs. 2.ed. New York, John Wiley, 1964. p. 335-370.

- 21- De RUITER, D. Composite flours. **Advances in Cereal Science and Technology** 2 349-385, 1978.
- 22- DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. New York, John Wiley, 1966. 407 p.
- 23- DUBOIS, D. What is fermentation? It's essential to bread quality. **Bakers Digest** (10): 11-14, 1984.
- 24- EL-DASH, A.A. The role of free amino acids and primary amino groups in production of bread aroma stimuli. **Tese de Doutorado**, (1969).
- 25- EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C.O.; DIAZ, N.M. Qualidade do pão. In: Fundamentos da tecnologia de panificação. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. p.233-238. (Série tecnologia agroindustrial,6).
- 26- EL-DASH, A.A. Análises das perspectivas de um programa para a substituição parcial de farinha de trigo por sucedâneos de produção nacional. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CTAA, 1983. (documentos,4).
- 27- EL-DASH, A.A. Molecular struture of gluten and viscoelastic properties of dough:a new concept. In: BRAZILIAN CONGRESS ON PROTEINS, 1. Campinas, 1990. Campinas, UNICAMP, 1991. p. 639.
- 28- EGGLESTON, G.; OMOAKA, P.E.; IHEDIOHA, D.O. Development and evaluation of products from cassava flour as new alternatives to wheaten breads. **J. Sci. Food Agric.** 59(3): 377-385, 1992.
- 29- EWART, J.A.D. A modified hypothesis for the structure and rheology of glutelins. **J. Sci. Food. Agric.** 23: 687-699, 1972.
- 30- FERREIRA, V.L.P. **Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos**. Instruções Técnicas 19, 1981.

- 31- GARNATZ, G. **Bakers Digest** **20**, 96, 1946.
- 32- GARRUTI, R.S. O órgão do sentido do gosto. Boletim do Centro Tropical de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos. **2**: 89-96, 1964.
- 33- GREENWOOD, G.T. & EWART, J.A.D. Hypothesis for the struture of glutenin in relation to rheological properties of gluten and dough. **Cereal Chem.** **52**: 146, 1975.
- 34- GRONEVER, K.J.; ORLOWSKI, G.; WISCHNEWSKI, C.; KAMP, K. Studies on quality of gluten-free breads made from flour premixes. III. Comparative sensory evaluations of gluten-free breads. **Ernährungs-Umschau** **35** (2): 39- 43, 48, 1988.
- 35- GRONLUND, B.M. Our daily bread-not so simple for people suffering from coeliac disease. **Livsmedelsteknik** **32** (12): 10-11, 1990.
- 36- HALICK, J.V. & KELLY, V.J. Gelatization and pasting characteristics of rice varieties as related to cooking behavior. **Cereal Chem.** **36**: 91, 1959.
- 37- HART, M.R.; GRAHAM, M.G.; MORGAN, A.I. Bread from sorghum and barley flours. **J. Food. Sci.** **35**: 661-665, 1970.
- 38- HE, H. & HOSENEY, R.C. Gas retention of different cereal flour. **Cereal Chem.** **68** (4): 334-336, 1991.
- 39- HORVATH-ALMASSY, K. Investigation of additivity of flour characteristics in two component wheat flour mixtures. **Acta Alimentaria** **18** (1): 19-30, 1989.
- 40- HOSENEY, R.C. Gas retention in bread doughs. **Cereal Foods World** **29**(5): 305-308, 1984.
- 41- JOHNSON, J.A. & EL-DASH, A.A. Role of nonvolatile compounds in bread flavor. **J. Agr. Food. Chem.** **17** (4): 1969.

- 42- JONGH, G. The formation of dough and bread structures. I-
The ability of starch to form structures and the improving
effect of glyceril monoestearate. **Cereal Chem.** **30**: 140-
152, 1961.
- 43- JONG, G.; SLIM, T.; GREVE, H. Bread without gluten.
Baker's Digest **42**:24, 1968.
- 44- JULIANO, B.O.; CAGAMPANG, G.B.; CRUZ, L.J.;
SANTIAGO, R. G. Some physicochemical properties of
rice in Southeast Asia. **Cereal Chem.** **41**: 275, 1964.
- 45- JULIANO, B.O. Rice: chemistry and technology. 2.ed. St.
Paul, AACC, 1985. 774 p.
- 46- KASARDA, D.D.; BERNARDIN, J.E.; NIMMO, C.C. Wheat
proteins. Advances Science and Technology.1: 1976.
- 47- KIM, J.C. & De RUITER, D. Bread from non-wheat flours.
Food Technol. **22**: 867-868, 1968.
- 48- KIM, J.C. & De RUITER, D. Bakery products with non-wheat
flours - a review. **Baker's Digest** **43** (3): 58-63, 1969.
- 49- KULP, K.; HEPBURN, F.N.; LEHMANN, T.A. Preparation of
bread without gluten. **Baker's Digest** **48** (3): 34-37,
1974.
- 50- KURASAWA, F.; KANAUTI, Y.; YAMAMOTO, I.; HAYAKAWA,
T.; IGAUE, I. Some physico-chemical properties of non-
waxy paddy rice starch in Niigata Prefecture. Part I.
Relation of properties of starch to eating and cooking
qualities of milled rice. **Agric. Biol. Chem.** **33**(6): 798,
1969.
- 51- MATZ, A.S. Testing of bakery products. In: _____ Bakery
technology and engineering. Westport, 1960. p. 614-
620.

- 62- SANDHYA RANI, M.R.; BHATTACHARYA, K.R. Rheological propoerties of rice flour slurries and pastes. **J. Food Sci. Technol.** **22**(6): 322-326, 1985.
- 63- SANDHYA RANI, M.R. & BHATTACHARYA, K.R. Rheological of rice-flour pastes: effect of variety, concentration, and temperature and time of cooking. **J. Text. Stud.** **20**, 127-137, 1989.
- 64- SANSTED, R.M. The function of starch in the baking of bread. **The Bakers Digest**, p.36-44, jun. 1961.
- 65- SALLAS, M.A. & VITTI, P. Estudo preliminar sobre as propriedades tecnológicas de panificação da farinha mista de trigo e amaranto. **Col. Ital** **17** (1): 49-53, 1987.
- 66- SILVA, C.E.M. Pão sem trigo. **Bol. CEPPA**, **8**:2 1990.
- 67- SZCZESNIAK, A.S. Classification of textural characteristics. **J. Food Sci.** **28**: 385, 1963.
- 68- TANAKA, Y. Quality improvement of rice bread. **Jpn. Agric. Res. Q.** **6**(3):181, 1972.
- 69- UNNIKRISHNAN, K.R.; BHATTACHARYA, K.R. Research note: Cold-slurry viscosity of processed rice flour. **J. Text. Stud.** **14**, 21-30, 1983.
- 70- URSS. Pat.SU1554862. R.V. Kuz'minskii; A.I. Bystrova; R.D. Polandova; G.F. Dremucheva. Production of rye bread and mixed rye/wheat bread. 1990.
- 71- VATSALA, C.N. & HARIDAS R. Studies on fruit bread. **J. Food Sci. Technol., India** **29** (4): 213-217, 1972.
- 72- VITTI, P. & PIZZINATTO, A. Pães de trigo, soja e mandioca. **Bol. Ital** (6): 189-203, 1975.

- 73- VITTI, P. & PIZZINATTO, A. Emprego da farinha de raspas de mandioca pré-gelatinizada em pão e biscoito. **Bol. Ital** (6): 409-430, 1975.
- 74- YLIMAKI, G.; HAWRYSH, Z.J.; HARDIN, R.T.; THOMSON, A.B.R. Application of surface response methodology to the development of rice flour yeast bread: objective measurements. **J. Food. Sci.** **53**(6): 1800-1805, 1988.
- 75- YLIMAKI, G.; HAWRYSH, Z.J.; HARDIN, R.T.; THOMSON, A.B.R. Response surface methodology in the development of rice flour yeast breads: Sensory evaluation. **J. Food. Sci.** **56** (3): 751-755, 759, 1991.
- 76- WEBB, B.D. & STERMER, R.A. Criteria of rice quality. In: HOUSTON, D.F. ed. Rice: chemistry and technology. St Paul, 1972. chap.4, p.118
- 77- _____ Kansas State University Research Foundation. Bread Flavor, Anon. **Food Processing**, **33**(10), (1972).