

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Eduardo San Martin Martinez e aprovada pela Comissão Julgadora em 20.08.84.
Campinas, 20 de agosto de 1984



Presidente da Banca

EFEITO DE ALGUMAS VARIÁVEIS OPERACIONAIS NAS
CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DO ARROZ PARBOI-
LIZADO CONVENCIONALMENTE E POR MICROONDAS

por

EDUARDO SAN MARTIN MARTINEZ

Engº Químico

Prof. Dr. CESAR F. CIACCO

Orientador

TESE DE MESTRADO
CAMPINAS - S. PAULO

1984

"O temor do Senhor é o princípio
da sabedoria".

"El principio de la sabiduria es
el temor de Jehová".

A meus queridos pais e irmãos
eterna gratidão.

ÍNDICE

	Página
Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Summary.....	vi
Índice de Tabelas.....	x
Índice de Figuras.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1. Produção e origem do arroz parboilizado....	03
2.1.1. Produção.....	03
2.1.2. Origem da parboilização.....	04
2.2. Princípios da parboilização.....	06
2.2.1. Maceração do arroz em casca.....	07
2.2.2. Cozimento com vapor.....	11
2.2.3. Secagem.....	13
2.3. Arroz parboilizado por microondas.....	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1. Materiais.....	20
3.1.1. Matéria prima.....	20
3.1.2. Reagentes.....	20
3.1.3. Aparelhos e equipamentos.....	20

	Página
a. Tiamina (Vitamina B ₁).....	36
b. Riboflavina (Vitamina B ₂).....	36
c. Niacina.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1. Características de hidratação.....	37
4.2. Arroz parboilizado convencionalmente.....	43
4.2.1. Rendimento em grãos inteiros no bene- ficiamento.....	43
4.2.2. Tempo de cozimento do arroz parboiliza- do.....	61
4.2.3. Cor do arroz parboilizado.....	78
4.3. Arroz parboilizado por microondas.....	94
4.3.1. Rendimento em grãos inteiros no benefi- ciamento.....	94
4.3.2. Tempo de cozimento do arroz parboiliza- do.....	105
4.3.3. Cor do arroz parboilizado.....	106
4.4. Efeito da parboilização nas características de rendimento e composição química.....	126
4.4.1. Efeito do beneficiamento no rendimento	127
4.4.2. Efeito do processamento na composição química do grão.....	127
5. CONCLUSÕES.....	132

	Página
6. BIBLIOGRAFIA.....	134
7. ANEXO	143

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus sinceros agradecimentos ao:

Professor Dr. Cesar F. Ciacco pela orientação inteligente, amizade e dedicação ao nosso trabalho.

A Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola pela realização do curso e facilidades concedidas.

Ao Instituto Agronômico de Campinas pelo material cedido para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Dr. José Carvalho e colaboradores Irineu Giannotti e João Domingos Escalão da Faculdade de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo - São Carlos pela colaboração e realização dos programas estatísticos.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Instituto de Física e ao Centro Tecnológico da UNICAMP pela colaboração neste trabalho.

Aos Professores do departamento de Tecnologia de Alimentos pelos valiosos auxílios e sugestões.

Aos meus amigos Arnaldo Kuaye, Franz Salces R., Marcelo Campos, Maria Victória Eiras G., Yoon Kil Chang, Silvana, José Zazueta M., Célia, Vera, Beth, Lucila, Cosme e estudantes de pós-graduação de tecnologia de alimentos. Assim como também a todos os funcionários da FEAA que nos ajudaram na realização deste trabalho.

A Associação Brasileira da Indústria da Alimentação pela colaboração na impressão da tese.

RESUMO

No presente trabalho foram investigados os efeitos dos parâmetros do processo de parboilização convencional e por microondas nas características de rendimento, cor e tempo de cocção do arroz parboilizado. Os parâmetros do processo convencional estudados foram: temperatura de maceração, umidade do grão após maceração, concentração de acetato de sódio na água de maceração e temperatura de secagem. A umidade do grão após maceração, temperatura de maceração e tempo de radiação foram os parâmetros estudados no processo de parboilização por microondas.

A relação entre os parâmetros do processamento e as características tecnológicas do produto foram estabelecidas através de modelos matemáticos obtidos com auxílio da Metodologia de Superfície de Resposta. Os produtos obtidos nas melhores condições do processamento de parboilização convencional e microonda foram também comparados com arroz integral e polido quanto ao rendimento e composição química.

As análises de variância dos modelos matemáticos que relacionaram as respostas com as variáveis independentes do processo de parboilização convencional demonstraram que estes modelos foram bem ajustados. O rendimento em grãos inteiros foi afetado principalmente pela temperatura de secagem e absorção de água sendo que as demais variáveis, temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio não tiveram influência significativa nesta característica tecnológica. Acrêscimos na absorção

de água provocaram aumentos no rendimento, independente da temperatura de secagem. Por outro lado decréscimos na temperatura de secagem provocaram aumentos no rendimento para uma mesma absorção de água. Estudos de difração de raios X mostraram que o rendimento dependia da extensão da gelatinização durante o cozimento.

Para o processo de microondas o rendimento foi influenciado pela absorção de água, temperatura de maceração e tempo de radiação. Assim, altos rendimentos foram encontrados nos tempos de radiação de 4 a 8 min, porém foram observados maiores superfícies de resposta, com altos rendimentos, a medida que aumentou o tempo de radiação. O efeito da absorção de água foi limitado pela temperatura de maceração, sendo encontrados altos rendimentos no beneficiamento para absorção de água elevada, quando a temperatura de maceração foi menor que 52,0°C para 4 min de radiação ou menor que 60,0°C para 6 min de radiação. Com 8 min de radiação os aumentos na absorção de água provocaram altos rendimentos no beneficiamento, independente da temperatura de maceração.

No processo de parboilização convencional o tempo de cozimento foi afetado pela temperatura de secagem e absorção de água. Aumentos nestas variáveis provocaram um decréscimo no tempo de cozimento. Os menores tempos de cozimento foram encontrados entre 31,00 - 32,00% de absorção de água e temperatura de secagem de 80,0°C. Os difratogramas de raios X do arroz parboi

lizado e seco na temperatura de 80,0°C tiveram picos menos resolvidos que aqueles secos a 40,0°C, indicando uma diminuição na intensidade da retrogradação para temperaturas de secagem mais elevadas, que resultaram em menores tempos de cozimento.

O tempo de cozimento do arroz parboilizado por microondas foi influenciado pelo tempo de radiação, temperatura de maceração e absorção de água. Aumentos no tempo de radiação provocaram uma diminuição do tempo de cozimento. Os menores tempos de cozimento para 4 min de radiação foram obtidos para absorções de água acima de 30,00% e temperaturas de maceração menores que 45,0°C. Para 6 min de radiação os menores tempos foram obtidos para absorções de água menores que 30,00% e temperaturas de maceração maiores que 68,0°C, enquanto que para 8 min de radiação, absorções de água menores que 29,80% e temperaturas de maceração maiores que 68,0°C resultaram em menores tempos de cozimento.

A cor do arroz parboilizado pelo processo convencional foi influenciada pela temperatura de secagem e absorção de água. Temperaturas de secagem de 40,0°C e absorções de água de 29,00% apresentaram os menores valores de cor que aqueles obtidos a 80,0°C e 31,00 e 32,00% de temperatura de secagem e absorção de água, respectivamente.

A cor do arroz parboilizado por microondas, foi afetada, principalmente, pela temperatura de maceração e absorção de água. O tempo de radiação teve pouca influência nesta característica do arroz parboilizado. De uma maneira geral menores temperaturas

de maceração e absorção de água deram um arroz parboilizado mais branco, semelhante ao arroz polido.

Não foram encontradas diferenças significativas nos teores de proteínas e fibras do arroz polido e aqueles parboilizados pelos processos convencional ou microondas. O processo de parboilização provocou um aumento nos teores de cinzas, gorduras, tiamina, riboflavina e niacina. Entre os processos de parboilização os maiores teores de cinzas, gorduras e vitaminas foram obtidos pelo processo microondas.

SUMMARY

In this project, the effects of some operational parameters of the conventional and microwave parboiling process on the technological characteristics of yield, color and cooking time of parboiled rice were investigated. For the conventional process the parameters studied were soaking temperature, grain moisture content after soaking, concentration of sodium acetate in the soaking water and drying temperature. Grain moisture content after soaking, soaking temperature and radiation time were the parameters studied for the microwave parboiling process.

The relation between the processing parameters (independent variables) and the technological characteristics (response) of the product, were determined by mathematical models obtained with the Response Surface Methodology. The products obtained using the better conditions of the conventional and microwave processes were compared with brown and polished rice with respect to their yield and chemical composition.

The analysis of variance of the mathematical models that related the response with the variables independents of the conventional parboiling process, demonstrated that these models were well fitted. The yield of whole grains was mainly affected by the drying temperature and by water absorption. The other independent variables: temperature of soaking and concentration of sodium acetate, did not have a significant influence

on these technological characteristics. Increasing the water absorption caused increases in the milling yield, independent of the drying temperature. On the other hand, decreasing the drying temperature caused increases in the milling yield, for the same water absorption. X-ray diffraction studies showed that milling yield was affected by the extension of gelatinization during cooking.

For the microwave process the milling yield was influenced by water absorption, soaking temperature and radiation time, high milling yields being obtained with radiation times of 4 and 8 minutes. Increasing the radiation time caused an increase in the area, with high yields. The effects of water absorption was limited by the soaking temperature. At elevated water absorption values, the yield was high when the soaking temperature was lower than 52.0°C for 4 minutes of radiation, or lower than 60.0°C for 6 minutes of radiation. With 8 minutes of radiation the increase in water absorption caused an increase in milling yield, independent of the soaking temperature.

In the conventional parboiling process, the cooking time was affected by the drying temperature and water absorption. Increasing these variables caused a decrease in the cooking time. The lowest cooking times were obtained between 31.00-32.00% of water absorption and a drying temperature of 80.0°C. The X-ray diffractograms of parboiled rices dried at 80.0°C had peaks less resolved than those dried at 40.0°C, which indicated a decrease

in the intensity of the retrogradation at high drying temperatures, which resulted in low cooking times.

The cooking time for parboiling rice by the microwave process was influenced by the radiation time, soaking temperature and water absorption. Increasing the radiation time caused a decrease in the cooking time. The lowest cooking time with 4 minutes of radiation was obtained with a water absorption of above 30.00% and soaking temperatures below 45.0°C. For 6 minutes of radiation the lowest cooking time was obtained with a water absorption below 30.00% and soaking temperatures below 68.0°C. The lowest cooking time for 8 minutes of radiation was obtained with water absorption values below 29.80% and soaking temperatures above 68.0°C.

The color of the parboiled rice for the conventional process was affected by the drying temperature and water absorption. Drying temperatures of 40.0°C and water absorption of 29.00% showed lower color values (D.E.) than those obtained at 80.0°C and 35.00 - 32.00%.

The color of parboiled rice obtained by the microwave process was mainly affected by the soaking temperature and water absorption. The radiation time had little influence on this characteristic of the parboiled rice. In general a white color similar to polished rice was obtained with decreases in the soaking temperature and water absorption.

These were no significant differences between the prote

in and fiber contents of the polished rices and those of the parboiled rices both by the conventional and microwave processes. The parboiling process causes an increase in the ash, fat, thiamin, riboflavin and niacin contents. Parboiled rices by the microwave process had the highest levels of ash, fat and vitamins.

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
1. Variáveis independentes e níveis de variação (Processo convencional).....	26
2. Delineamento estatístico genérico para 4 variáveis com 5 níveis.....	28
3. Variáveis independentes e níveis de variação (Processo microondas).....	30
4. Delineamento estatístico genérico para 3 variáveis com 5 níveis.....	31
5. Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento do arroz parboilizado obtidos nas diferentes condições experimentais.....	44
6. Coeficientes da equação de regressão ajustada para: Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento do arroz parboilizado (Y_1).....	45
7. Análise de variância do modelo matemático para rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (Y_1).....	46
8. Análise de regressão do modelo matemático para rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (Y_1).....	48
9. Efeito das variáveis no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (Y_2).....	49
10. Tempo de cozimento do arroz parboilizado obtido nas diferentes condições experimentais.....	62

Página

11. Coeficientes da equação de regressão ajustada para: Tempo de cozimento do arroz parboilizado (Y_2).....	63
12. Análise de variância do modelo para tempo de cozimen <u>to</u> to (Y_2).....	64
13. Análise de regressão do modelo para tempo de cozi- mento (Y_2).....	65
14. Contribuição das variáveis no tempo de cozimento do arroz parboilizado.....	67
15. Cor do arroz parboilizado obtido nas diferentes con- dições experimentais.....	79
16. Coeficientes da equação de regressão ajustada para: Cor do arroz parboilizado (Y_3).....	80
17. Análise de variância do modelo ajustado para cor do arroz parboilizado (Y_3).....	81
18. Análise de regressão para o modelo ajustado da cor do arroz parboilizado (Y_3).....	83
19. Contribuição das variáveis na cor do arroz parboili- zado (D.E.).....	84
20. Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento do arroz parboilizado obtido nas diferentes condições ex perimentais.....	95
21. Coeficientes da equação de regressão para rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (Y_1).....	96
22. Análise de variância do modelo ajustado para rendi- mento em grãos inteiros.....	97

	Página
23. Análise de regressão do modelo para rendimento em grãos inteiros.....	99
24. Contribuição das variáveis independentes no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento.....	100
25. Tempo de cozimento do arroz parboilizado obtido nas diferentes condições experimentais.....	106
26. Coeficientes da equação de regressão para tempo de cozimento do arroz parboilizado.....	107
27. Análise de variância do modelo ajustado para tempo de cozimento do arroz parboilizado por microondas...	108
28. Análise de regressão para o modelo de tempo de cozimento do arroz parboilizado por microondas.....	110
29. Contribuição das variáveis no tempo de cozimento do arroz parboilizado por microondas.....	111
30. Cor do arroz parboilizado obtido nas diferentes condições experimentais.....	117
31. Coeficientes da equação de regressão para cor do arroz parboilizado.....	118
32. Análise de variância para o modelo ajustado da cor do arroz parboilizado.....	119
33. Análise de regressão para o modelo da cor do arroz parboilizado.....	120
34. Contribuição das variáveis independentes na cor do arroz parboilizado.....	121

	Página
35. Rendimento no beneficiamento do arroz.....	129
36. Composição química do arroz integral, polido e parboilizado por processo convencional e microondas....	130
37. Conteúdo de vitaminas do arroz integral, polido e parboilizado por processo convencional e microondas.	131

ÍNDICE DAS FIGURAS

	Página
1. a) Estrutura do grão de arroz; b) Seção transversal do grão de arroz.....	05
2. Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: A diversas temperaturas...	38
3. Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: Em solução de acetato de sódio 0,039M a diversas temperaturas.....	39
4. Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: Em solução de acetato de sódio 0,066M a diversas temperaturas.....	40
5. Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: Em solução de acetato de sódio 0,093M a diversas temperaturas.....	41
6. Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: A temperatura de 60,0°C e diferentes soluções de acetato de sódio.....	42
7. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 29,00% e temperatura de secagem de 40,0°C.....	50
8. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 31,00% e temperatura de secagem de 40,0°C.....	52

Página

9. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 29,00% e temperatura de secagem de 60,0°C..... 53
10. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 31,00% e temperatura de secagem de 60,0°C..... 54
11. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 29,00% e temperatura de secagem 80,0°C..... 56
12. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 31,00% e temperatura de secagem 80,0°C..... 57
13. Difrátogramas de farinha de arroz: A, sem parboilizar B: parboilizado com 29,65% de absorção de água e C: com 30,95% de absorção de água..... 60
14. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem 40,0°C 68
15. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem 40,0°C 69

Página

16. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem 60,0°C 71
17. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem 60,0°C 72
18. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem 80,0°C 74
19. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem 80,0°C 75
20. Difrátogramas de farinha de arroz: Não parboilizado- (A); parboilizado com 40°C (B) e 60°C (C) de temperatura de secagem..... 77
21. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 40,0°C... 85
22. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 40,0°C... 87
23. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 60,0°C... 88

Página

24. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 60,0°C...	90
25. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 80,0°C...	91
26. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 80,0°C...	93
27. Efeito da absorção de água e temperatura de maceração no rendimento no beneficiamento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 4 min.....	101
28. Efeito da absorção de água e temperatura de maceração no rendimento no beneficiamento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 6 min.....	103
29. Efeito de absorção de água e temperatura de maceração no rendimento no beneficiamento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 8 min.....	104
30. Efeito da absorção de água e temperatura de maceração no tempo de cozimento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 4 min.....	112
31. Efeito da absorção de água e temperatura de maceração no tempo de cozimento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 6 min.....	113

Página

32. Efeito da absorção de água e temperatura de maceração no tempo de cozimento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 8 min.....	115
33. Efeito da absorção de água e temperatura de maceração na cor do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 4 min.....	123
34. Efeito da absorção de água e temperatura de maceração na cor do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 6 min.....	124
35. Efeito de absorção de água e temperatura de maceração na cor do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 8 min.....	125

1. INTRODUÇÃO

O arroz, por ser um dos cereais mais consumidos no mundo, tem merecido especial atenção dos pesquisadores quanto a forma de enriquecimento e aumento no rendimento no processamento. Durante o beneficiamento a palha e as camadas periféricas, incluindo o germen, são removidas transformando o arroz em produto branco opaco e de grande estabilidade no armazenamento. Entretanto, durante este processamento o grão sofre fissuras que provocam um decréscimo no rendimento em grãos inteiros e também ocorrem perdas de proteínas, vitaminas e sais minerais.

O processo de parboilização tem sido usado como uma das formas de minimizar a quebra de grãos durante o beneficiamento e evitar a remoção excessiva de compostos importantes do ponto de vista nutricional. Este processo consiste basicamente de três etapas: maceração em água, cozimento e secagem. Durante a maceração em água, efetuada com o arroz em casca, a água difunde para o interior do grão, arrastando compostos hidrosolúveis e propicia meio adequado para a gelatinização do amido, que deve ocorrer no cozimento. A gelatinização solda as fissuras que existiam no arroz original e "prende" os compostos hidrosolúveis no interior do grão. Com a posterior secagem, o grão do arroz torna-se mais resistente às tensões provocadas durante o beneficiamento causando um aumento no rendimento em grãos inteiros.

Embora estes efeitos da parboilização sejam benéficos

algumas transformações físico-químicas decorrentes do processamento são indesejáveis: O arroz parboilizado geralmente é mais difícil de cozer, tem cor mais amarelada e apresenta sabor típico.

Este trabalho teve como objetivo investigar o efeito de alguns parâmetros de processamento nas características de rendimento, cor e tempo de cozimento do arroz parboilizado. Foram realizados estudos com dois processos de parboilização, o convencional e usando microondas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produção e origem do arroz parboilizado

2.1.1. Produção

O arroz, botanicamente conhecido como *Oryza sativa*, L, é uma das 25 espécies do gênero *Oryza* da família graminácea. As diversas variedades existentes são divididas em três subespécies denominadas: Índica Tropical, Japônica Temperada e Javânica. Índica Tropical é caracterizada por grãos longos e chatos. A Japônica Temperada tem grãos curtos e redondos. A Javânica também tem grãos curtos e redondos diferenciando da Japônica Temperada pela cor avermelhada do farelo (Brasil, 1972).

A origem do arroz como alimento é anterior a história escrita. De acordo com uma lenda hindú o arroz é a grande dádiva do Deus Guatama. Os birmaneses também consideram o arroz como uma dádiva original de Deus, enquanto os japoneses adoravam um Deus do arroz, Inari, e acreditavam que apenas o imperador era mais sagrado que este.

Independentemente de sua origem, o cultivo de arroz espalhou-se por todo o mundo. Na Europa (Espanha) o arroz começou a ser cultivado a 300 A.C., ganhando importância e valor econômico na época medieval com as Cruzadas, que o trouxeram para a Terra Prometida nos séculos XII e XIII. Entretanto, até o século XVII este cereal era considerado na Inglaterra e na França como um

alimento exótico (Riviana, 1975).

Atualmente, mais da metade da população mundial tem este cereal como o principal item da sua dieta (Ali e Pandya, 1974). Segundo dados da FAO de 1978/79, a produção mundial de arroz foi ao redor de 376 milhões de toneladas, proveniente de 145 milhões de hectares. Ainda que o cultivo de arroz seja distribuído por todos os continentes, o Asiático é o maior produtor, contribuindo com 91% da produção mundial (Riviana, 1975).

No Brasil o arroz é produzido em todas as regiões e estima-se que a produção anual esteja ao redor de 9 milhões de toneladas com uma área cultivada de aproximadamente 6 milhões de hectares (IBGE, 1981).

2.1.2. Origem da Parboilização

A estrutura do grão de arroz, está ilustrada nas Figuras 1a e 1b. O endosperma ocupa o maior volume do grão enquanto que a maioria dos nutrientes (vitaminas, sais minerais) se encontram nas camadas externas do grão (pericarpio, tegumento, aleurona), sendo parcialmente eliminados durante o beneficiamento (Juliano, 1972).

Durante o beneficiamento ocorre uma diminuição do número de grãos inteiros cuja quantidade depende das condições de cultivo, de processamento pós-colheita envolvendo o manuseio, secagem e de armazenamento (Ali e Ojha, 1976). O aumento do rendimento em grãos inteiros no beneficiamento de certas variedades de arroz tem sido al-

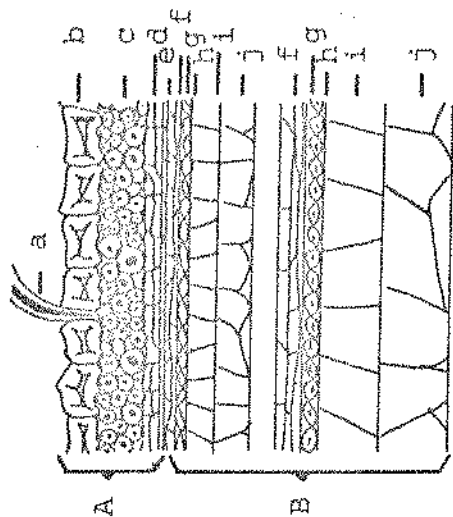
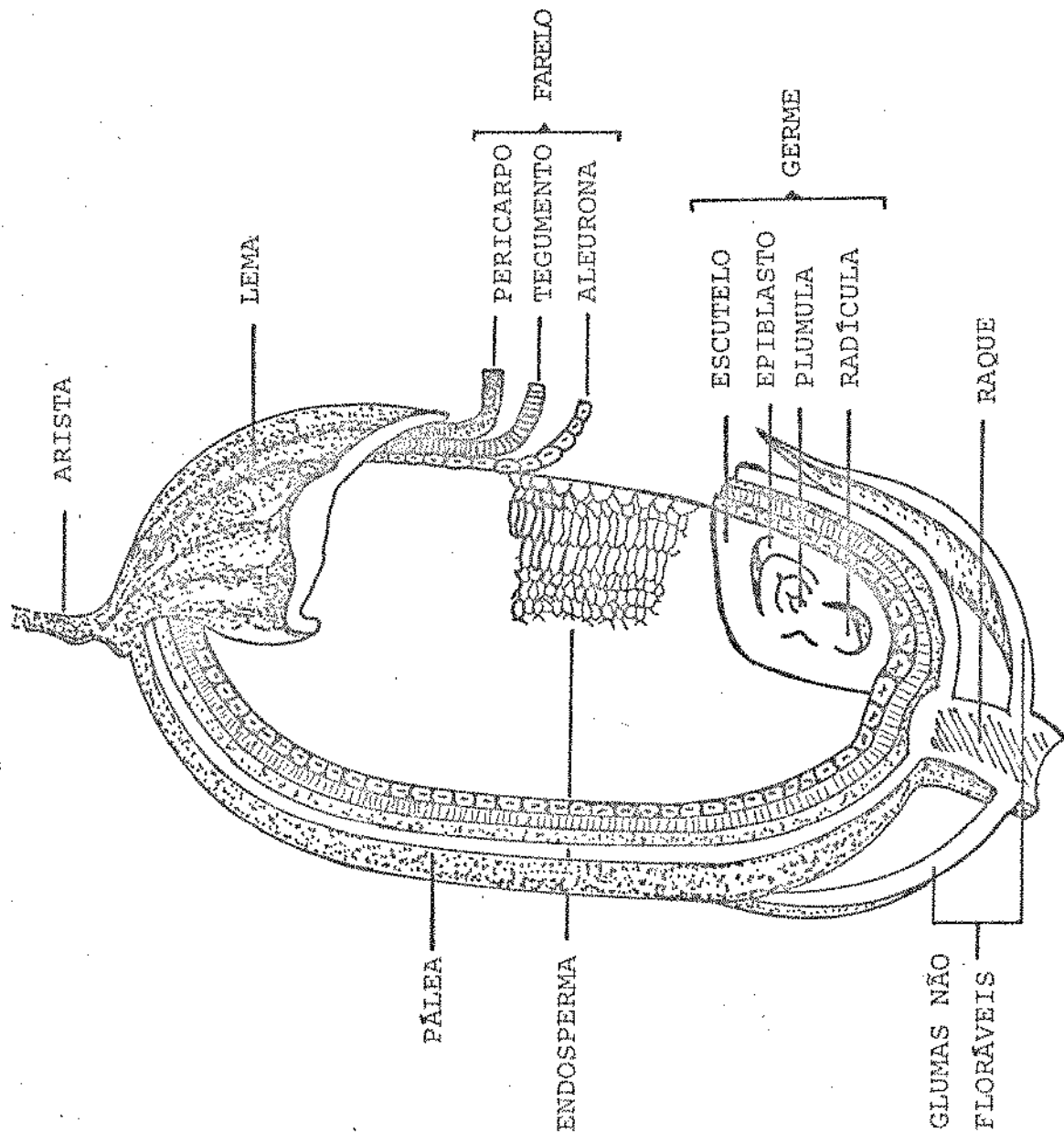


Figura 1.b) Seção transversal do grão de arroz A: Casca; B: Arroz integral; a) Pelo; b) Epiderma externa; c) Células fusiformes; d) Células quadradas; e) Epiderma interna; f) Camadas de pericarpio; g) Tegumento; h) Perisperma; i) Camadas endospermicas que contém depósitos granulares de aleurona; j) Endosperma amiláceo.

Figura 1.a) Estrutura do grão de arroz

cançado através de tratamentos hidrotérmicos desenvolvidos em certas partes da Ásia, particularmente na Índia, Bangladesh, Paquistão, Burma, Ceilão, Malásia e Tailândia (Borásio e Gariboldi, 1965; Roberts et al, 1954; Ali e Pandya, 1974).

Esses tratamentos envolvem, de uma maneira geral, as operações de maceração em água, cocção e secagem. Entre todos os processamentos o que tem sido mais empregado comercialmente é o de parboilização.

Embora não existam registros sobre a origem deste processo sabe-se que foi usado primeiramente na Índia. Originalmente, é possível que este tratamento tenha sido usado como uma forma de facilitar o descascamento dos grãos (Ali e Ojha, 1976). Em escala industrial o processo de parboilização foi aplicado em 1940 nos Estados Unidos da América, Itália e Guiana Britânica (Ali e Ojha, 1976). Hoje em dia, devido a suas vantagens econômicas e nutricionais, este processo está sendo difundido por todas as partes do mundo (Gariboldi, 1972; Kurien et al, 1964).

2.2. Princípios da Parboilização

O processo de parboilização convencional envolve três etapas principais: maceração, cozimento com vapor e secagem. Cada uma destas etapas tem influência direta na qualidade do produto.

2.2.1. Maceração do arroz em casca

O arroz em casca é um material higroscópico, podendo absorver água na forma de vapor e de líquido, causando um entumecimento. O processo simultâneo de absorção de água e de entumecimento é conhecido como maceração, encharcamento ou embebição. A maceração é necessária para dar ao amido a umidade indispensável para sua gelatinização. Para a perfeita gelatinização do amido, da cariopse, é necessário um conteúdo de umidade de pelo menos 30% (Duval, 1980).

A difusão de água para o interior do grão é regulada pelo gradiente existente entre a pressão de vapor da água de maceração e a pressão de vapor da água absorvida no grão. No início, a pressão de vapor de água do arroz em casca é praticamente zero (Duval, 1980), provocando uma rápida translocação de água do meio aquoso para o interior do grão (Gariboldi, 1972).

De acordo com Ali e Ojha (1976), o encharcamento pode ser causado por: absorção molecular, absorção capilar e hidratação. Durante a maceração do arroz em casca as primeiras moléculas de água aderem à superfície da casca e a seguir penetram através dos microporos desta para o interior do grão. Por absorção capilar, parte das moléculas de água são absorvidas pelos grânulos de amido enquanto outras ocupam os espaços intragranulares. Experimentalmente é difícil determinar a contribuição de cada um destes mecanismos para o encharcamento.

O encharcamento acarreta um aumento de volume do arroz em casca. Entretanto, o volume final é sempre menor que a soma do volume inicial do arroz em casca e o volume de água absorvida (Ali e Ojha, 1976). Os espaços diminutos ocupados pela água e a forte atração entre as moléculas do líquido e as do componente hidratado são responsáveis pela redução do volume total.

O processo de maceração resulta sempre na liberação de energia. Quando moléculas de água são absorvidas, considerável quantidade de sua energia cinética é medida como calor.

Kanemitsu e Miyagawa (1974) determinaram o calor de entumescimento do arroz em casca como 8 J/g a 30°C. Este calor é consequência da formação de pontes de hidrogênio entre as moléculas de água e as do amido de depende da variedade de arroz e do tempo de armazenamento. Para arroz recém colhido a evolução de calor é rápida, enquanto que para arroz armazenado por longo tempo o calor evolue lentamente, indicando que este requer maiores tempos de maceração do que o arroz recém colhido (Kanemitsu e Miyagawa, 1976).

Quando o arroz em casca é macerado a determinada temperatura deseja-se geralmente conhecer a quantidade de água absorvida com o tempo. Existe uma estreita relação entre a taxa de maceração realizada a diferentes temperaturas de maceração, e o de tempo de tratamento. Para temperaturas inferiores a 60°C, a taxa inicial de maceração é muito alta, decrescendo, a seguir, gradualmente até se atingir o equilíbrio ou saturação. Acima de

65°C tem início a gelatinização do amido que provoca exagerado inchamento dos grãos de arroz a ponto de romper a casca (Ali e Ojha, 1976).

A rápida taxa de absorção de água no início do encharcamento é devido ao alto gradiente de pressão de vapor, e é favorecido por três fatores: a) A casca absorve água muito rapidamente e começa a saturar; b) O espaço entre a casca e o grão começa a ser preenchido com água logo após o início da maceração e c) A ação capilar na superfície do pericarpo causa rápida absorção (Ali e Ojha, 1976).

De acordo com Ali e Pandya (1974) a dependência direta entre a taxa de maceração e temperatura pode ser explicado como: a) O aumento da temperatura causa expansão do ar nos poros facilitando a entrada de água; b) Com um aumento de temperatura de maceração as ligações de hidrogênio no grânulo de amido se rompem, provocando entumescimento; c) A absorção de água pelo amido é um processo de difusão e depende do coeficiente de difusão, que aumenta com a temperatura.

Embora o aumento de temperatura acelere a absorção, este também causa colorações anormais no arroz parboilizado. Trabalhos realizados por Gariboldi (1974) e Jayanarayanan (1965) mostraram que o arroz tornava-se mais escuro quando macerado a temperaturas maiores que 70°C. A cor mais escura foi observada com temperaturas de água de 70°C por 5 h de maceração, ou seja, quando o grão atingia a saturação. O efeito do tempo de macera-

ção e a temperatura na cor do arroz parboilizado foi explicado por Roberts et al (1954), Gariboldi (1974) e Jayanarayanan (1965). Segundo estes autores o aumento de temperatura favorece particularmente a hidrólise do amido com consequente produção de açúcares redutores que podem reagir com aminoácidos, produzindo o escurecimento. As investigações têm demonstrado que a temperatura ideal para a atividade amilolítica é de 60°C (Duval, 1980; Gariboldi, 1974). Embora seja possível obter uma coloração no arroz parboilizado semelhante a do arroz polido com a utilização de temperaturas baixas durante a maceração, estas podem causar fermentação produzindo um sabor desagradável ao produto. Altas temperaturas não acarretam diferenças significativas no sabor e aroma, comparados com o arroz sem parboilizar (El-Dash et al, 1975). Além da temperatura, vários outros meios têm sido usados para controlar a fermentação durante a maceração como: mudança periódica da água de maceração, adição de fungicidas (semelhantes ao cloranfenicol), pH baixo e produtos químicos como sulfato de cálcio ou ácido acético glacial (Pillaiyar et al, 1980).

Em alguns procedimentos modernos a maceração tem sido feita a vácuo ou sob pressão, que reduzem o tempo de maceração e mantêm a temperatura da água dentro dos limites que não afetam desfavoravelmente a qualidade do produto final.

O bisulfito e o metabisulfito de sódio têm sido empregados na maioria dos experimentos de maceração do arroz com o objetivo de reduzir o tempo de hidratação e a coloração escura.

(Gariboldi, 1974). Arroz parboilizado com coloração semelhante ao arroz polido tem sido obtido com concentrações de 0,1 a 0,5% de bisulfito de sódio na água de maceração, mantendo constante a temperatura de maceração a 70°C. A adição de bisulfito de sódio na água de maceração, causou, entretanto, uma redução no teor de vitaminas do arroz parboilizado (Duval, 1980; Jayanarayanan, 1965; Gariboldi, 1974).

2.2.2. Cozimento com vapor

A maceração e cozimento do arroz são operações que de certo modo se complementam. O cozimento com vapor produz mudanças físicas e químicas no arroz e eleva conteúdo de umidade. (Gariboldi, 1972). A difusão das substâncias hidrosolúveis para o interior do grão de arroz, iniciadas durante a maceração, prossegue e aumenta durante o cozimento (Duval, 1980; Gariboldi, 1972 e 1974). A gelatinização do amido provoca a solda das rachaduras da cariopse tornando o endosperma compacto e translúcido. Os glóbulos de óleo, quase todos presentes nas células da aleurona e parte do germe, são destruídos ficando dispersos no endosperma amiláceo da cariopse. Quase todos os processos biológicos em desenvolvimento ou latentes tais como: a germinação, esporos, fungos, insetos e seus ovos são destruídos por completo e as enzimas presentes no arroz são parcialmente destruídas ou inativas, durante o cozimento (Duval, 1980; Gariboldi, 1972 e 1974).

Estas transformações são o resultado do calor aplicado e dependem da temperatura do vapor e da duração do tratamento. O cozimento com vapor pode ser efetuado de duas maneiras: à pressão ambiente, ou seja, injetando o vapor no produto em um recipiente aberto ou a uma pressão superior à ambiente, em um recipiente fechado (autoclave). A temperatura de vapor à pressão ambiente é suficiente para que a temperatura de gelatinização seja atingida. Entretanto, se o tempo de exposição foi muito longo ocorre gelatinização excessiva, prejudicando o produto. Gariboldi (1974) e Roberts, et al (1954), efetuando medidas indiretas, encontraram que o nível de amido solúvel, diferença de cor e grau de expansão dos grãos estão relacionados com o grau de gelatinização.

A extensão da gelatinização do amido durante o cozimento também pode ser estimada pela presença de pontos brancos no arroz parboilizado. Geralmente a ausência destes pontos indica gelatinização perfeita durante o cozimento (Gariboldi, 1974).

De acordo com Ali e Bhattacharya (1972) a gelatinização e a retrogradação dos grânulos de amido são os principais fatores que afetam a qualidade de arroz parboilizado.

O conteúdo de amilose no amido foi considerado por Juliano (1972) como sendo o principal componente do amido que afeta as características do cozimento do arroz. A textura do arroz polido cozido foi melhorada quando a porcentagem de amilose foi aumentada (Juliano et al 1965; Alary et al, 1977). Também foi ob

servado que um incremento no conteúdo de amilose no arroz melhorou a firmeza do arroz parboilizado cozido, mas não teve influência significativa na absorção de água. Uma relação similar foi observada por vários pesquisadores com arroz polido (Halick e Keaneaster 1956, Juliano et al 1965).

Kuriem et al (1964) encontraram que a capacidade de absorção de água foi significativamente menor para arroz parboilizado que para arroz normal cozido em um mesmo período de tempo. De acordo com Dimopoulos e Muller (1972) a solubilidade de proteínas em 3% de solução de detergente é distinta entre o arroz normal e o parboilizado, podendo ser utilizada para avaliar o grau de parboilização.

A intensidade de tratamento térmico, na maceração e cozimentos com vapor, é o principal fator que determina a qualidade de cozimento e cor do arroz parboilizado. Elevando o tratamento térmico no cozimento o rendimento em grãos inteiros no beneficiamento aumenta. Por outro lado o aumento da temperatura na maceração provoca um escurecimento no produto. (Bhattacharya e Rao, 1966b).

2.2.3. Secagem

A secagem do arroz parboilizado tem como objetivo a redução do conteúdo de umidade até um nível ótimo que possibilite uma boa estabilidade durante o armazenamento e que propicie

bom rendimento durante o beneficiamento (Gariboldi, 1972; Jayanarayanan, 1964; Bhattacharya e Rao, 1966; Lequerica et al, 1974). Bandyopadhyay e Roy (1980) encontraram que a energia de ativação do processo de difusão (7654 cal/mol para absorção de umidade e 7600 cal/mol para o processo de desorção) é independente da direção da translocação de água, ou seja, o processo de difusão é igual tanto para absorção como para desorção de água.

O elevado teor de umidade do arroz parboilizado, comparado com o arroz recém colhido, e as transformações decorrentes do cozimento, que gelatiniza o amido, fazem com que o processo de secagem deste seja diferente daquele usado para o arroz recém-colhido (Gariboldi, 1974).

As pesquisas têm demonstrado que as temperaturas de desidratação utilizadas para reduzir o conteúdo de umidade até 16 ou 18% de água não influenciam nos rendimentos durante beneficiamento. Entretanto as temperaturas empregadas para reduzir o conteúdo de umidade até 14%, ou menos, são críticas (Duval, 1980; Bhattacharya e Ali, 1970; Gariboldi, 1974).

Quando se realiza uma secagem rápida podem ocorrer fissuras. Os fatores que influenciam no aparecimento das fissuras são a temperatura e a diferença de umidade entre grão e o meio que o envolve. Aumentando o gradiente de temperatura ocorre um decréscimo no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento. Henderson (1957) e Kunze e Choudhury (1972) encontraram que o desenvolvimento de gradientes de umidade durante a secagem pode produ

zir tensões transversais no grão. Neste caso as camadas externas começam a secar mais que o centro, contraindo-se de acordo com a remoção de umidade, ocorrendo tensões na superfície e uma compressão no centro. Quando as forças de tensão excedem as de compressão ocorrem as fissuras. Se forças externas são aplicadas no grão, como no beneficiamento, o grão pode quebrar-se (Wirakartakusumah e Lund, 1976).

Na secagem as fissuras começam a aparecer às unidades inferiores a 16%. Para evitar maior surgimento destas fissuras é necessário interromper o processo de desidratação deixando o grão descansar por um certo tempo até que o gradiente de umidade seja próximo de zero. Este intervalo é denominado de "acondicionamento" ou "armazenamento a quente" e pode variar de acordo com a variedade do arroz e a intensidade do tratamento. Após este tempo o processo de desidratação continua até que o arroz atinja perto de 14% de umidade (Duval, 1980; Gariboldi, 1974).

Vários processos de secagem têm sido aplicados na produção de arroz parboilizado, com o objetivo de obter um produto com boa qualidade no beneficiamento, na cor e no cozimento. Bhattacharya e Rao (1966) encontraram que a secagem à sombra proporcionou bons resultados no beneficiamento. Para outros tipos de secagem, como ao sol ou por aplicação de calor, era necessário um controle melhor e que impedisse que o tratamento térmico não fosse excessivo de modo a acarretar consequências indesejáveis no produto (Stipe e Miller, 1975; Gariboldi, 1974).

Métodos alternativos, em lugar da parboilização convencional de cozimento com vapor, têm sido testados para obter melhor hidratação no arroz parboilizado. Foi observado que altas temperaturas durante a secagem proporcionavam secagem e cozimento simultâneos. O arroz parboilizado, assim produzido foi semelhante ao arroz parboilizado pelo processo convencional quanto a translucência, cor e quebra no beneficiamento. A retrogradação do amido, entretanto, foi mais intensa no arroz parboilizado pelo processo convencional, provocando uma hidratação inferior neste (Ali e Bhattacharya, 1980).

Ali e Bhattacharya (1976a, 1976b) realizaram estudos de novas técnicas de parboilização com o objetivo de diminuir o tempo de cozimento ou facilitar a hidratação dos grãos de arroz parboilizados. Processos envolvendo secagem por condução com areia aquecida, leito fluidizado, vibro fluidizado, centrífugo e microondas foram testados com resultados promissores (Ali e Bhattacharya, 1980; Vasan et al, 1980; Khan et al, 1975; Carlson et al, 1976; Lequerica et al, 1974; Roberts, 1977).

Segundo Ali e Bhattacharya (1976) a retrogradação do amido durante a secagem é um dos principais fatores que afetam a qualidade do arroz parboilizado, especialmente o tempo de cocção. A umidade de equilíbrio no encharcamento (UEE) que indica a intensidade da retrogradação foi bem maior para o arroz seco imediatamente após cozimento que aquele seco à sombra. Estes resultados demonstraram que a extensão de retrogradação foi dependen-

te da temperatura de secagem. Experimentos similares demonstraram que a retrogradação dependia do conteúdo de umidade do arroz em casca durante a secagem sendo máxima com umidade perto de 25% de água. Além das condições de secagem, tempo e temperatura, vários sais inorgânicos afetam a velocidade de retrogradação. De acordo com Ciacco e Fernandez (1979) ânions com uma distribuição assimétrica de carga têm um efeito inibidor na retrogradação. É prática comum entre os japoneses usar vinagre para conservação e manutenção da textura do arroz cozido mantido na geladeira. É possível que o anion assimétrico acetato, presente no vinagre, evite a retrogradação do amido gelatinizado.

2.3. Arroz parboilizado por microondas

A utilização de microondas como uma fonte de energia para o processamento de alimentos tem recebido muita atenção (Huxsoll e Morgan, 1968).

O termo "microondas" é simplesmente um nome usado para descrever a radiação de certas ondas que ocupam o espectro electromagnético entre as ondas de rádio e infravermelho. As frequências permitidas no uso industrial, científico e medicinal pela "Federal Communications Commission" de acordo com o "International Radio Regulations" de Geneva, em 1959 são as seguintes: 915, 2450, 5800 ou 22.125 megaciclos por segundo (Copson, 1962).

As microondas têm várias características que podem

ser usadas vantajosamente no processamento de alimentos. Elas têm relativamente alta habilidade de penetração, causando aquecimento interno através de moléculas de água, que são particularmente susceptíveis a radiação de microondas e assim tendem absorver energia de microondas, efetuando um rápido e uniforme aquecimento em todo o material (Huxsoll e Morgan, 1968; Chamberlain, 1973; Sale, 1966; Schiffmann, 1975).

Observando as propriedades deste novo processamento por microondas vários pesquisadores estudaram sua aplicabilidade em diversos alimentos. Doty e Baker (1977) estudaram o efeito da energia de microondas (2450 MHz) no condicionamento de trigo Durum, antes da moagem e processamento, sobre a qualidade da semolina e do espaguete. Edwards (1964), utilizou a energia de microondas para inativar as enzimas α -amilase do trigo e da farinha com 20% de umidade. Maurer et al (1971) estudando o uso de energia de microondas no processamento de pastas obtiveram grande sucesso, conseguindo uma velocidade de secagem 20 vezes maior que a aquela obtida na secagem convencional.

Huxsoll e Morgan (1968) encontraram que a energia de microondas oferece alguma vantagem sobre a fonte de energia convencional para o processamento de arroz de rápido cozimento. O rápido e uniforme aquecimento permitiu a formação de uma estrutura porosa no grão que facilitou uma posterior reidratação. Matthews et al (1971) estudaram o uso de microondas na secagem do arroz em casca em um esforço para aumentar o rendimento em grãos

inteiros no beneficiamento. Roberts (1977) observou os efeitos da energia de microondas na gelatinização do arroz com casca. O arroz com alto teor de umidade (30-35%) após tratamento com microondas durante 2 a 5 min., mostrou-se semelhante ao parboilizado convencional.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Matéria-prima

O arroz usado nesta pesquisa foi da variedade IAC-25, de sequeiro, gentilmente doado pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) - S.P.

Esta variedade foi desenvolvida no IAC através do cruzamento das variedades Dourado precoce e IAC-1246. A variedade IAC-25 apresenta glumelas de cor dourada, ápice claro e arista mútico ou pequena arista.

3.1.2. Reagentes

O grau de pureza dos reagentes usados para as determinações químicas foi de acordo com as especificações exigidas pelos métodos de análises.

3.1.3. Aparelhos e equipamentos

Além dos aparelhos e equipamentos comuns de laboratório foram usados:

- Mesa Densimétrica Blasi tipo G.S. 500
- Autoclave vertical Fabbe Ltda Mod 103

- Secador de túnel com controle de temperatura
- Máquina para teste de arroz, modelo compacto Suzuki MT 81
- Moinho Quadromatic Senior Brabender
- Espectrofotômetro Filterfarbmessgerat RFC-3 Computer HP 2100 A
- Forno de Microondas modelo Sanyo com 1.35 Kw de potência e frequência de 2450 MHz
- Centrífuga Walita, modelo HL 3234
- Determinador Semi Automático de Umidade Brabender
- Estufa marca Fanem com circulação forçada de ar
- Banho-maria com controle de temperatura
- Moinho tipo Burr (para teste de dureza) da Brabender
- Espectrofotoflorômetro Aminco-Bowman
- Extrator de gordura "Soxhlet"
- Conjunto para determinação de proteínas tipo Kjeldahl
- Bomba de vácuo da "Waters Associates"
- Conjunto para análise granulométrica mecanizado "Pro_u dutest
- Mufla com controle de temperatura marca Forlabo Ltda.
- Computador IBM 370 da Universidade de São Paulo (USP)
- Difratorômetro Philips Mod PW 1140

3.2. Métodos de processamento

3.2.1. Tratamento com inseticida e limpeza

Antes da limpeza e homogeneização, 50 kg de arroz em casca foram colocados em ambiente fechado e tratados com um terço de uma pastilha de fosfina (PH_3) por 72 h. A seguir, o arroz em casca foi limpo com auxílio de uma mesa densimétrica. A fração com grãos em casca, inteiros e livre de material estranho, foi recolhida e colocada em um recipiente com água. Esta mistura foi agitada por 30 s e deixada em repouso por outros 30 s adicionais. Os grãos que ficariam na superfície do líquido foram retirados manualmente e os do fundo foram considerados limpos e usados para a etapa de maceração do processo de parboilização.

3.2. Determinação das curvas de absorção de água

As curvas de absorção de água foram determinadas com amostras contendo 20 g de arroz em casca imersos em diferentes soluções de acetato de sódio e a diferentes temperaturas. As concentrações de acetato de sódio e temperaturas foram determinadas através de um desenho experimental que atendeu as exigências para aplicação de método estatístico da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). Independente da concentração de acetato de sódio e da temperatura, as amostras foram colocadas em sacos de nylon perfurados e imersas no líquido de maceração. Pe-

riodicamente foram retiradas, centrifugadas a 3200 rpm por 4 s e, a seguir, pesadas. A porcentagem de água foi determinada por diferença de peso, utilizando a seguinte equação:

$$\% \text{ ABS de água} = \frac{U_0 \times M_0/100 + (M_1 - M_0)}{M_1} \times 100$$

U_0 = Umidade inicial em %

M_0 = Massa inicial

M_1 = Massa úmida no tempo t_1

3.2.3. Maceração

Amostras com 500 g de arroz em casca foram colocadas num recipiente de aço inox contendo 2 L de solução de maceração e deixadas em banho-maria a temperatura desejada por tempo necessário para alcançar a umidade definida pelo desenho experimental.

3.2.4. Tratamento térmico do arroz macerado

O tratamento térmico do arroz parboilizado pelo processo convencional foi efetuado em autoclave à pressão de 0,5 kg/cm² (111°C) por 5 min. Estas condições foram estabelecidas experimentalmente com amostras de 100g.

O tratamento térmico no processo de microondas foi efetuado com amostras de 250 g de arroz macerado. O arroz foi colo

cado em um recipiente pirex (diâmetro = 23,0 cm; altura = 3,0 cm; espessura = 0,6 cm) com uma camada de 1,8 cm de espessura. As amostras com umidades e tempos de radiação definidas pelo desenho experimental, para MSR, foram radiadas na potência máxima de 1,35 Kw. Ao atingir metade deste tempo de exposição o pirex com amostra foi girado em 180°, possibilitando assim uma melhor distribuição da energia na amostra (Roberts, 1977).

3.2.5. Secagem

A secagem do arroz parboilizado pelo processo convencional foi efetuada em secador de túnel com controle de temperatura e com a velocidade de ar mantida a 100 cm/s. Amostras de arroz cozido foram espalhadas em camadas de 1,0 cm de espessura em peneiras de 39 x 25 cm e secas à temperaturas predeterminadas até atingir 13,50% de umidade.

Para o arroz parboilizado por microondas a secagem foi efetuada em uma estufa com circulação forçada de ar à temperatura constante de 40,0°C, até atingir uma umidade final de aproximadamente 13,50%.

3.3. Análise estatística

a) Método convencional

O efeito do conteúdo de água após a maceração, da temperatura de maceração e secagem e da concentração de acetato

de sódio na qualidade do arroz parboilizado foi estudado com auxílio da MSR, através do método numérico chamado "Statistical Analysis System" (SAS) disponível no Centro de Processamento de Dados do IPT na USP, para 4 variáveis a 5 níveis de variação.

O número de ensaios foi estabelecido por um delineamento fatorial tipo 2^K (K = Variáveis) de Cochran e Cox (1957).

A Tabela 1 mostra as variáveis independentes e seus níveis usados no experimento.

A definição das variáveis independentes foi feita após trabalhos preliminares, enquanto que os níveis utilizados foram estabelecidos após a determinação dos níveis máximos e mínimos da cada variável através da seguinte equação:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2}{2} ; \quad \bar{Y} = \frac{X_2 - X_1}{2}$$

Onde X_1 = Valor mínimo

X_2 = Valor máximo

Os 5 níveis denominados de a, b, c, d, e, foram obtidos pelas equações: $a=X_1$; $b=\bar{X} - \bar{Y}/2$; $c=\bar{X}$; $d=\bar{X} + \bar{Y}/2$; $e=X_2$.

O nível máximo de absorção de água durante a maceração foi idêntico ao limite de hidratação obtido nas curvas de absorção. O mínimo foi estabelecido experimentalmente através dos resultados preliminares do rendimento em grãos inteiros no benefi

Tabela 1

Variáveis independentes e níveis de variação (Processo convencional)

Variável	Níveis				
	-2	-1	0	1	2
ABS	29,00	29,65	30,30	30,95	31,60
MAC	55,0	57,5	60,0	62,5	65,0
SEC	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0
ACE	0,012	0,039	0,066	0,093	0,120

ABS = Absorção de água (%b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

SEC = Temperatura de secagem (°C)

ACE = Acetato de sódio [M]

ciamento, pontos brancos centrais e aspecto de arroz parboilizado.

A temperatura máxima de maceração foi fixada em 65,0°C pois acima desta temperatura pode ocorrer extensa gelatinização do amido. A temperatura de 55,0°C foi fixada como mínima pois abaixo desta temperatura pode ocorrer fermentação devido ao tempo prolongado de maceração.

Os níveis máximos e mínimos da temperatura de secagem foram determinadas experimentalmente e fixados em 80,0 e 40,0°C, respectivamente, após resultados preliminares do rendimento em grãos inteiros no beneficiamento e cor do arroz parboilizado.

As concentrações máximas e mínimas de acetato de sódio foram fixadas em 0,120 e 0,012 M, respectivamente. O pH da solução foi mantido constante em 4,8.

As variáveis independentes foram combinadas como mostra a Tabela 2. Os 31 experimentos foram randomizados, sendo 16 fatoriais, 8 axiais e 7 centrais. As repetições no ponto central permitiram a estimativa da variabilidade.

b) Método Microondas

Com as variáveis determinadas por experiências preliminares (absorção de água, temperatura de maceração, tempo de radiação) realizou-se os experimentos com microondas de acordo com o desenho experimental da MSR, como usado pela "Statistical Analysis System" (SAS) para 3 variáveis a 5 níveis de variação.

Tabela 2

Delineamento estatístico genérico para 4 variáveis com 5 níveis

Nº Experimentos	Variáveis			
	ABS	MAC	SEC	ACE
01	0	0	0	0
02	0	0	0	0
03	0	0	0	0
04	0	0	0	0
05	0	0	0	0
06	0	0	0	0
07	0	0	0	0
08	-1	-1	-1	-1
09	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	1	-1	-1	1
18	-1	1	-1	1
19	1	1	-1	1
20	-1	-1	1	1
21	1	-1	1	1
22	-1	1	1	1
23	1	1	1	1
24	-2	0	0	0
25	2	0	0	0
26	0	-2	0	0
27	0	2	0	0
28	0	0	-2	0
29	0	0	2	0
30	0	0	0	-2
31	0	0	0	2

A Tabela 3 ilustra as variáveis independentes estudadas e seus níveis de variação.

Na definição dos níveis de absorção e temperatura de maceração foram considerados os resultados experimentais do processo de parboilização convencional que deram bons resultados.

Os limites de níveis do tempo de radiação foram definidos experimentalmente pela cor e rendimento em grãos inteiros no beneficiamento.

As variáveis independentes foram combinadas como mostra a Tabela 4 resultando em 15 experimentos randomizados. Os 9 primeiros experimentos foram realizados em duplicatas e os 6 restantes apenas uma vez.

c) Análise dos resultados

De acordo com a Metodologia de Superfície de Resposta (Bender et al, 1976; Cochram e Cox, 1957; Hill e Hunter, 1966; Henika e Palmer, 1976) os dados experimentais foram utilizados para determinar os coeficientes β da equação de expansão da série de Taylor (polinomial quadrática) e cuja expressão geral é:

$$\begin{aligned}
 Y_i = & \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 \\
 & + \beta_{44} X_4^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{23} X_2 X_3 \\
 & + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4
 \end{aligned}$$

Tabela 3

Variáveis independentes e níveis de variação (Processo microondas)

Variável	Níveis				
	-1,6	-1	0	1	1,6
ABS	29,00	29,50	30,00	30,50	31,00
MAC	40,0	47,5	55,0	62,5	70,0
RAD	4	5	6	7	8

ABS = Absorção de água (%b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

RAD = Tempo de radiação (min)

TABELA 4

Delineamento estatístico genérico para 3 variáveis em 5 níveis

Nº Experimentos	V a r i á v e i s		
	ABS	MAC	Tempo Rad.
01	-1,6	-1,6	-1,6
02	-1,6	0	1,6
03	-1,6	1,6	0
04	0	-1,6	1,6
05	0	1,6	-1,6
06	0	0	0
07	1,6	-1,6	0
08	1,6	0	-1,6
09	1,6	1,6	1,6
10	1	0	0
11	-1	0	0
12	0	-1	0
13	0	1	0
14	0	0	-1
15	0	0	1

Sendo Y_1 função-resposta genérica e X_1 , X_2 , X_3 e X_4 são as variáveis independentes.

As respostas observadas foram Y_1 = Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento, Y_2 = Tempo de cozimento e Y_3 = Cor do arroz parboilizado.

Os resultados do processamento foram analisados quanto à variância (Teste F), análise de regressão múltipla e curvas de Superfície de Resposta.

3.4. Métodos analíticos

3.4.1. Beneficiamento do arroz

Amostras com 100 g de arroz foram descascadas no beneficiador de laboratório marca Suzuki. A distância entre os discos recobertos com borracha, que propiciam a retirada de casca, foi ajustada de modo a obter o máximo de descascamento com mínimo de quebra. As amostras descascadas foram brunidas por 40 s com o disco de carborundum e a borracha regulada previamente a uma distância fixa.

O arroz polido foi classificado no classificador mecânico do beneficiador de arroz da Kepler Weber em grãos inteiros e quebrados, por um tempo de 1 min. O dispositivo que recolhe arroz quebrado foi fixado na posição 4,5. O rendimento em grãos inteiros foi determinado em relação ao arroz em casca.

Estas condições foram previamente estabelecidas com arroz não parboilizados.

3.4.2. Determinação da cristalinidade por raios X

Amostras parboilizadas selecionadas e secas, foram moídas no sistema de quebra do moinho Quadromat Senior e utilizadas para determinação da cristalinidade por raios X.

Os difractogramas de raio X foram feitos usando-se uma unidade Philips PW-1140 com radiação de Cu linha $K\alpha$, $L = 1,542 \text{ \AA}$ (monocromador de LiF). A velocidade de varredura foi a de 1° por min e as condições de uso foram 35 Kv e 20 mA.

3.4.3. Teste de cozimento

As amostras foram cozidas de acordo com o método usado por Ranghino (1966). Cerca de 130 a 140 grãos foram colocados num bequer de 250 mL, contendo 200 mL de água destilada em ebulição e em intervalos regulares de tempo foram retirados 10 grãos de arroz. O tempo de cozimento foi determinado pela aparência dos grãos pressionados entre duas placas de vidro.

A amostra foi considerada cozida quando todos ou pelo menos nove grãos não apresentavam pontos gessados ou opacos.

3.4.4. Determinação da cor do arroz parboilizado

Colocaram-se aproximadamente 12 g de amostra de arroz em capsulas especiais do aparelho para a determinação da cor do arroz. Foi usado o Espectrofotômetro Filterfarbmessegerat R.F.C, 3 Computer H.P. 2100 A. Hewlett Packard, com disco de 7900 Å. e lâmpada de xenon XB 250 W. O espectrofotômetro foi calibrado previamente com sulfato de bário (BaSO_4).

A % de absorbância foi determinada no espectro visível (440 - 700 nm). A cor do arroz parboilizado foi localizada no diagrama de cromaticidade, da Comissão Internacional de Iluminação (C.I.I.), usando-se os valores das coordenadas K_x e K_y . A tonalidade da cor foi determinada pela diferença total em cor (D.E.) e calculada de acordo com a fórmula de Adams/Nickerson/Stults, Din 5033 (Pupo, 1981).

$$\text{D.E.} = \sqrt{\text{DAC}^2 + \text{DAL}^2}$$

DAC = é a diferença de cromaticidade

DAL = é a diferença de luminosidade

3.5. Análises químicas

3.5.1. Umidade

Para determinação da umidade do grão de arroz uma amostra com 5,0 g foi deixada em uma estufa com circulação de ar a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante.

Para farinhas de arroz com teor de umidade inferior a 13,00% foi empregado o método N° 45-15A da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1969).

3.5.2. Proteína

O conteúdo de nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl N° 46-12 da AACC (1969). O conteúdo de proteína total do arroz foi calculado usando o fator 5,95 (Juliano, 1972).

3.5.3. Gordura

O teor de gordura foi determinado de acordo com o método N° 30-20 da AACC (1969), utilizando-se a extração contínua com éter de petróleo, P.E. 30-60°C, em aparelho Soxhlet.

3.5.4. Fibra

O teor de fibra foi determinado pelo método de Van De Kamer e Van Ginkel (1952).

3.5.5. Cinzas

O conteúdo de cinzas foi determinado após calcinação em mufla, por 2 h a 600°C, método N° 8-3 da AACC (1969).

3.5.6. Vitaminas

a. Tiamina (Vitamina B₁)

Foi determinada pelo método fluorométrico da "Análises de vitaminas" (Strohecker e Henning, 1967).

b. Riboflavina (Vitamina B₂)

Foi determinada segundo o método fluorométrico N° 86-70 da AACC (1969)

c. Niacina

Foi determinada segundo o método N° 43.045; 43.046-b da AOAC (1975).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características de hidratação.

As características de hidratação da variedade de arroz IAC 25 foram estudadas para se determinar os tempos de maceração necessários para atingir os níveis de umidades predeterminadas para os processos de parboilização convencional e microondas.

As Figuras 2 a 6 mostram as curvas de absorção de água em função do tempo de maceração, a diferentes temperaturas e diversas concentrações de acetato de sódio. A Figura 2 mostra a variação da porcentagem de absorção de água em função do tempo de maceração a diversas temperaturas sem acetato de sódio. A velocidade de hidratação aumentou rapidamente no início da maceração, estabilizando-se após um certo tempo. Aumentos na temperatura de maceração produziram uma maior hidratação atingindo maiores valores de absorção de água a menores tempos de maceração. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Ali e Ojha (1976).

As Figuras 3 a 6 mostram as variações na porcentagem de absorção de água em função do tempo de maceração a diferentes temperaturas de maceração e concentração de acetato de sódio. As características das curvas de hidratação foram semelhantes as da Figura 2 em relação a temperatura de mace-

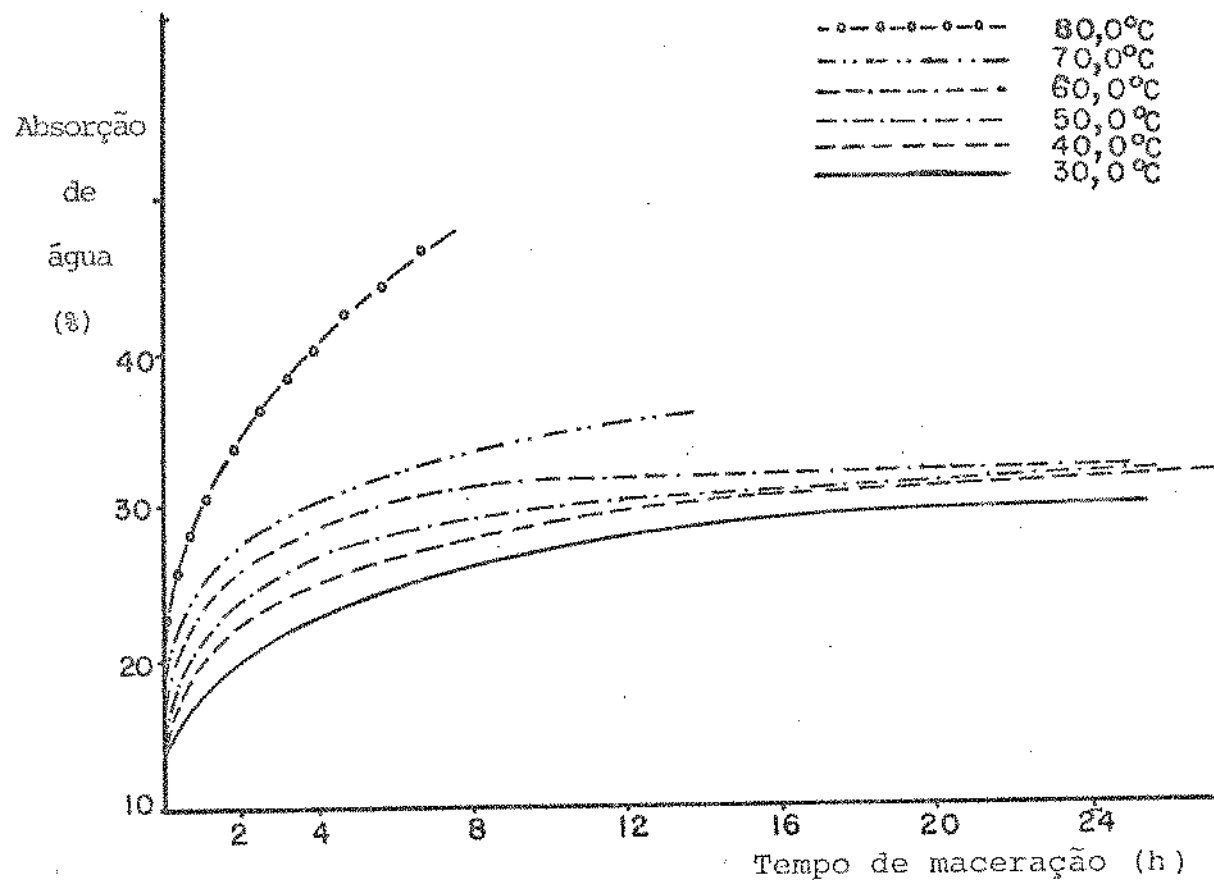


Figura 2 Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: A diversas temperaturas

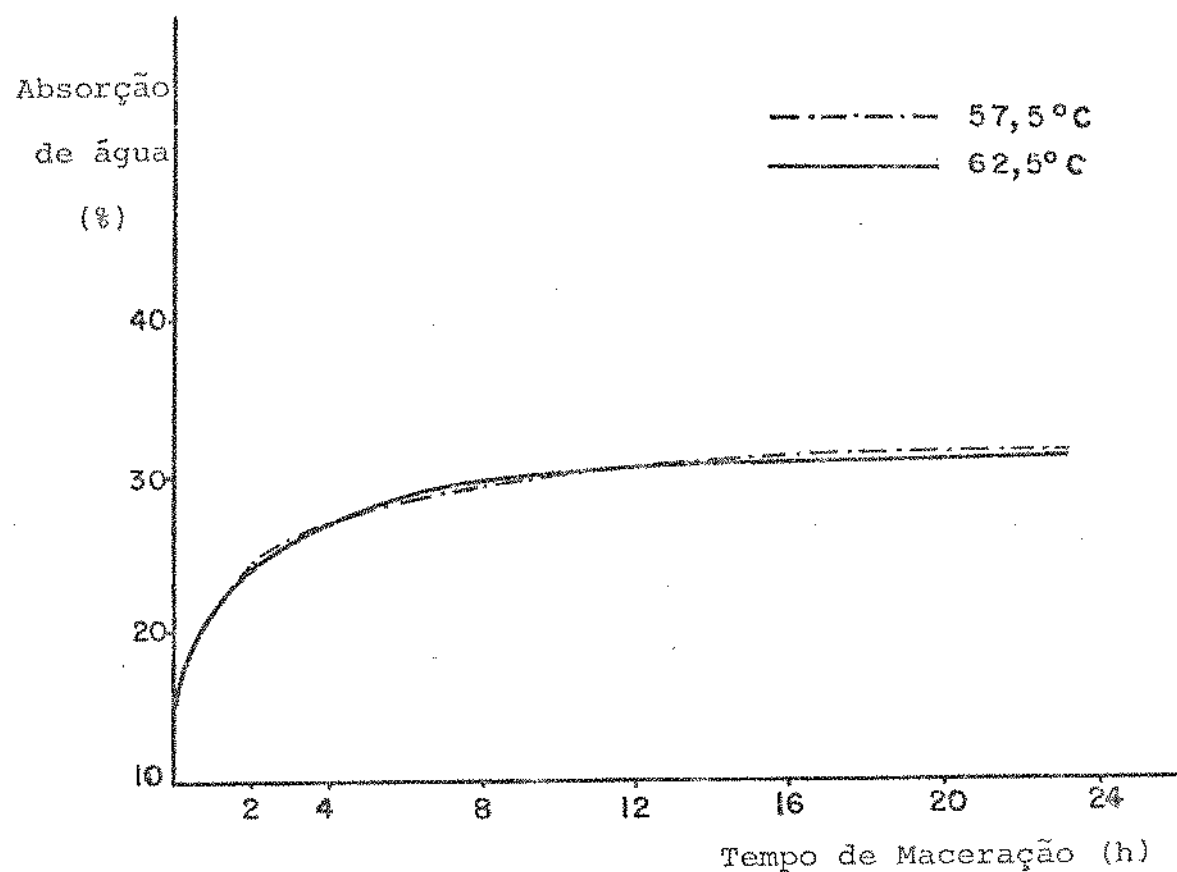


Figura 3 Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração : Em solução de acetato de sódio 0,039 M a diversas temperaturas

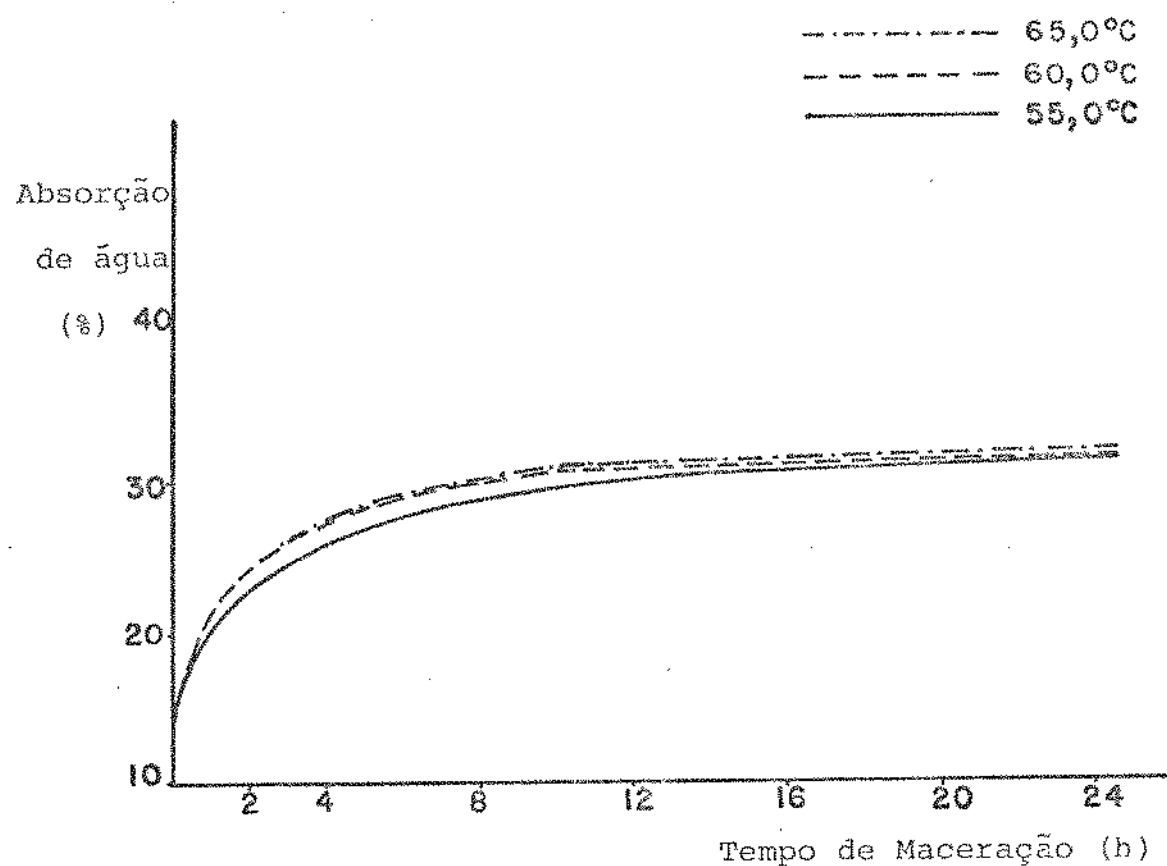


Figura 4 Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: Em solução de acetato de sódio 0,066 M a diversas temperaturas

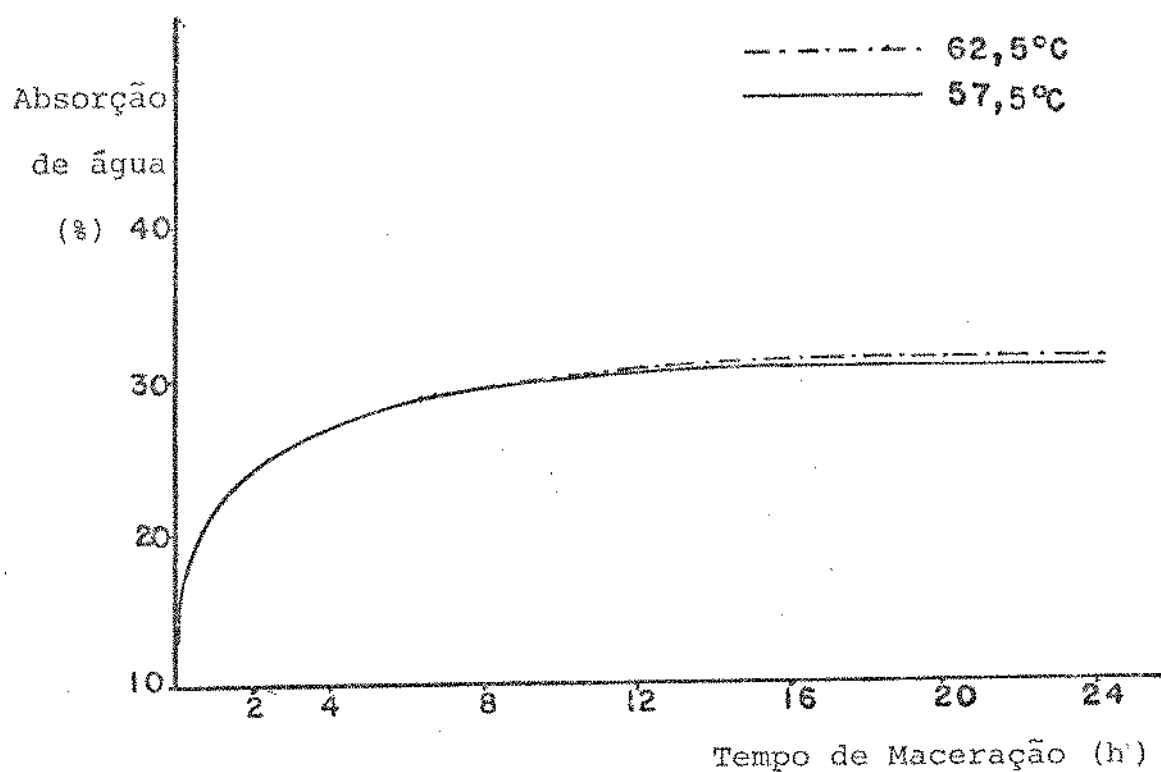


Figura 5 Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: Em acetato de sódio 0,093 M a diversas temperaturas

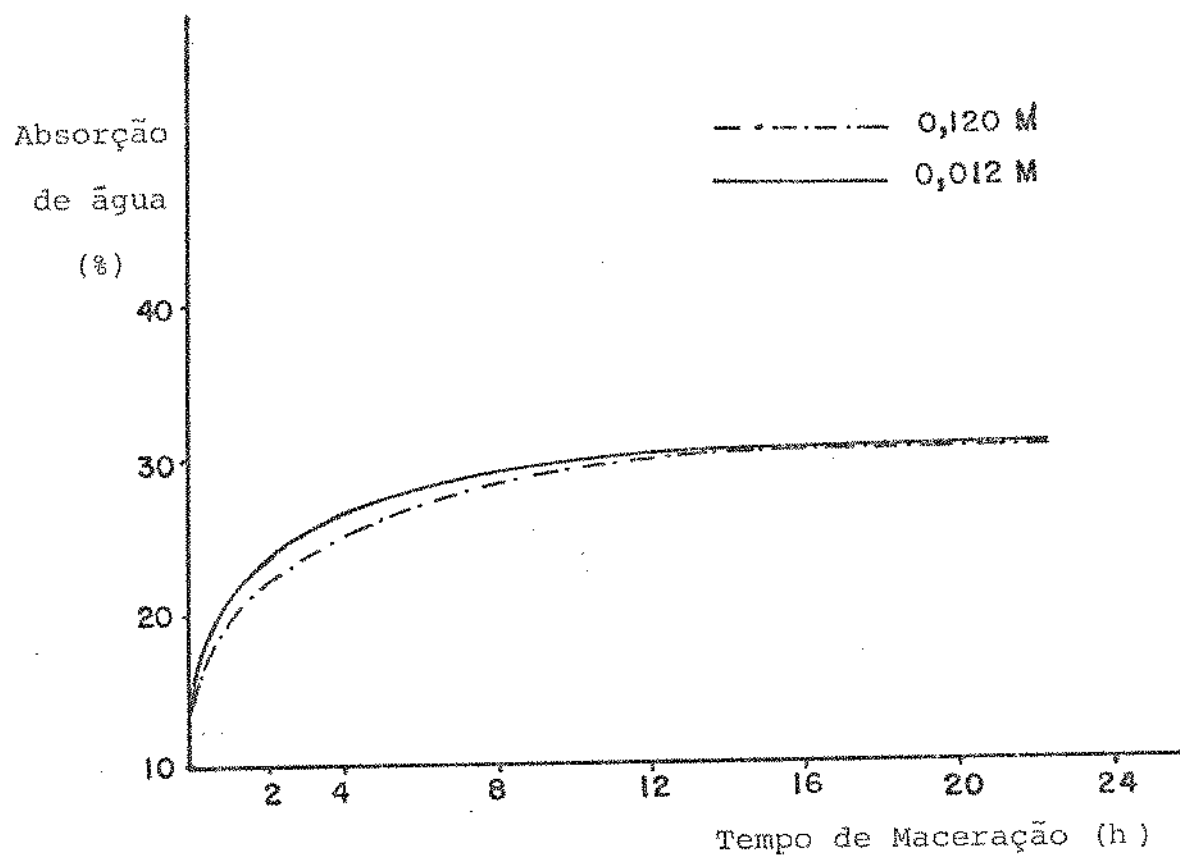


Figura 6 Absorção de água da variedade de arroz IAC 25 em função do tempo de maceração: A temperatura de $60,0^{\circ}\text{C}$ e diferentes soluções de acetato de sódio

ção. Entretanto, a adição de acetato de sódio provocou um decréscimo na velocidade de hidratação e na umidade de equilíbrio.

4.2. Arroz parboilizado convencionalmente.

Neste processo de parboilização foi estudado o efeito das variáveis: absorção de água; temperatura de maceração; concentração de acetato de sódio e temperatura de secagem nas características tecnológicas do arroz parboilizado, a saber; rendimento em grãos inteiros no beneficiamento, tempo de cozimento e cor do arroz parboilizado.

4.2.1. Rendimentos em grãos inteiros no beneficiamento.

Os resultados do rendimento em grãos inteiros no beneficiamento estão apresentados na Tabela 5. Estes dados foram utilizados para a determinação dos coeficientes do modelo matemático mostrado na Tabela 6.

A análise de variância do modelo matemático que expressa a variação do rendimento em grãos inteiros no beneficiamento em função das variáveis independentes está mostrado na Tabela 7. Para o termo linear o F calculado foi maior que o tabelado, indicando que apenas este termo foi significativo ao nível de 5% de significância. Embora não tenham apresentado significância os termos quadráticos e produtos cruzados foram considerados para um melhor ajuste do modelo matemático. A falta de ajuste do mode

Tabela 5 Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento do arroz parboilizado obtidos nas diferentes condições experimentais

OBS	ABS	MAC	SEC	ACE	REN (Exp)	REN (MSR)
1	29,00	60,00	60,00	0,066	61,77	58,35
2	29,65	57,50	50,00	0,039	65,84	69,95
3	29,65	57,50	50,00	0,093	65,43	64,84
4	29,65	57,50	70,00	0,039	66,73	62,15
5	29,65	57,50	70,00	0,093	54,16	60,98
6	29,65	62,50	50,00	0,039	69,41	69,57
7	29,65	62,50	50,00	0,093	66,71	68,36
8	29,65	62,50	70,00	0,039	52,84	59,74
9	29,65	62,50	70,00	0,093	64,22	62,47
10	30,30	55,00	60,00	0,066	72,05	69,71
11	30,30	60,00	40,00	0,066	72,77	70,86
12	30,30	60,00	60,00	0,012	72,16	69,79
13	30,30	60,00	60,00	0,066	70,55	68,33
14	30,30	60,00	60,00	0,066	68,15	68,33
15	30,30	60,00	60,00	0,066	71,54	68,33
16	30,30	60,00	60,00	0,066	69,04	68,33
17	30,30	60,00	60,00	0,066	70,49	68,33
18	30,30	60,00	60,00	0,066	64,03	68,33
19	30,30	60,00	60,00	0,066	64,54	68,33
20	30,30	60,00	60,00	0,120	71,78	69,07
21	30,30	60,00	80,00	0,066	68,69	64,72
22	30,30	65,00	60,00	0,066	72,51	68,97
23	30,95	57,50	50,00	0,039	69,89	72,14
24	30,95	57,50	50,00	0,093	70,22	68,69
25	30,95	57,50	70,00	0,039	68,16	71,89
26	30,95	57,50	70,00	0,093	72,03	72,38
27	30,95	62,50	50,00	0,039	71,36	69,91
28	30,95	62,50	50,00	0,093	65,27	70,36
29	30,95	62,50	70,00	0,039	66,53	67,63
30	30,95	62,50	70,00	0,093	70,75	72,01
31	31,60	60,00	60,00	0,066	72,54	70,08

ABS = Absorção de água pelo arroz (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

SEC = Temperatura de secagem (°C)

ACE = Concentração de acetato de sódio [M]

REN (Exp) = Rendimento no beneficiamento, dados experimentais

REN (MSR) = Rendimento no beneficiamento, dados pelo MSR

Tabela 6 Coeficientes da equação de regressão ajustada para: Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento do arroz parboilizado (Y_1)

Coeficientes		Valores
β_0	(Intercepto)	- 2096,31
β_1	ABS	150,40
β_2	MAC	4,00
β_3	SEC	- 7,80
β_4	ACE	- 1856,78
β_{11}	ABSxx2	- 2,44
β_{22}	MACxx2	0,04
β_{33}	SECxx2	- 0,00
β_{44}	ACExx2	375,33
β_{12}	ABSxTMAC	- 0,28
β_{13}	ABSxSEC	0,29
β_{14}	ABSxACE	23,61
β_{23}	MACxSEC	- 0,02
β_{24}	MACxACE	14,43
β_{34}	SECxACE	3,65

Y_1 = Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (%)

ABS = Absorção de água pelo arroz (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

SEC = Temperatura de secagem (°C)

ACE = Concentração de acetato de sódio [M]

Tabela 7 Análise de Variância do modelo matemático para rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (Y_1)

Fonte	G.L.	S.Q.	Q.M.	F(obs)	F(tab)
Modelo	14	400,63	28,62	1,45	2,37*
Linear	(4)	(264,81)	(66,20)	3,35	3,01*
Quadrático	(4)	(37,91)	(9,48)	0,48	3,01*
Prod. Cruzados	(6)	(97,91)	(16,32)	0,83	2,74*
Resíduo	16	316,34	19,77	-	-
Erro Puro	(6)	(53,29)	(8,88)	-	-
Falta de Ajuste	(10)	(263,05)	(26,30)	2,96	2,49*
Total Corrigido	(30)	716,97	-	-	-

* 5% de significância

G.L. = Grau de liberdade

S.Q. = Somatória de quadrados

Q.M. = Quadrado médio

F. = Teste F

lo não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade, indicando a adequação do modelo ajustado. Também não foram detectadas falhas na análise do resíduo.

A análise de regressão na Tabela 8 mostrou que 55,88% da variação pode ser explicada pelo modelo, revelando um ajuste moderado aos dados experimentais. O erro experimental foi de 6,6%, que pode ser considerado baixo (Pimentel, 1970).

O efeito das variáveis independentes no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento está mostrado na Tabela 9. A absorção da água foi a variável que mais afetou o rendimento, seguida da temperatura de secagem. A temperatura de maceração e a concentração de acetato de sódio tiveram influência pouco significativa no rendimento em grãos inteiros.

A influência das variáveis independentes no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento pode ser melhor visualizada nas Figuras de 7 a 12.

A Figura 7 mostra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento de grãos inteiros para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 40,0°C. Nestas condições o rendimento foi influenciado pela temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio. Para uma mesma temperatura de maceração o rendimento aumentou com o decréscimo da concentração de acetato de sódio. Resultados semelhantes são observados com o aumento da temperatura de maceração e a uma concentração fixa de acetato de sódio. De uma maneira geral curvas de nível mostraram que podem ser obtidos ren

Tabela 8 Análise de regressão do modelo matemático para rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (Y_1)

Coeficiente de correlação múltipla (R^2)	
Modelo	0,56
Linear	0,37
Quadrática	0,05
Prod. Cruzados	0,14
Variação explicada pelo modelo	55,88%
Variação explicada pelo erro experimental	6,60%
Rendimento médio em grãos inteiros	67,84%

Tabela 9 Efeito das variáveis no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (Y_1)

Variável	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fobs.	Probabilidade P (F>Fo) = α
ABS	5	299,98	60,00	3,03	0,04
MAC	5	25,36	5,07	0,26	0,93
SEC	5	133,72	26,74	1,35	0,29
ACE	5	36,40	7,28	0,37	0,86

G.L. = Grau de liberdade
S.Q. = Somatória de quadrados
Q.M. = Quadrado médio
F. = Teste F.

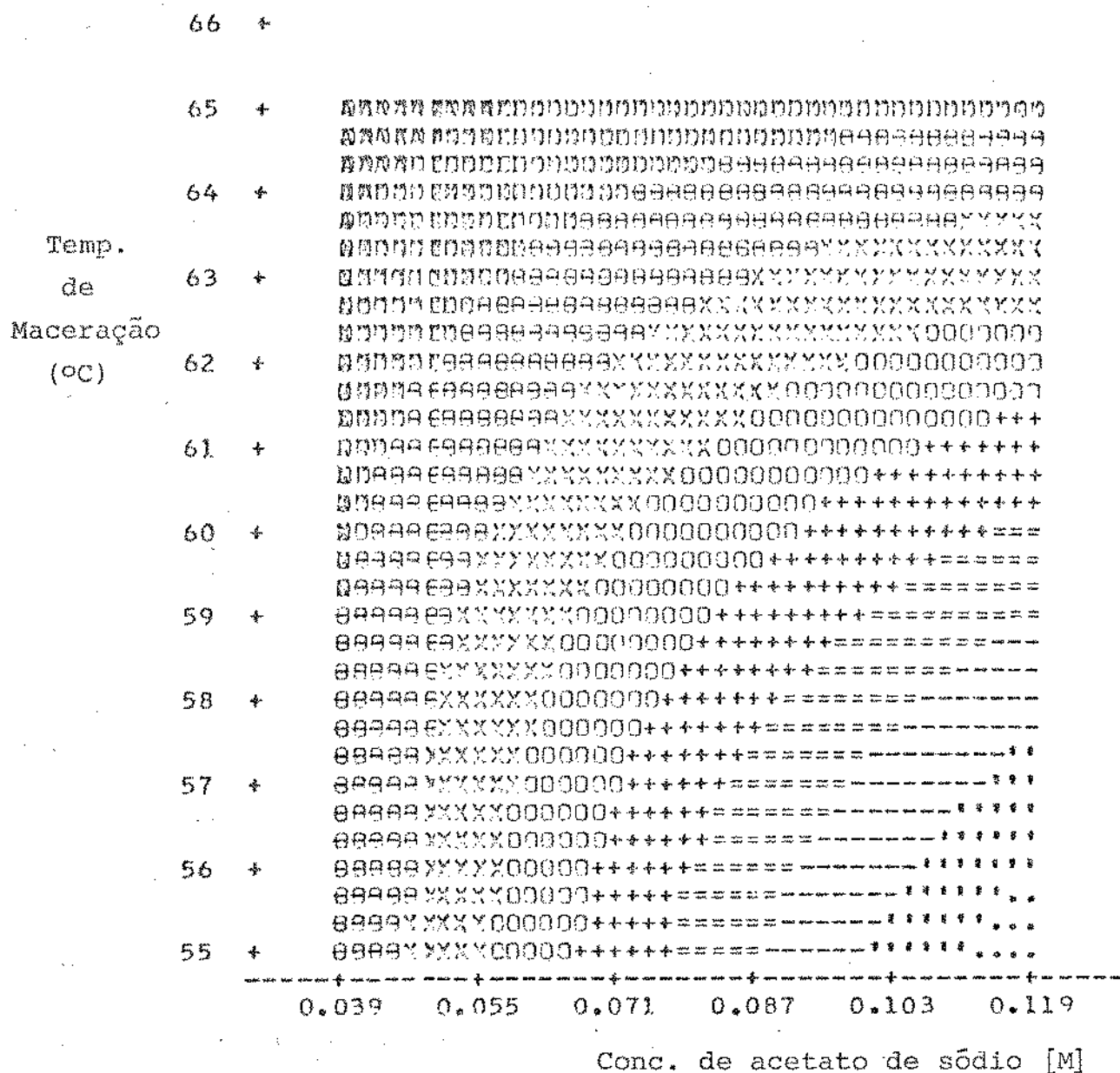
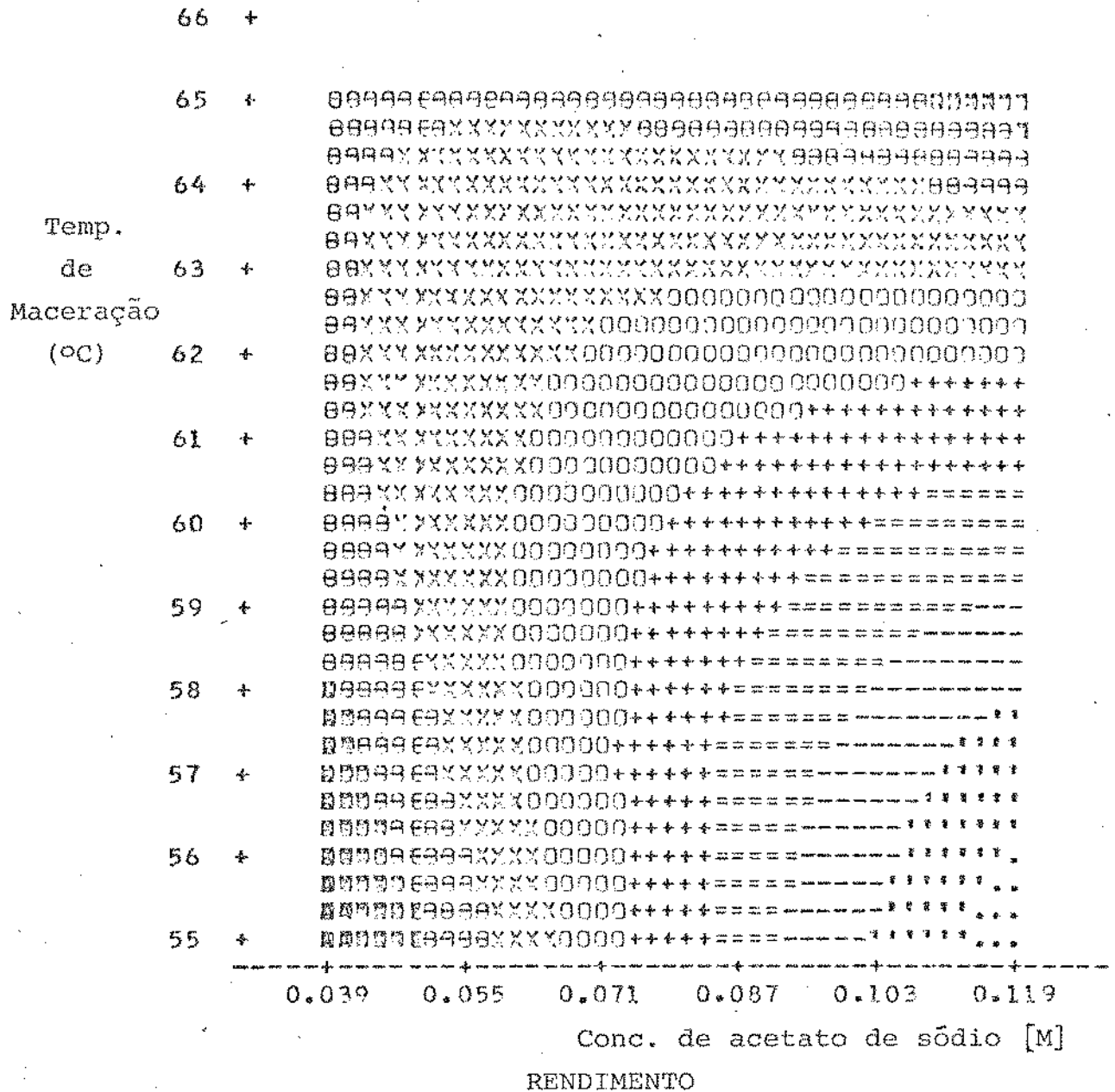


Figura 7 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 29,00% e temperatura de secagem de 40,0°C

dimentos acima de 65,00% em grãos inteiros em uma ampla faixa de concentração de acetato de sódio e temperatura de maceração. Resultados semelhantes aos da Figura 7 foram obtidos com o aumento de absorção de água (31,00 e 32,00%). A Figura 8 mostra que as superfícies de resposta com rendimentos inferiores a 65,00% foram progressivamente menores com o aumento de absorção de água. Estes resultados indicaram que com a temperatura de secagem de 40,0°C o aumento na absorção de água foi mais importante para obtenção de rendimentos maiores que 65,00% que as variações na temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio.

A Figura 9 mostra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros, para absorção de água de 29,00% temperatura de secagem de 60,0°C. Para temperatura de maceração menores que 60,0°C o rendimento aumentou a medida que a concentração de acetato de sódio decresceu. A temperatura maiores que esta, as variações de concentração de acetato de sódio não afetaram o rendimento, que por sua vez aumentou com elevação de temperatura de maceração. O rendimento máximo obtido foi de 63,50% para 65,0°C de temperatura de maceração e 0,120 M de acetato de sódio. Os grãos com 31,00 e 32,00% de absorção de água, quando secos a temperatura de 60,0°C, apresentaram altos rendimentos em grãos inteiros (65,00-75,00 %) independente das variações, dentro dos limites do experimento, da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio. Na Figura 10 as curvas de nível para estas condições de trabalho for



Símbolos

.....	62,94 - 63,50	000000	67,96 - 69,08
.....	63,50 - 64,61	XXXXXX	69,08 - 70,19
-----	64,61 - 65,73	000000	70,19 - 71,31
=====	65,73 - 66,84	000000	71,31 - 72,43
++++++	66,84 - 67,96	000000	72,43 - 72,98

Figura 8 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 31,00% e temperatura de secagem de 40,0°C

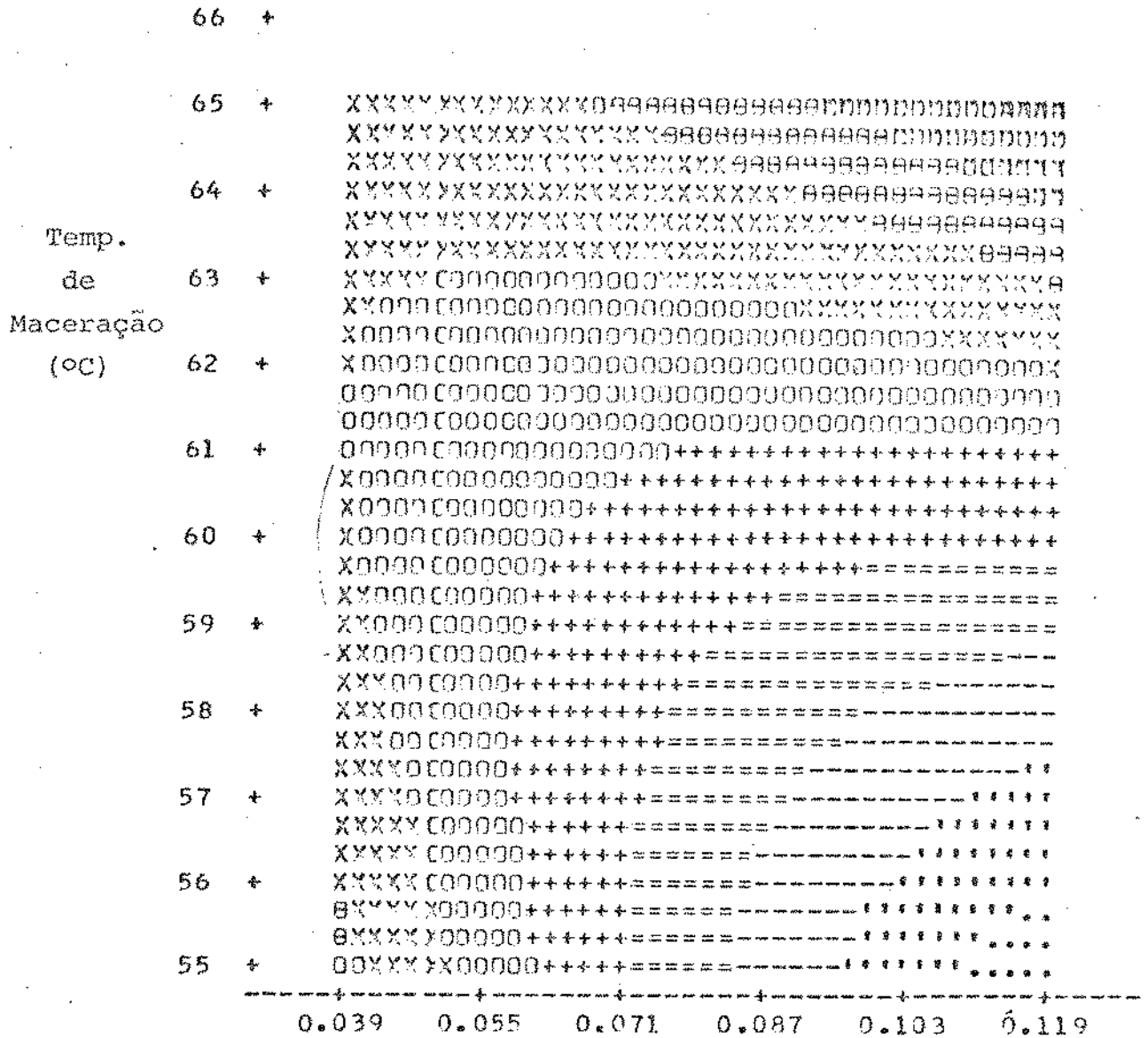


Figura 9 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 29,00% e temperatura de secagem de 60,0°C

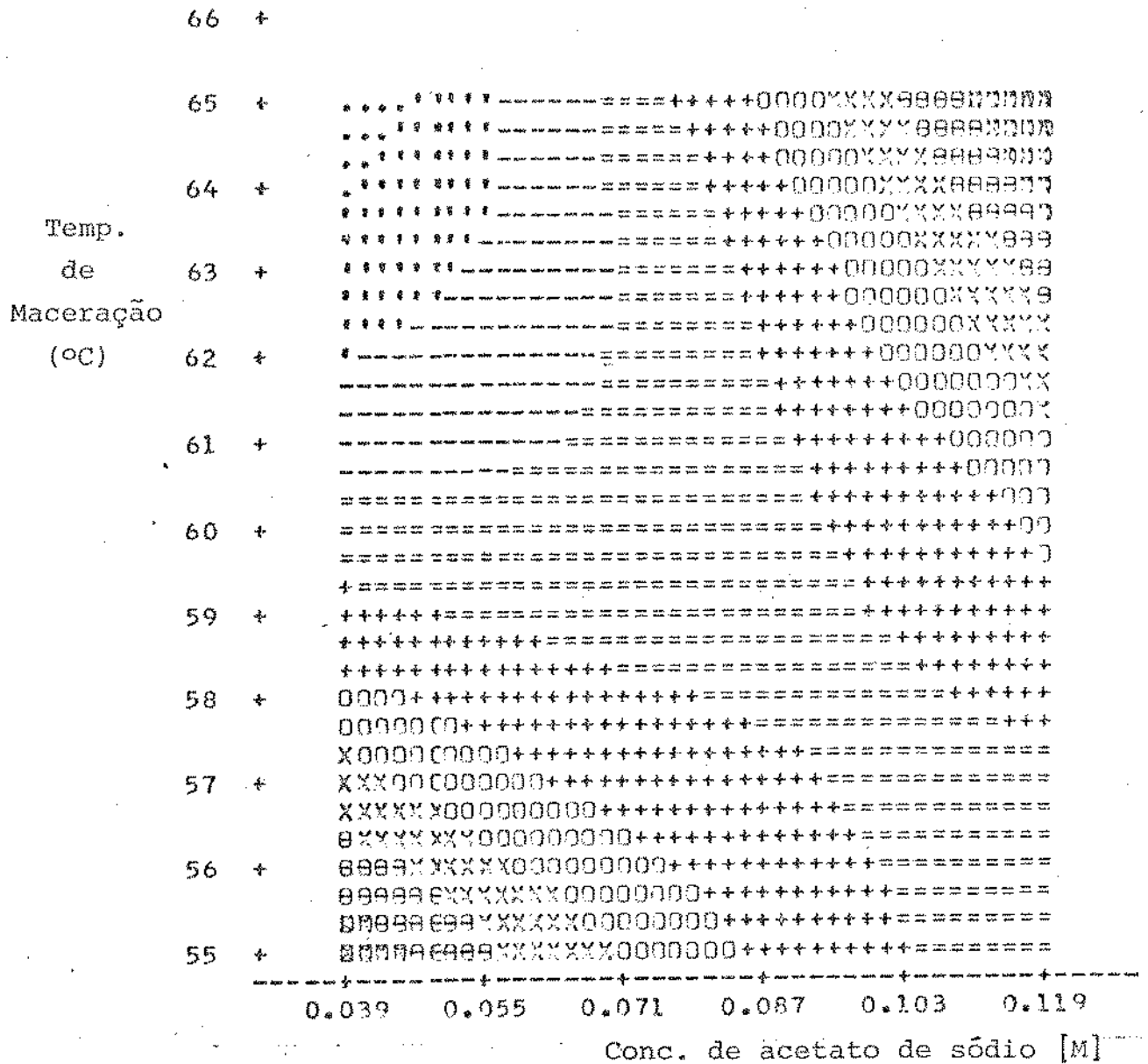


Figura 10 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 31,00% e temperatura de secagem de 60,0°C

maram uma hipérbole com seu eixo inclinado em 45° , aproximadamente, em relação a concentração de acetato de sódio. No centro da hipérbole o rendimento foi ao redor de 70,00%. Os valores do rendimento aumentaram até 75,00% quando feitas variações sobre o eixo das abscissas da hipérbole partindo do centro da mesma. Variações partindo do centro no eixo das ordenadas da hipérbole, diminuíram o rendimento até 67,80%. Para esta temperatura de secagem ($60,0^\circ\text{C}$) o rendimento em grãos inteiros foi mais afetado pela absorção de água pelo grão que a temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio.

A Figura 11 mostra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros com absorções de água de 29,00% e temperatura de secagem de $80,0^\circ\text{C}$. Nestas condições os rendimentos foram mais baixos que os anteriores, com o máximo ao redor de 54,00%. Para temperaturas de maceração maiores que $60,0^\circ\text{C}$ o rendimento aumentou paralelamente a concentração de acetato de sódio. Para temperaturas menores que $60,0^\circ\text{C}$ o rendimento permaneceu praticamente constante e independente da concentração de acetato de sódio. As curvas de nível obtidas com absorção de água de 31,00 e 32,00% de temperatura de secagem de $80,0^\circ\text{C}$ mostraram um sensível aumento no rendimento em grãos inteiros em relação àqueles obtidos com 29,00% de absorção. Os rendimentos nestas condições variaram de 65,00 a 77,00% e podem ser visualizadas nas curvas de nível da Figura 12. Para temperaturas de maceração maiores que $59,0^\circ\text{C}$ incrementos na con

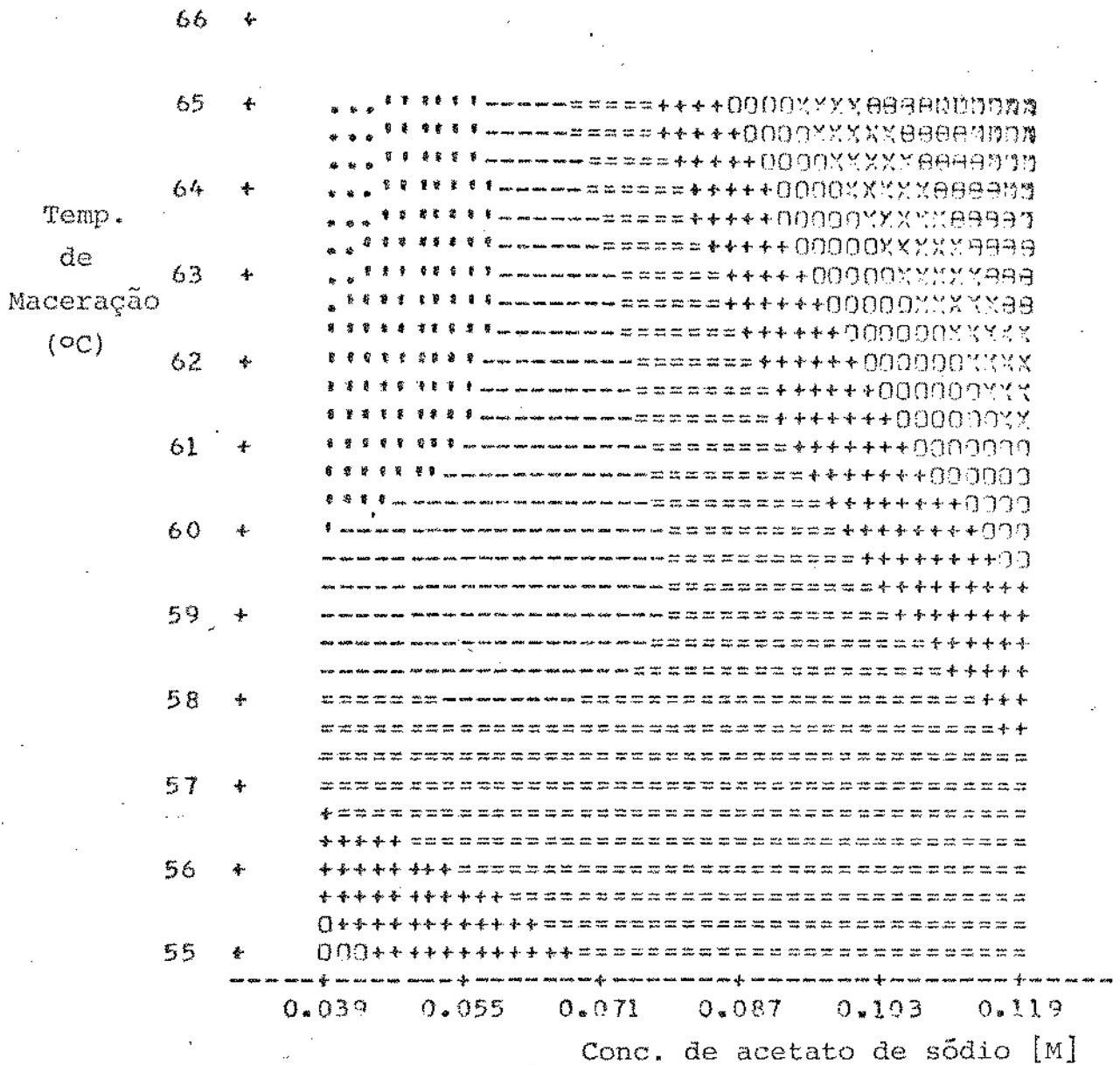


Figura 11. Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 29,00% e temperatura de secagem 80,0°C

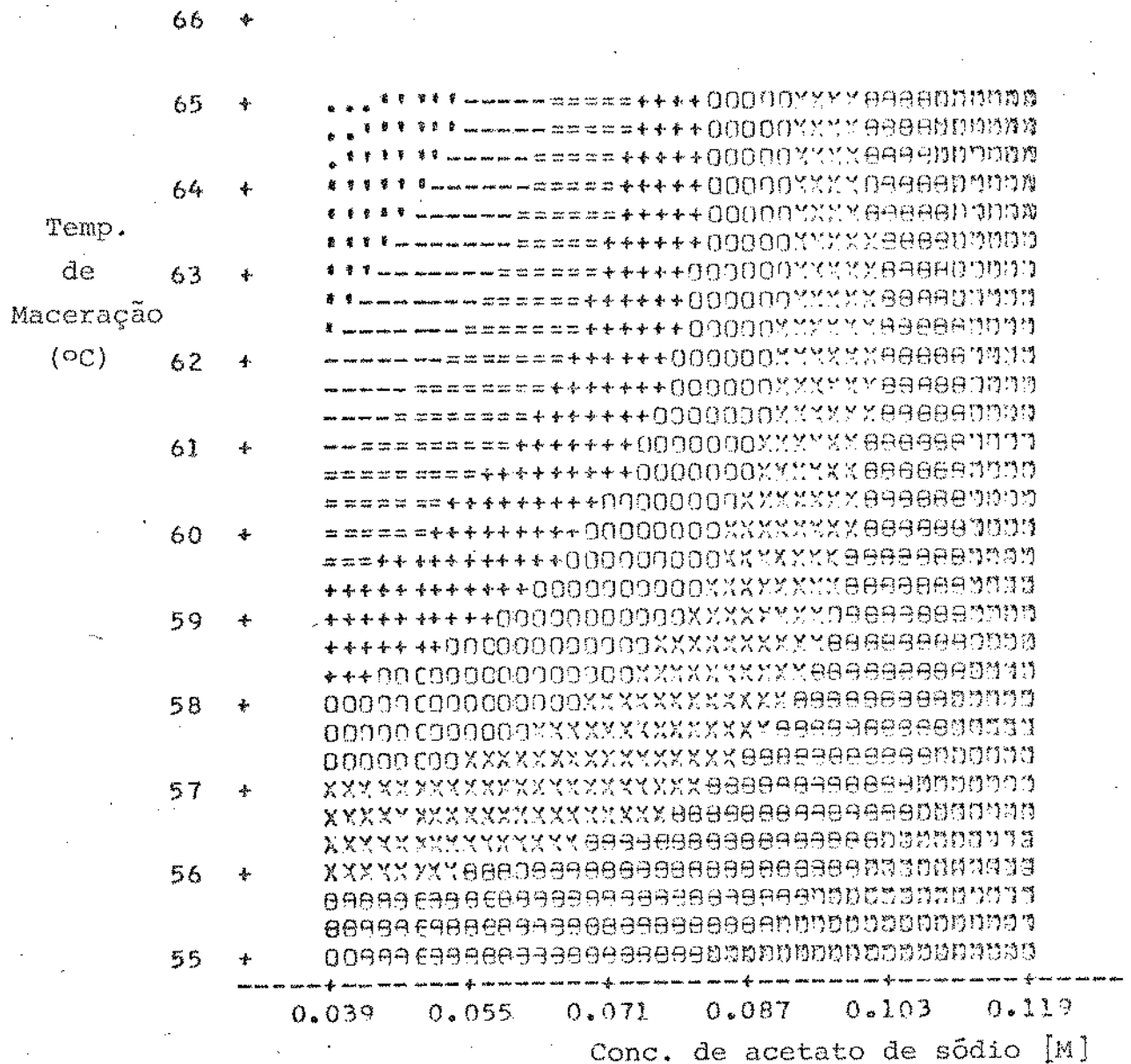


Figura 12 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no rendimento em grãos inteiros para absorções de água de 31,00% e temperatura de secagem 80,0°C

centração de acetato de sódio resultaram em aumentos no rendimento. Este aumento no rendimento não foi tão marcante para temperaturas de maceração menores que 59,0°C. Estes resultados concordaram com os obtidos através da análise estatística (Tabela 9). A absorção de água e a temperatura de secagem foram as variáveis que mais influenciaram no rendimento em grãos inteiros.

Os resultados obtidos com 29,00% de absorção de água foram possivelmente ocasionados por uma gelatinização restrita, pela quantidade de água, durante o cozimento, não sendo eliminadas as fissuras existentes no grão. Quando o grão foi seco a elevadas temperaturas foi desenvolvido um gradiente de concentração de água entre o interior e o exterior de grão, provocando tensões que originaram fissuras e posteriores quebras no beneficiamento. Entretanto, quando a secagem foi feita a baixas temperaturas a retirada de água do grão foi lenta, não ocasionando grandes diferenças na concentração de água entre a superfície e o interior do grão do arroz. Assim as tensões desenvolvidas nos grãos foram pequenas e não causaram quebras durante o beneficiamento. Resultados semelhantes foram encontrados por Wirakartakusumah e Lund (1978).

Para 31,00 e 32,00% de absorção foram obtidos altos rendimentos em grãos inteiros no beneficiamento, nas diversas temperaturas de secagem testadas. Nestas condições o grau de gelatinização foi maior e consequentemente as fissuras existentes foram eliminadas. A estrutura, assim formada, resistiu as tensões oca

sionadas pelo gradiente de umidade entre o interior e o exterior do grão. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Henderson (1957); Rao e Juliano (1970); Lund et al (1975); Ali e Bhattacharya (1976a).

A extensão da gelatinização em função da absorção de água pelo grão foi avaliada pelo espectro de raios X de arroz parboilizado. A Figura 13 mostra os difratogramas de amostras de arroz polido e arroz parboilizado com 29,65% (B) e 30,95% de absorção de água (C) nas mesmas condições de temperatura de maceração (57,5°C), temperatura de secagem (70,0°C) e concentração de acetato de sódio (0,093 M). O difratograma do arroz não parboilizado (A) mostrou picos bem resolvidos indicando uma forma ordenada de cristalização e a presença de picos a 3,85 Å, 5,83 Å e um duplo não resolvido a 4,96 Å indicaram o padrão A, característico de amido de cereais (Zobel, 1964; Priestley, 1975). Os difratogramas do arroz parboilizado com 29,65 e 30,95% de absorção mostraram que a resolução dos picos foi prejudicada pelo aumento na absorção. Estes resultados confirmam que o arroz parboilizado com 30,95% de umidade sofreu uma gelatinização mais extensa que alterou o padrão cristalino original, que aquele com 29,65% de umidade.

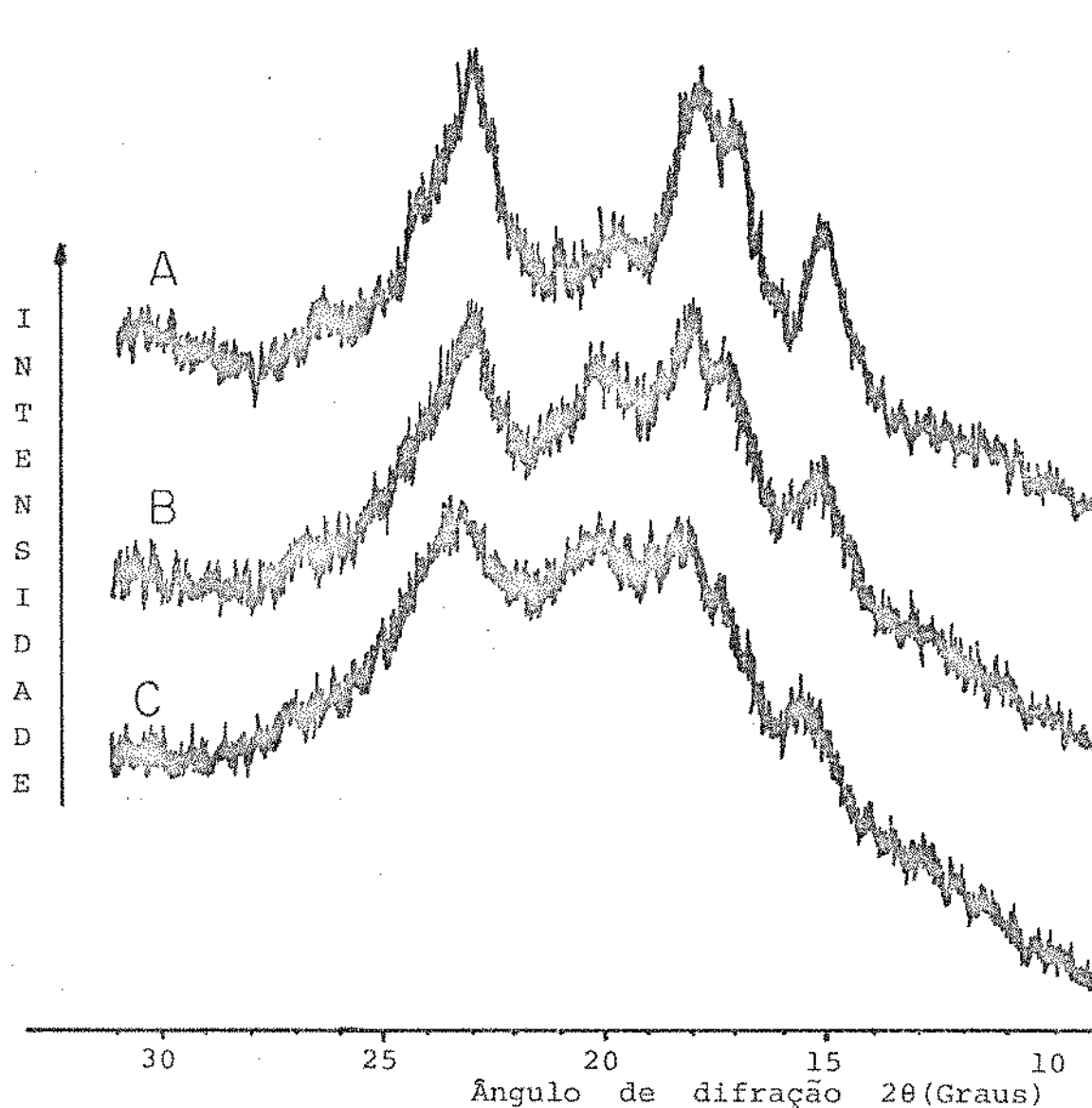


Figura 13 Difrátogramas de farinha de arroz: A: sem parboilizar; B: Parboilizado com 29,65% de absorção de água e C: com 30,95% de absorção de água.

4.2.2. Tempo de cozimento do arroz parboilizado

Os resultados do tempo de cozimento do arroz parboilizado e as condições do processamento estão apresentados na Tabela 10. Os coeficientes do modelo matemático que representa o efeito das condições do processamento do tempo de cozimento do arroz parboilizado estão mostrados na Tabela 11.

Os resultados da análise de variância para este modelo estão mostrados na Tabela 12. O valor de F dos termos lineares foi de 3,68, que comparado com valores da tabela (Pimentel, 1970) mostrou uma significância ao nível de 5%. Os termos quadráticos e produtos cruzados não foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, sendo que os termos de produtos cruzados apresentaram limites bilaterais e o F menor que 1. O modelo matemático apresentou uma falta de ajuste não significativo, no teste F., a nível de 5% de probabilidade. A análise de resíduos não apresentou falhas indicando que o modelo ajustado para tempo de cozimento foi aceitável.

Os resultados da análise de regressão para o modelo matemático estão mostrados na Tabela 13. O ajuste explicou 64,88% das variações, indicando um ajuste moderado aos dados experimentais. O modelo foi explicado em sua maior parte por termos lineares (32,31%) seguido de termos quadráticos (19,68%) e produtos cruzados (12,89%). O erro experimental foi de apenas 3,00%, bastante inferior ao aceito (10%) (Pimentel, 1970).

Tabela 10 Tempo de cozimento do arroz parboilizado obtido nas diferentes condições experimentais

OBS	ABS	MAC	SEC	ACE	T.COZ. (Exp)	T.COZ.(MSR)
1	29,00	60,00	60,00	0,066	20,95	21,03
2	29,65	57,50	50,00	0,039	21,20	21,13
3	29,65	57,50	50,00	0,093	22,00	21,92
4	29,65	57,50	70,00	0,039	21,50	22,20
5	29,65	57,50	70,00	0,093	22,98	22,19
6	29,65	62,50	50,00	0,039	19,72	20,12
7	29,65	62,50	50,00	0,093	20,90	21,15
8	29,65	62,50	70,00	0,039	21,60	21,36
9	29,65	62,50	70,00	0,093	21,73	21,60
10	30,30	55,00	60,00	0,066	21,68	21,85
11	30,30	60,00	40,00	0,066	21,50	20,93
12	30,30	60,00	60,00	0,012	22,00	21,13
13	30,30	60,00	60,00	0,066	20,30	20,44
14	30,30	60,00	60,00	0,066	20,50	20,44
15	30,30	60,00	60,00	0,066	21,40	20,44
16	30,30	60,00	60,00	0,066	20,00	20,44
17	30,30	60,00	60,00	0,066	19,90	20,44
18	30,30	60,00	60,00	0,066	20,95	20,44
19	30,30	60,00	60,00	0,066	20,00	20,44
20	30,30	60,00	60,00	0,120	20,85	21,53
21	30,30	60,00	80,00	0,066	21,10	21,48
22	30,30	65,00	60,00	0,066	21,32	20,96
23	30,95	57,50	50,00	0,039	20,00	20,71
24	30,95	57,50	50,00	0,093	21,00	20,86
25	30,95	57,50	70,00	0,039	21,45	20,81
26	30,95	57,50	70,00	0,093	20,00	20,18
27	30,95	62,50	50,00	0,039	20,00	20,41
28	30,95	62,50	50,00	0,093	20,94	20,81
29	30,95	62,50	70,00	0,039	20,00	20,67
30	30,95	62,50	70,00	0,093	20,60	20,29
31	31,60	60,00	60,00	0,066	19,58	19,30

ABS = Absorção de água (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

SEC = Temperatura de secagem (°C)

ACE = Concentração de acetato de sódio [M]

T. COZ. (Exp) = Tempo de cozimento experimental (min)

T. COZ. (MSR) = Tempo de cozimento dado pelo MSR (min)

Tabela 11 Coeficientes da equação de regressão ajustada para: Tempo de cozimento do arroz parboilizado (Y_2)

Coeficiente		Valores
β_0	(Intercepto)	164,79
β_1	ABS	5,27
β_2	MAC	- 8,17
β_3	SEC	0,87
β_4	ACE	220,29
β_{11}	ABSxx2	- 0,16
β_{22}	MACxx2	0,04
β_{33}	SECxx2	0,002
β_{44}	ACExx2	305,82
β_{12}	ABSxMAC	0,11
β_{13}	ABSxSEC	- 0,04
β_{14}	ABSxACE	- 8,90
β_{23}	MACxSEC	0,00
β_{24}	MACxACE	0,94
β_{34}	SECxACE	- 0,73

Y_2 = Tempo de maceração do arroz parboilizado (min)

ABS = Absorção de água pelo arroz (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

SEC = Temperatura de secagem (°C)

ACE = Concentração de acetato de sódio [M]

Tabela 12 Análise de variância do modelo para Tempo de Cozimento (Y_2)

Fonte	G.L.	S.Q.	Q.M.	F(obs)	F(Tab)
Modelo	14	12,80	0,91	2,11	2,37*
Linear	(4)	(6,38)	(1,59)	3,68	3,01*
Quadrático	(4)	(3,88)	(0,97)	2,24	3,01*
Prod. Cruzados	(6)	(2,54)	(0,42)	0,98	2,74*
Resíduo	16	6,93	0,43	-	-
Erro puro	(6)	(1,88)	(0,31)	-	-
Falta de Ajuste	(10)	(5,05)	(0,50)	1,61	2,49*
Total Corrigido	30	19,73	-	-	-

* 5% de significância

G.L. = Grau de liberdade

S.Q. = Somatória de quadrados

Q.M. = Quadrado médio

F. = Teste F.

Tabela 13 Análise de regressão para o modelo do Tempo de cozimento (Y_2)

Coeficiente de correlação múltiplo (R^2)	
Modelo	0,65
Linear	0,32
Quadrático	0,20
Prod. Cruzados	0,13
Variação explicada pelo modelo	64,88%
Variação explicada pelo erro experimental	3,00%
Tempo médio de cozimento	20,89 min.

A Tabela 14 mostra a influência das variáveis independentes no tempo de cozimento do arroz parboilizado. O teste F indicou que a absorção de água foi a variável de maior influência no tempo de cozimento.

Temperatura de maceração, temperatura de secagem e concentração de acetato de sódio afetaram em menor intensidade e de maneira similar o grau de cozimento.

A influência das variáveis independentes no tempo de cozimento podem ser melhor visualizadas nas Figuras 14 a 19. A Figura 14 mostra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 40,0°C. Os menores tempos de cozimento foram obtidos a 65,0°C de temperatura de maceração e a concentrações de acetato de sódio menores que 0,050M. Os maiores tempos de cozimento foram obtidos a temperaturas de maceração menores que 56,0°C e que 0,120M de acetato de sódio.

As curvas de nível que mostraram o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para absorções de água de 31,00 e 32,00% e temperaturas de secagem de 40,0°C foram semelhantes aquelas obtidas com 29,00% de absorção. A Figura 15 ilustra as curvas para 31,00% umidade, mostrando que não correram diferenças marcantes nos tempos mínimos de cozimento em função da absorção.

O efeito da temperatura de maceração e concentração de

Tabela 14 Contribuição das variáveis no tempo de cozimento do arroz parboilizado

Variável	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fo	Probabilidade (F>Fo) = α
ABS	5	6,45	1,29	2,98	0,04
MAC	5	3,45	0,69	1,60	0,22
SEC	5	3,09	0,62	1,43	0,27
ACE	5	2,74	0,55	1,26	0,33

G.L. = Grau de liberdade
S.Q. = Somatória de quadrados
Q.M. = Quadrado médio
F. = Teste F.

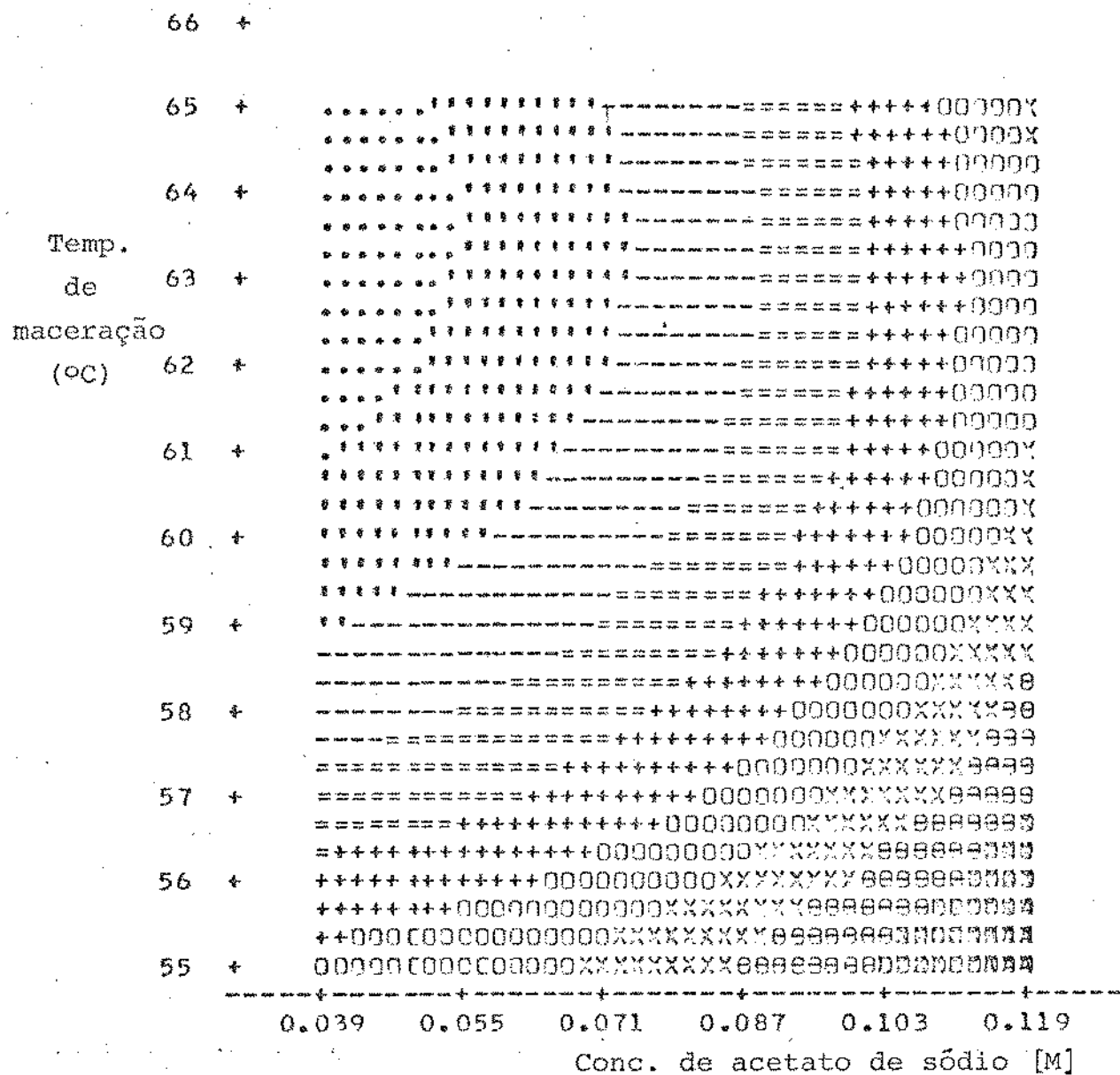


Figura 14 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem 40,0°C

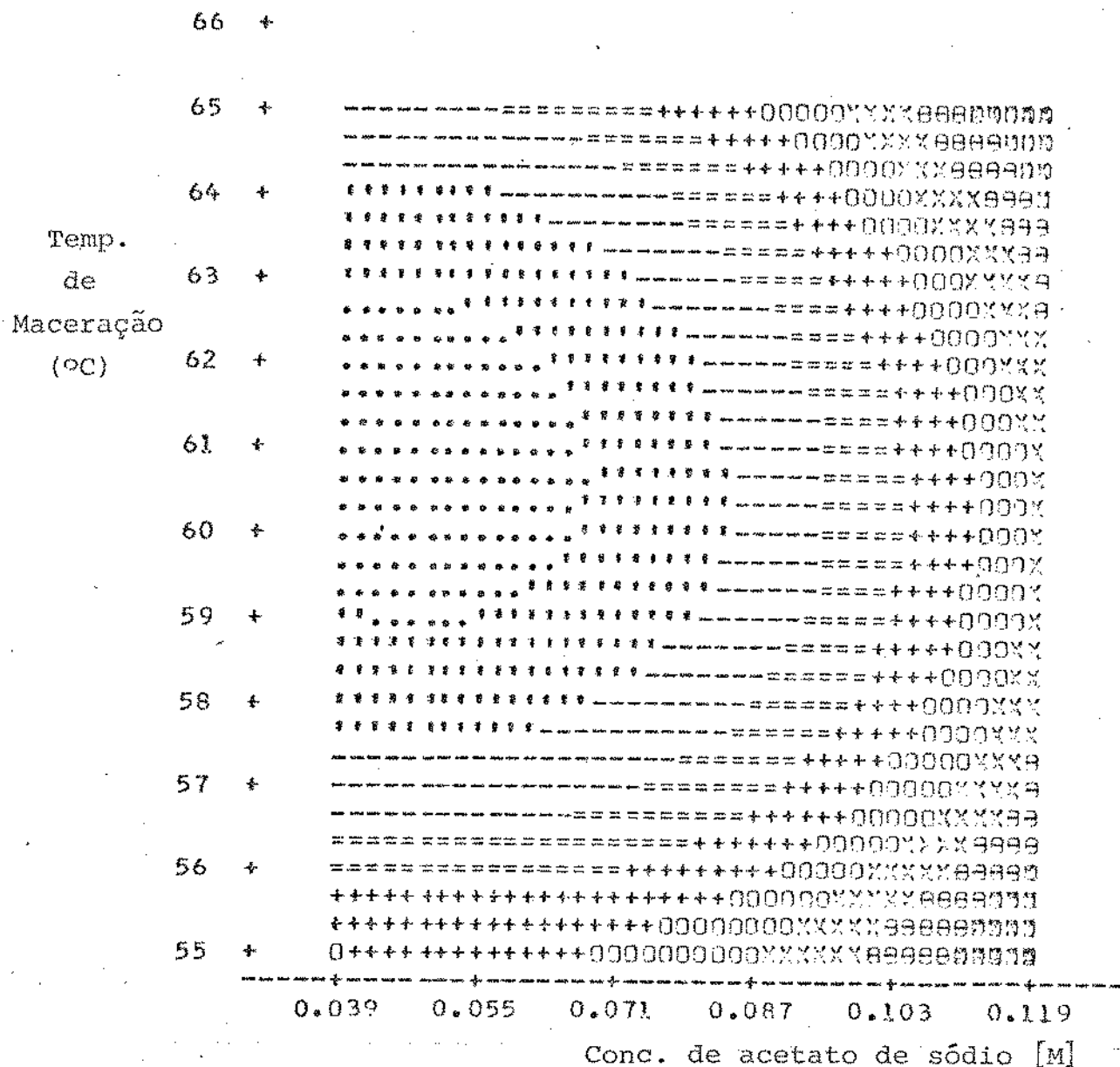


Figura 15 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 40,0°C

acetato de sódio no tempo de cozimento, para absorção de água a 29,00% e temperatura de secagem de 60,0°C esta mostrado na Figura 16. Os menores valores do tempo de cozimento (20,50 min) foram obtidos a temperaturas de maceração maiores que 59,5°C e concentrações de acetato de sódio menores que 0,080M.

Os maiores tempos de cozimento (24,50 min) foram obtidos à temperaturas de maceração de 55,0°C e concentrações de acetato de sódio de 0,120M. As superfícies de resposta encontradas indicaram que tratamentos com maiores temperaturas de maceração e baixas concentrações de acetato de sódio resultaram em menores tempos de cozimento.

As curvas de nível que mostraram o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio a absorções de água de 31,00 e 32,00% e temperaturas de secagem de 60,0°C apresentaram superfícies de resposta circulares concêntricas. As superfícies centrais apresentaram os tempos mínimos de cozimento. A Figura 17 ilustra as curvas de nível com 31,00% de absorção de água. Nestas condições o menor tempo de cozimento (20,00 min) foi obtido à temperaturas de maceração entre 58,5° e 62,0°C e entre 0,050 e 0,087 M de acetato de sódio. O aumento na absorção de água para 32,00% diminuiu o tempo de cozimento do arroz parboilizado para valores de 18,80 min. Estes resultados indicaram que o aumento na absorção de água provocou uma diminuição no tempo de cozimento quando a temperatura de secagem foi de 60,0°C.

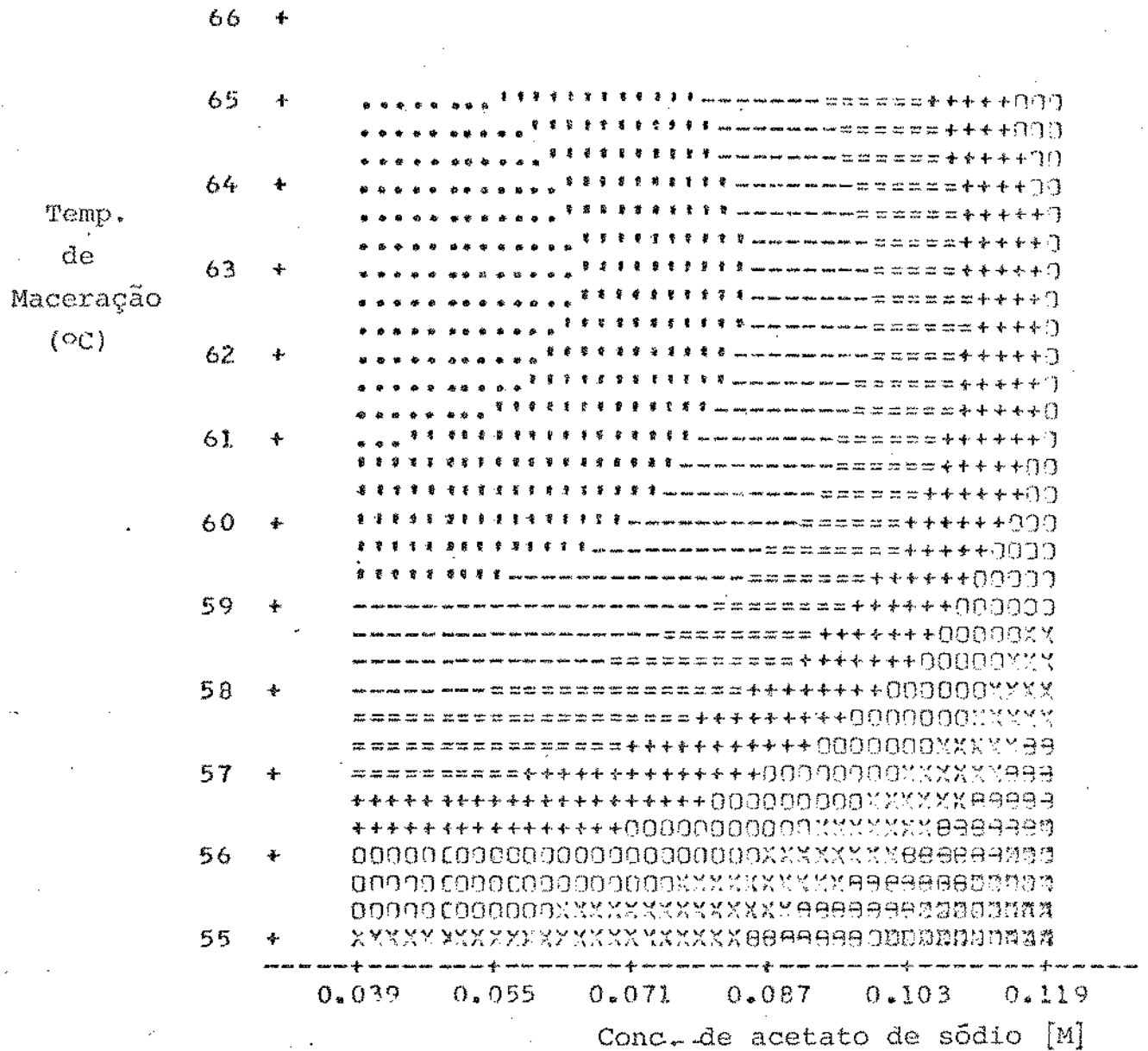


Figura 16 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 29,00% e temperatura de seca gem de 60,0°C

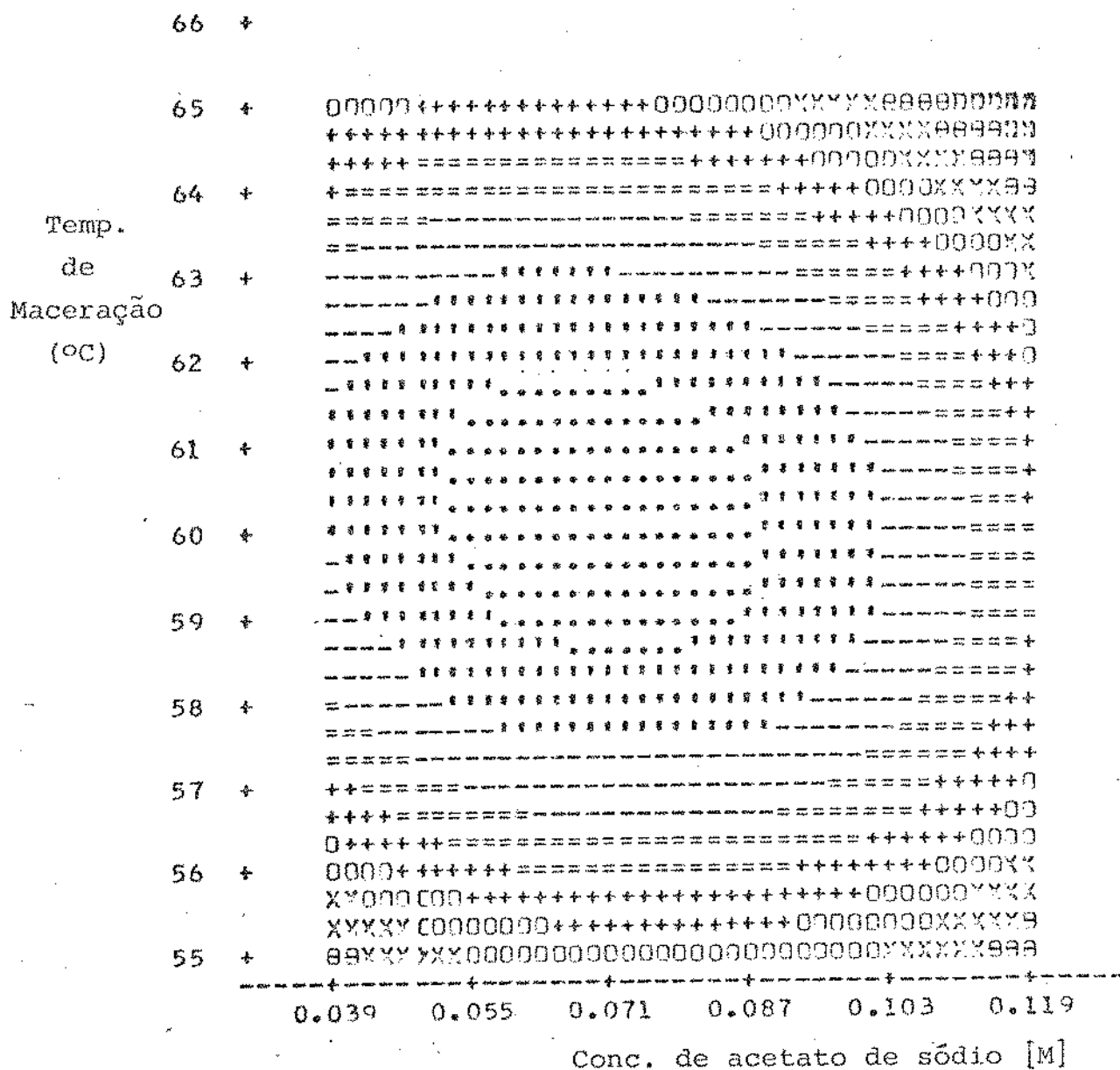


Figura 17 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 60,0°C

A Figura 18 mostra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento do arroz parboilizado para absorção de água de 29,00% e temperaturas de secagem de 80,0°C. As curvas de nível do tempo de cozimento apresentam formas circulares concêntricas tendo no centro a área com o tempo de cozimento mínimo de 22,80 min, que se encontra a temperaturas de maceração maiores que 60,5°C e concentrações de acetato de sódio menores que 0,080M. Fora destas condições os valores dos tempos de cozimento aumentaram e o máximo encontrado foi de 25,70 min.

O arroz com 31,00 ou 32,00% de absorção de água quando seco a 80,0°C também apresentou curvas de nível circulares concêntricas, com o tempo de cozimento mínimo na parte central das curvas. A Figura 19 ilustra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 80,0°C. Os menores valores do tempo de cozimento (20,20 min) foram obtidos com concentrações de acetato de sódio entre 0,077 e 0,110 M e temperaturas de maceração entre 58,0 e 61,0°C. Para arroz parboilizado com 32,00% de água e seco a 80,0°C, os menores valores do tempo de cozimento foram ao redor de 18,00 min e os máximos ao redor de 21,00 min.

Estes resultados mostraram que a rápida desidratação obtida com a temperatura de secagem de 80,0°C resultou também em uma reidratação rápida, dando menores tempos de cozimento. A

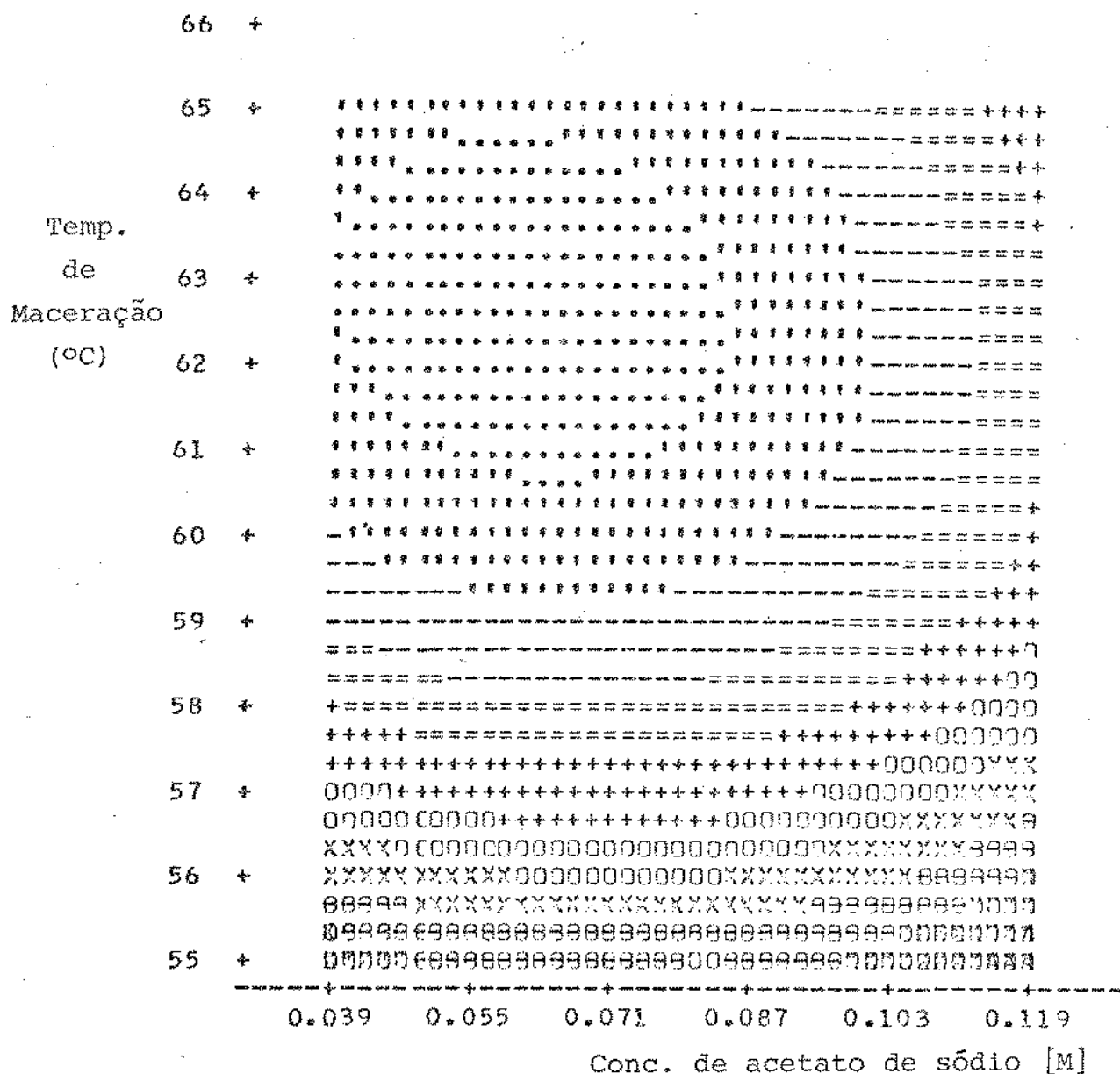


Figura 18 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 80,00°C

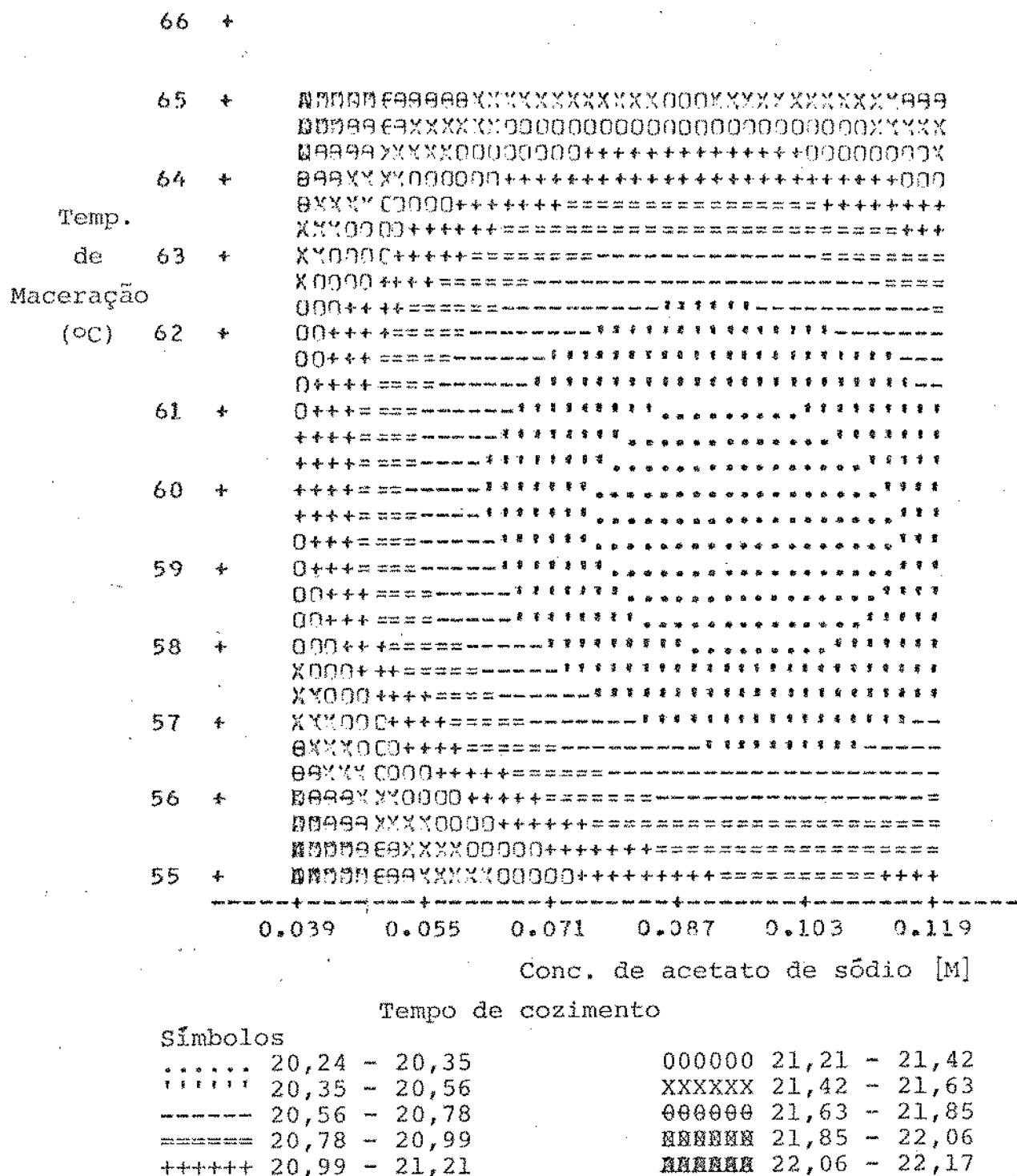


Figura 19 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio no tempo de cozimento para uma absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 80,0°C

absorção de água pelo grão também afetou a velocidade do cozimento, sendo que para 29,00% as superfícies de resposta apresentaram elevados tempos de cozimento, enquanto absorções de 31,00% e 32,00% de água apresentaram superfícies de resposta com menores tempos de cozimento. A absorção de água e a temperatura de secagem influenciaram assim na reidratação durante o cozimento do arroz parboilizado, enquanto que a concentração de acetato de sódio e temperatura de maceração tiveram um efeito menos marcante neste. Esses resultados sugeriram que durante a secagem a 40,0°C ocorreu uma maior retrogração do amido que a 60,0 e 80,0°C. Consequentemente, os tempos de cozimento foram maiores para as menores temperaturas de secagem. As temperaturas de secagem de 60,0 e 80,0°C foi possível diminuir a retrogradação proporcionando ao grão de arroz parboilizado melhores características de reidratação durante o cozimento. Ali e Bhattacharya (1976, 1980), Vasan et al (1980) também encontraram que a elevadas temperaturas de secagem e a determinadas umidades a extensão da retrogradação diminuía, possibilitando menores tempos de cozimento.

A extensão da retrogradação em função da temperatura de secagem do arroz parboilizado foi avaliada pelo espectro de raios X de arroz parboilizado. A Figura 20 mostra os difratogramas de arroz polido e parboilizado quando seco a 40,0°C (B) e 60,0°C (C). A absorção de água, temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio foram fixadas em 30,0°C, 60,0°C e 0.066M, respectivamente. O difratograma de arroz não parboilizado (A) mostrou picos bem resolvi

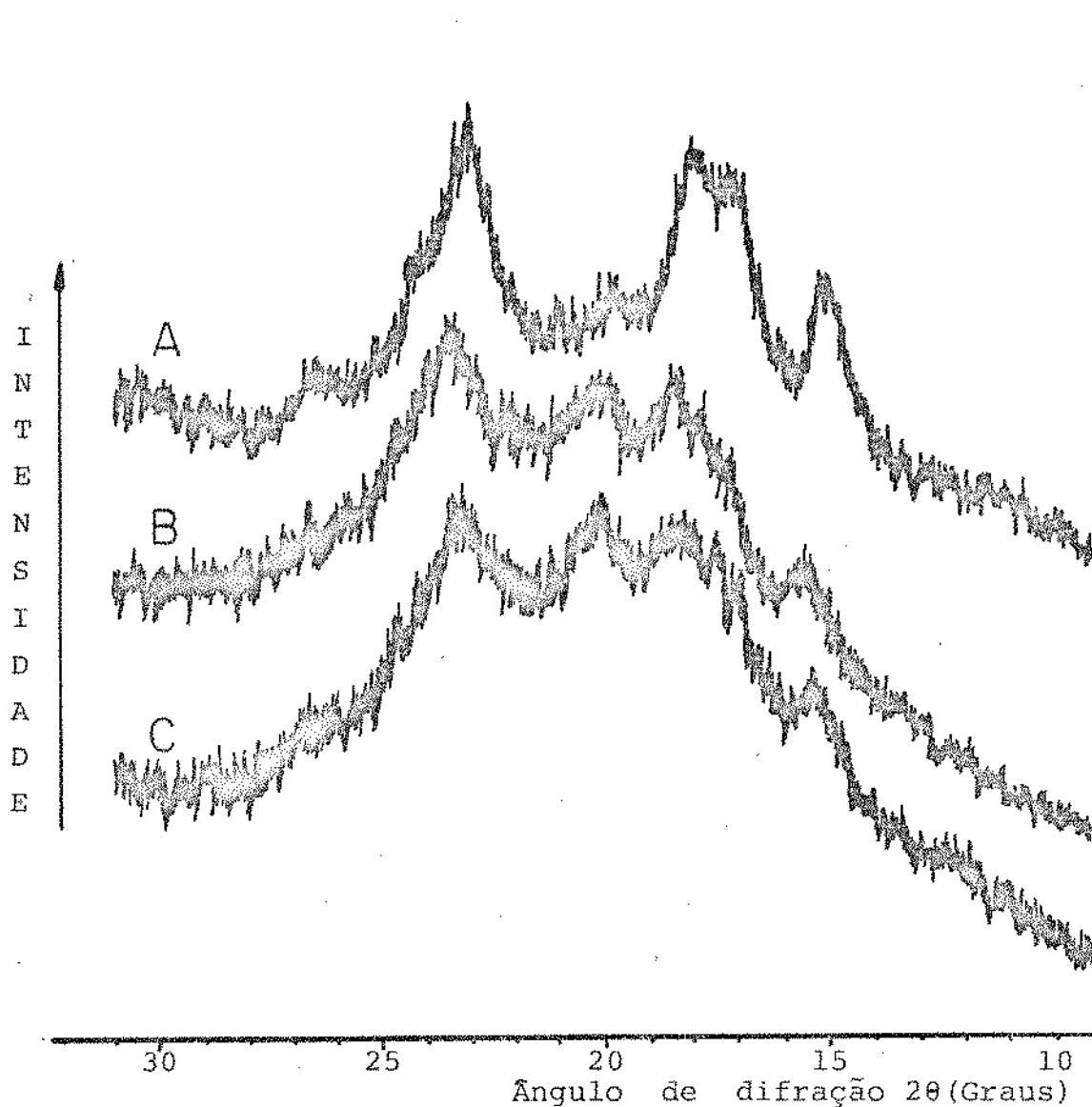


Figura 20 Difratoograma de farinha de arroz: não parboilizado (A); parboilizado com 40°C (B) e 60°C (C) de temperatura de secagem.

dos indicando uma forma ordenada de cristalização, padrão A, (Zobel, 1964; Priestley et al, 1975). Os difratogramas B e C mostraram que aumentos na temperatura de secagem do arroz parboilizado diminuíram a resolução dos picos. Estes resultados indicaram que a baixa temperatura de secagem, a conformação cristalina original foi pouco alterada, enquanto a maiores temperaturas de secagem foi obtido uma conformação mais amorfa, que possibilitou menores tempos de cozimento.

4.2.3. Cor do arroz parboilizado

A Tabela 15 mostra os resultados experimentais da determinação da cor do arroz parboilizado, e que foram usados para o ajuste do modelo matemático. A Tabela 16 mostra os coeficientes do modelo matemático que expressa a relação entre as variáveis independentes estudadas e a cor do arroz parboilizado.

Os resultados da análise de variância do modelo ajustado para cor do arroz parboilizado esta mostrado na Tabela 17. O teste F indicou que o modelo foi explicado basicamente por termos lineares, ao nível de 1% de probabilidade. Os termos quadráticos e produtos cruzados não foram significativos porque seus valores de F observados foram menores que os tabelados ao nível de 5% de probabilidade. O modelo matemático apresentou uma falta de ajuste não significativo ao nível de 5% de probabilidade. A análise de resíduos não detectou anormalidades, indicando que

Tabela 15 Cor do arroz parboilizado obtido nas diferentes condições experimentais

OBS	ABS	MAC	SEC	ACE	COR (Exp)	COR (MSR)
1	29,00	60,5	60,0	0,066	12,50	12,47
2	29,65	57,5	50,0	0,039	12,00	12,29
3	29,65	57,5	50,0	0,093	12,50	12,64
4	29,65	57,5	70,0	0,039	12,35	12,26
5	29,65	57,5	70,0	0,093	11,30	11,58
6	29,65	62,5	50,0	0,039	13,20	13,58
7	29,65	62,5	50,0	0,093	13,20	13,23
8	29,65	62,5	70,0	0,039	13,35	13,10
9	29,65	62,5	70,0	0,093	11,85	11,70
10	30,30	55,0	60,0	0,066	13,20	12,61
11	30,30	60,0	60,0	0,066	13,20	12,38
12	30,30	60,0	60,0	0,012	14,25	13,95
13	30,30	60,0	60,0	0,066	13,25	12,94
14	30,30	60,0	60,0	0,066	12,80	12,94
15	30,30	60,0	60,0	0,066	13,50	12,94
16	30,30	60,0	60,0	0,066	12,75	12,94
17	30,30	60,0	60,0	0,066	13,75	12,94
18	30,30	60,0	60,0	0,066	12,30	12,94
19	30,30	60,0	60,0	0,066	12,25	12,94
20	30,30	60,0	60,0	0,120	13,60	13,33
21	30,30	60,0	80,0	0,066	11,55	11,79
22	30,30	65,0	60,0	0,066	13,70	13,72
23	30,95	57,5	50,0	0,039	12,70	12,93
24	30,95	57,5	50,0	0,093	12,95	13,70
25	30,95	57,5	70,0	0,039	13,40	13,86
26	30,95	57,5	70,0	0,093	13,90	13,59
27	30,95	62,5	50,0	0,039	13,70	13,91
28	30,95	62,5	50,0	0,093	13,80	13,97
29	30,95	62,5	70,0	0,039	14,45	14,38
30	30,95	62,5	70,0	0,093	13,20	13,40
31	31,60	60,0	60,0	0,066	15,35	14,81

ABS = Absorção de água (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

SEC = Temperatura de secagem (°C)

ACE = Concentração de acetato de sódio [M]

COR (Exp) = Cor do arroz parboilizado, experimental (D.E.)

COR (MSR) = Cor do arroz parboilizado, dado pelo MSR (D.E.)

Tabela 16 Coeficiente da equação de regressão ajustada
para: Cor do arroz parboilizado (Y_3)

Coeficientes		Valores
β_0	(Intercepto)	344,80
β_1	ABS	-23,81
β_2	MAC	0,99
β_3	SEC	-0,54
β_4	ACE	0,60
β_{11}	ABSxx2	0,41
β_{22}	MACxx2	0,01
β_{33}	SECxx2	-0,002
β_{44}	ACExx2	238,93
β_{12}	ABSxMAC	-0,05
β_{13}	ABSxSEC	0,04
β_{14}	ABSxACE	5,88
β_{23}	MACxSEC	-0,005
β_{24}	MACxACE	-2,64
β_{34}	SECxACE	-0,96

Y_3 = Cor do arroz parboilizado (D.E.)

ABS = Absorção de água pelo arroz (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

SEC = Temperatura de secagem (°C)

ACE = Concentração de acetato de sódio [M]

Tabela 17 Análise de variância do modelo ajustado para cor do
arroz parboilizado (Y_3)

Fonte	G.L.	S.Q.	Q.M.	F(obs)	F(tab)
Modelo	14	17,57	1,25	4,02	3,45**
Linear	(4)	(11,18)	2,79	8,95	4,77**
Quadrático	(4)	(3,40)	0,85	2,73	3,01*
Prod. Cruzados	(6)	(2,99)	0,50	1,60	2,74*
Resíduo	16	5,00	0,31	-	-
Erro puro	(6)	(2,01)	0,33	-	-
Falta de ajuste	(10)	(2,99)	0,30	0,89	2,49*
Total Corrigido	30	22,57	-	-	-

* 5% de significância

** 1% de significância

G.L. = Grau de liberdade

S.Q. = Somatória de quadrados

Q.M. = Quadrado médio

F. = Teste F.

o modelo estava bem ajustado.

A Tabela 18 mostra os resultados de análise de regressão do modelo matemático para a cor do arroz parboilizado. Pelo coeficiente de correlação múltipla (R^2), 78,00% de variação foi explicada pelo modelo, que foi mais influenciado por termos lineares (49,00%) que por termos quadráticos (15,00%) e produtos cruzados (13,00%). O erro experimental foi baixo (4,00%) comparado com o limite de 10,00% normalmente aceito (Pimentel, 1970). Estes resultados indicaram que o desempenho do modelo foi satisfatório.

A contribuição de cada variável independente na cor do arroz parboilizado está mostrado na Tabela 19. O teste F indicou que a absorção de água exerceu a maior influência na cor do arroz parboilizado, seguido da temperatura da secagem. Embora os outros fatores tenham apresentado alguma influência estas não foram significativas.

Os efeitos das quatro variáveis independentes na cor do arroz parboilizado pode ser melhor visualizada nas Figuras de 21 a 26.

A Figura 21 mostra o efeito da concentração do acetato de sódio e temperatura de maceração na cor do arroz parboilizado para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 40,0°C. As curvas de nível da cor do arroz parboilizado apresentaram os menores valores (11,60 D.E.) a 55,0°C de temperatura de maceração e 0,040M de acetato de sódio e os valores máximos

Tabela 18 Análise de regressão para o modelo ajustado da cor
do arroz parboilizado (Y_3)

Coeficiente de correlação múltipla (R^2)	
Modelo	0,78
Linear	0,49
Quadrático	0,15
Prod. Cruzados	0,13
Varição explicada pelo modelo	77,87%
Varição explicada pelo erro experimental	4,00%
Cor média do arroz	13,09 D.E.

Tabela 19 Contribuição das variáveis na cor do arroz parboilizado
(D.E.)

Variável	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fo	Probabilidade (F>Fo) = α
ABS	5	10,29	2,06	6,59	0,002
MAC	5	2,75	0,55	1,76	0,18
SEC	5	4,04	0,81	2,59	0,07
ACE	5	3,21	0,64	2,06	0,12

G.L. = Grau de liberdade
S.Q. = Somatória de quadrados
Q.M. = Quadrado médio
F. = Teste F.

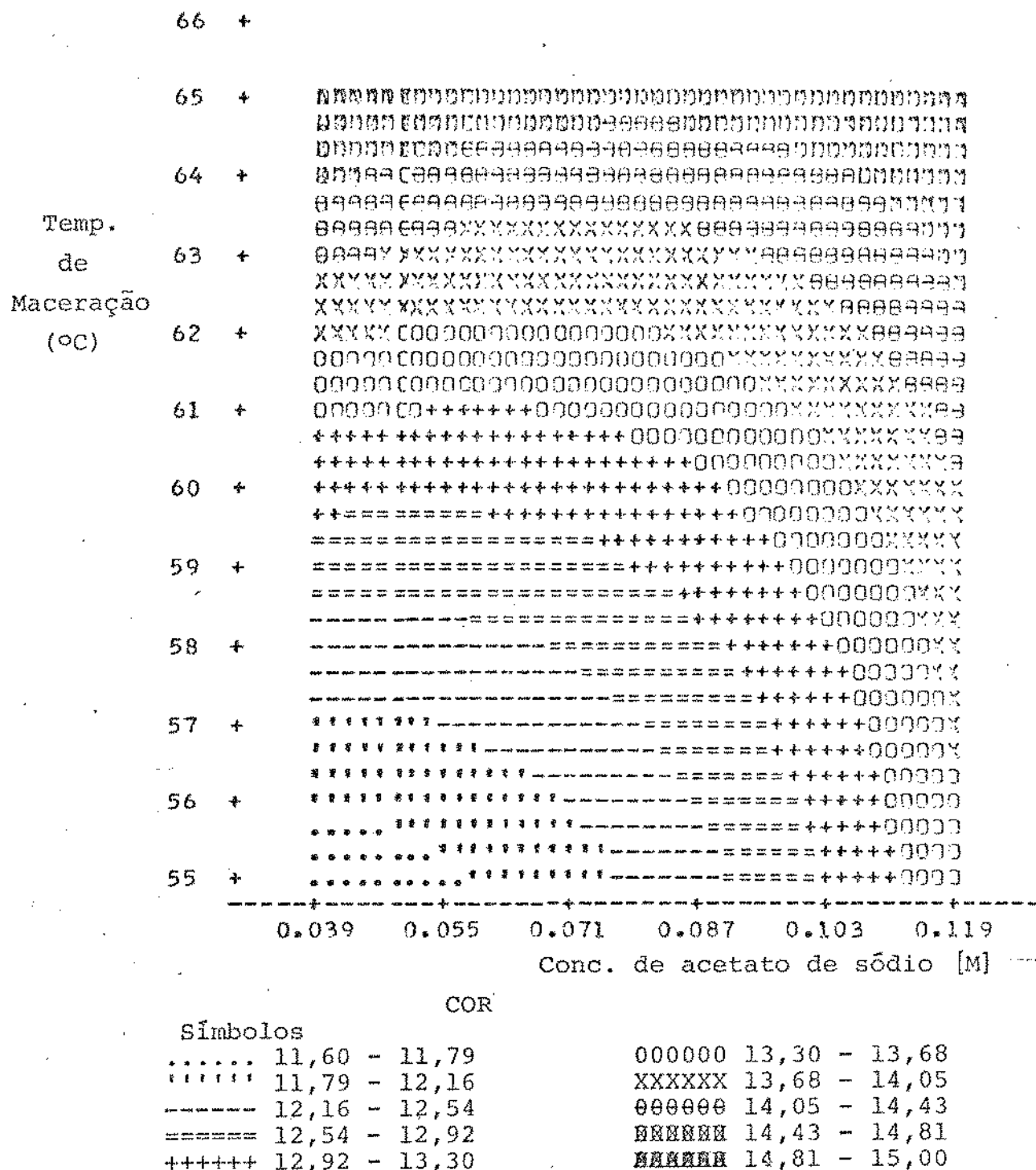
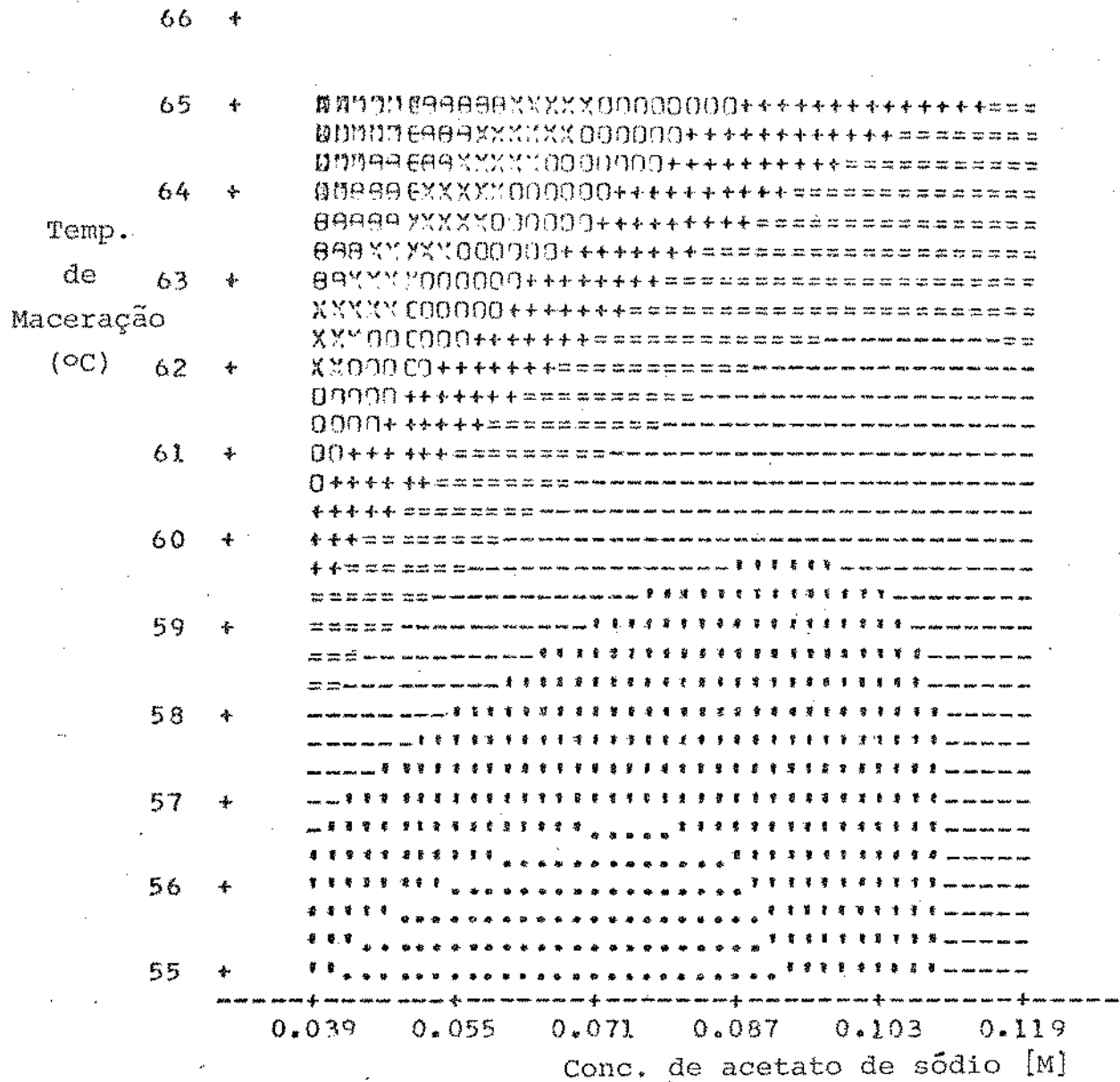


Figura 21 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 40,0°C

(15,00 D.E.) a 65,0°C e 0,120M de acetato de sódio. Estes resultados indicaram que aumentos da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio causaram aumentos na cor do arroz parboilizado.

A cor do arroz parboilizado a 31,00 e 32,00% de absorção de água e seco a 40,0°C apresentou curvas de nível com valores crescentes em função dos aumentos da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio. A Figura 22 mostra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz parboilizado para 31,00% de absorção de água. Os menores níveis da cor (11,60 D.E.) foram obtidos a 55,0°C e 0,040M de acetato de sódio e enquanto o valor máximo da cor (14,80 D.E.) foi obtido a 65,0°C de temperatura de maceração e 0,120 M de acetato de sódio. Assim, o aumento na absorção de água, temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio provocou um escurecimento no arroz parboilizado. Menores valores destas variáveis tornaram a cor do arroz parboilizado mais próxima à do arroz polido.

O efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz parboilizado para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 60,0°C esta mostrado na Figura 23. As curvas de nível para cor do arroz parboilizado apresentaram formas de parábolas inclinadas com os valores da cor aumentando mais rapidamente com incrementos da temperatura de maceração que com os aumentos da concentração de acetato de



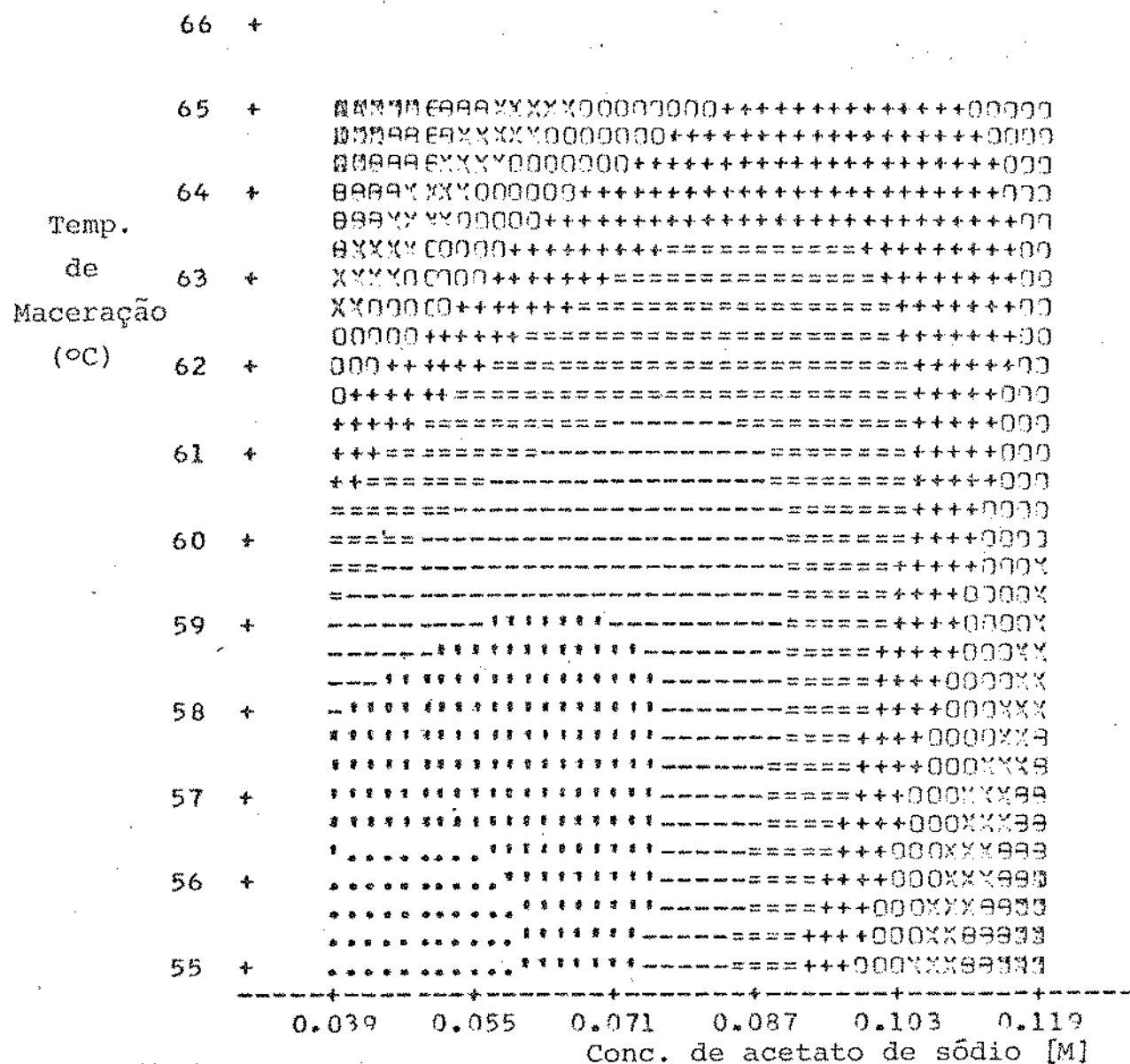
SÍMBOLOS		COR	
.....	12,08 - 12,22	000000	13,41 - 13,70
	12,22 - 12,52	XXXXXX	13,70 - 14,00
-----	12,52 - 12,82	000000	14,00 - 14,30
=====	12,82 - 13,11	000000	14,30 - 14,59
+++++	13,11 - 13,41	000000	14,59 - 14,74

Figura 23 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 60,0°C

sódio. Os menores valores da cor (12,00 D.E.) foram obtidos a temperaturas de maceração menores que 56,4°C e entre 0,040 e 0,050 M de acetato de sódio. Altas temperaturas de maceração (65,0°C) e 0,040 M de acetato de sódio resultaram em valores mais elevados para a cor do arroz parboilizado (14,70 D.E.).

O arroz parboilizado a 31,00 e 32,00% de absorção de água e seco a 60,0°C, apresentou superfícies de resposta com formas parabólicas inclinadas. Os valores da cor do arroz parboilizado aumentaram com os valores da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio. A Figura 24 mostra que para 31,00% de absorção de água e temperatura de secagem de 60,0°C, os menores valores da cor do arroz parboilizado (13,70 D.E.) foram encontrados a 55,0°C de temperatura de maceração e 0,040 M de acetato de sódio. Os maiores valores da cor (15,00 D.E.) do arroz parboilizado foram atingidos a 65,0°C; 0,039 M e 55,0°C; 0,120 M para temperaturas de maceração e concentração de acetato de sódio, respectivamente. O aumento da temperatura de secagem proporcionou ao grão de arroz uma cor mais amarelada, que foi mais evidente com aumento da absorção de água.

A Figura 25 mostra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz parboilizado para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 80,0°C. As curvas de nível da cor do arroz parboilizado apresentaram os menores valores para maiores concentrações de acetato de sódio e tiveram pouca variação com os aumentos na temperatura de



SÍMBOLOS		COR	
.....	13,72 - 13,81	000000	14,49 - 14,66
	13,81 - 13,98	XXXXXX	14,66 - 14,83
-----	13,98 - 14,15	000000	14,83 - 14,99
=====	14,15 - 14,32	000000	14,99 - 15,16
++++++	14,32 - 14,49	000000	15,16 - 15,25

Figura 24 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 60,0°C

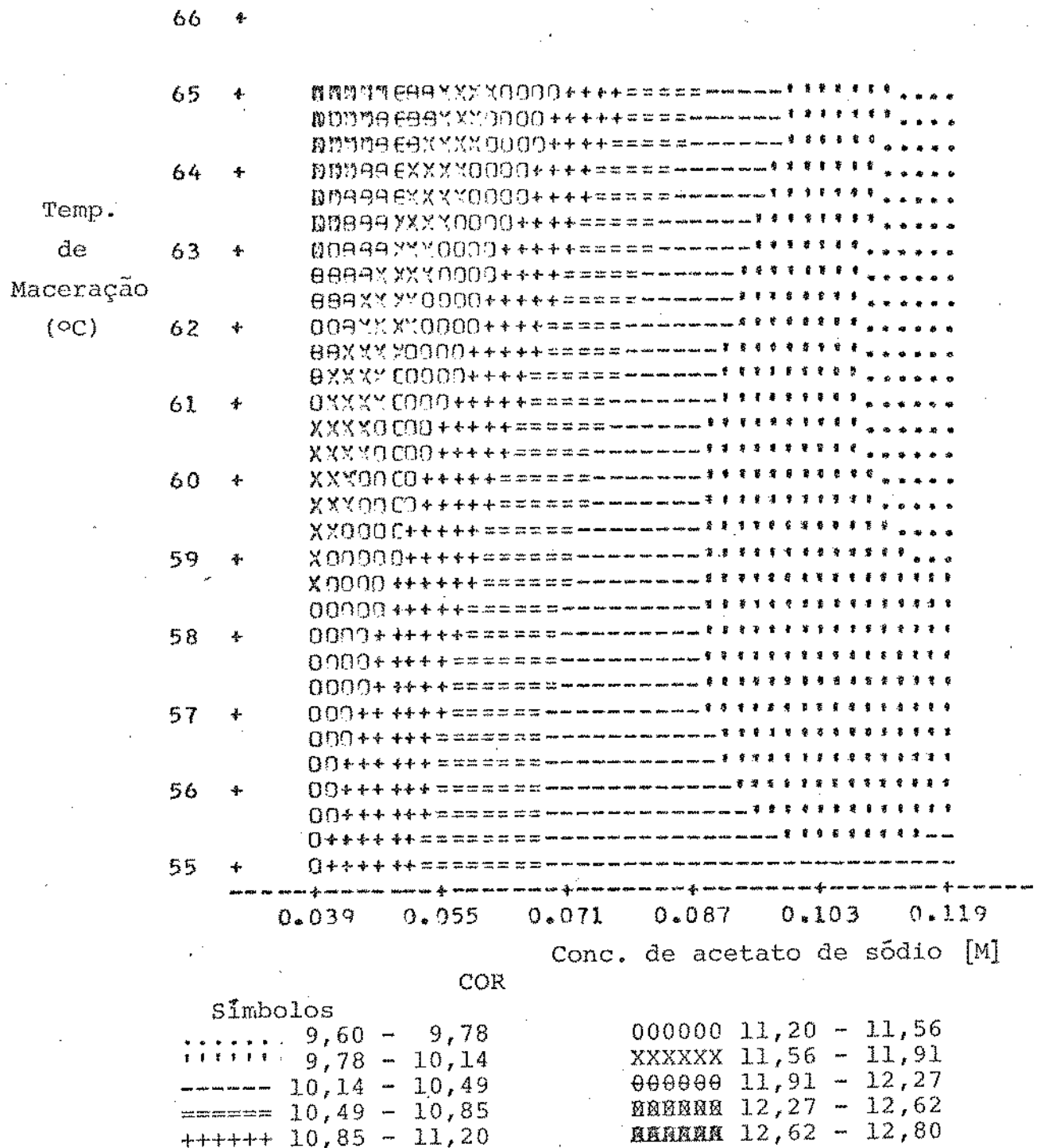


Figura 25 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 29,00% e temperatura de secagem de 80,0°C

maceração. Os menores valores da cor (9,60 D.E.) foram encontrados a 0,120 M de acetato de sódio e temperatura de maceração maiores que 59,0°C, enquanto os maiores valores da cor (12,80 D.E.) foram obtidos a 0,040 M de acetato de sódio e temperaturas de 65,0°C. O arroz parboilizado com 31,00 ou 32,00% de absorção de água e seco a 80,0°C, apresentou menores valores da cor a maiores temperaturas de maceração e concentração de acetato de sódio.

A Figura 26 mostra o efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz parboilizado com 31,00% de absorção de água e temperatura de secagem de 80,0°C. Os valores das curvas de nível da cor do arroz parboilizado decresceram com o aumento da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio. Os resultados obtidos mostraram que na temperatura de secagem de 80,0°C, nas condições experimentais de absorção de água, a cor do arroz foi amarelada, aumentando com incrementos da absorção de água pelo grão. Menores valores da cor do arroz foram obtidos com 29,00% de água (9,60 D.E.), seguido de 31,00% (12,50% D.E.) e 32,00% de água (15,2 D.E.).

Os resultados obtidos mostraram que aumentos da temperatura de maceração e absorção de água provocaram cores amareladas no arroz parboilizado. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Jayanarayanan (1965) e Duval (1980). É provável que o desenvolvimento da cor durante o processamento te

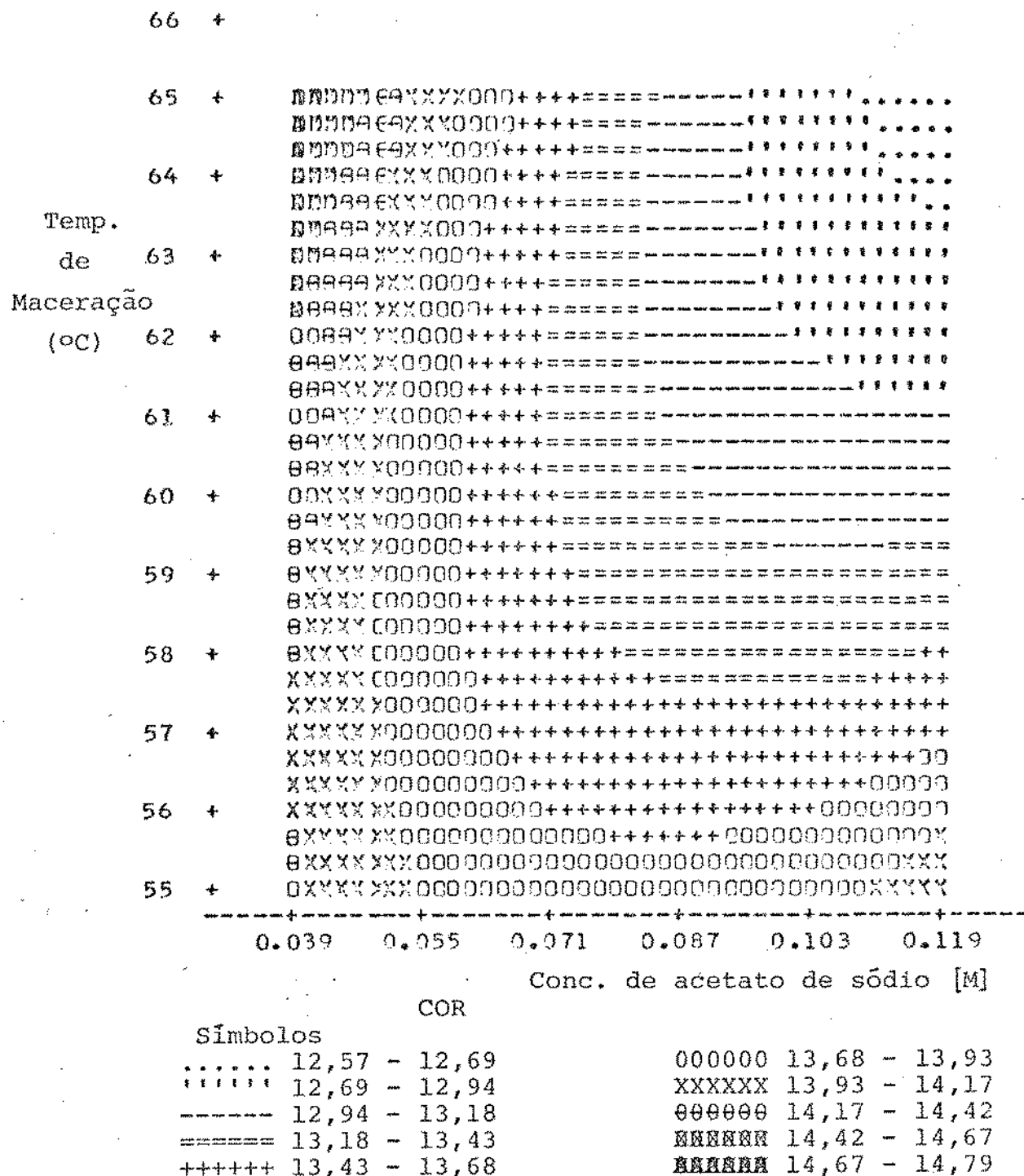


Figura 26 Efeito da temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio na cor do arroz para absorção de água de 31,00% e temperatura de secagem de 80,0°C.

nha sido decorrente da reação entre grupos aminos livres e açúcares redutores que difundiram da casca para o endosperma durante a maceração. A obtenção de arroz parboilizado mais escuro com concentrações crescentes de acetato de sódio pode ter sido decorrente do efeito catalítico do anion na reação entre açúcares redutores e grupos aminos livres (Bobbio, 1971).

4.3. Arroz parboilizado por microondas

Neste processo de parboilização foi estudado o efeito das variáveis: absorção de água, temperatura de maceração e tempo de radiação nas características tecnológicas do arroz parboilizado: rendimento em grãos inteiro no beneficiamento, tempo de cozimento e cor do arroz parboilizado.

4.3.1. Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento

Os rendimentos em grãos inteiros no beneficiamento estão apresentados na Tabela 20. Estes dados foram utilizados para determinação dos coeficientes do modelo matemático, ajustado de acordo com a equação de expansão de Taylor, e estão mostrados na Tabela 21.

A Tabela 22 mostra a análise de variância para o modelo matemático que expressa o rendimento em grãos inteiros no beneficiamento em função das variáveis independentes. O teste F mostrou que o ajuste do modelo foi significativo ao nível de 1% de probabilidade. Os termos lineares e quadráticos do modelo foram significativos.

Tabela 20 Rendimento em grãos inteiros no beneficiamento do arroz parboilizado obtido nas diferentes condições experimentais

OBS	ABS	MAC	RAD	REN (Exp)	REN (MSR)
1	29,0	40,0	4	34,19	38,01
2	29,0	55,0	8	56,81	61,47
3	29,0	70,0	6	47,37	53,19
4	29,5	55,0	6	65,31	58,45
5	30,0	40,0	8	60,34	58,94
6	30,0	70,0	4	43,77	46,49
7	30,0	55,0	6	59,58	62,99
8	30,0	47,5	6	59,24	56,71
9	30,0	62,5	6	58,05	57,81
10	30,0	55,0	5	68,95	64,03
11	30,0	55,0	7	69,20	71,35
12	30,5	55,0	6	61,07	65,17
13	31,0	40,0	6	65,26	64,44
14	31,0	55,0	4	60,33	60,27
15	31,0	70,0	8	66,22	68,28

ABS = Absorção de água (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

RAD = Tempo de radiação (min)

REN (Exp) = Rendimento no beneficiamento, experimental (%)

REN (MSR)= Rendimento no beneficiamento, dado pelo MSR (%)

Tabela 21 Coeficiente da equação de regressão para rendimento em grãos inteiros no beneficiamento (Y_1)

Coeficientes		Valores
β_0	(Intercepto)	-5.602,51
β_1	ABS	327,24
β_2	MAC	56,92
β_3	RAD	-307,41
β_{11}	ABSxABS	-4,72
β_{22}	MACxMAC	-0,10
β_{33}	RADxRAD	4,70
β_{12}	ABSxMAC	-1,56
β_{13}	ABSxRAD	8,11
β_{23}	MACxRAD	0,21

ABS = Absorção de água pelo grão (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

RAD = Tempo de irradiação (min)

Tabela 22 Análise de Variância do modelo ajustado para rendimento em grãos inteiros

Fonte	G.L.	S.Q.	Q.M.	F(obs)	F(tab)
Modelo	9	1755,16	195,02	7,31	4,03**
Linear	(3)	(1250,04)	(416,68)	15,63	5,56**
Quadrático	(3)	(396,94)	(132,31)	4,96	3,34*
Prod. Cruzados	(3)	(108,18)	(36,06)	1,35	3,34*
Resíduos	14	373,25	26,66	-	-
Falta de ajuste	(5)	(173,22)	(34,64)	1,559	2,96*
Erro puro	(9)	(200,03)	(22,23)	-	-
Total Corrigido	23	2128,41	-	-	-

* 5% de significância

** 1% de significância

G.L. = Grau de liberdade

S.Q. = Somatória de quadrados

Q.M. = Quadrado médio

F. = Teste F.

tivos ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, enquanto os termos produtos cruzados não foram significativos. O modelo apresentou uma falta de ajuste não significativo ao nível de 5% de probabilidade e a análise de resíduo não apresentou anormalidades, indicando que o modelo teve um bom ajuste.

A análise de regressão do modelo mostrada na Tabela 23 confirmou os resultados obtidos através da análise de variância. O modelo matemático ajustado apresentou uma correlação múltipla de 82% indicando bom ajuste e o coeficiente de variação experimental foi de 9,0% estando dentro do nível aceito para este tipo de experimento (Pimentel, 1970).

A Tabela 24 mostra a contribuição das variáveis no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento. O teste F mostrou que as variáveis que controlaram o rendimento em grãos inteiros foram a absorção de água e o tempo de radiação.

As Figuras 27 a 29 ilustram o efeito de absorção de água e temperatura de maceração no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento para diferentes tempos de radiação.

A Figura 27 mostra o efeito da temperatura de maceração e absorção de água para um tempo de radiação de 4 min. Aumentos na absorção de água nas temperaturas de maceração entre 40,0 e 52,0°C elevaram as curvas de nível de rendimento em grãos inteiros no beneficiamento. Para temperaturas de maceração maiores que 52,0°C a diminuição da absorção de água elevou os rendimentos no beneficiamento até 75,00%. Os menores rendimentos de

Tabela 23 Análise de regressão do modelo para rendimento em grãos
 inteiros

Coefficiente de correlação múltipla (R^2)	0,82
Variação explicado pelo modelo	82,00%
Variação explicada pelo erro experimental	9,00%
Rendimento médio em grãos inteiros	58,35%

Tabela 24 Contribuição das variáveis independentes no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento

FATOR	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fo	Probabilidade (F>Fo) = α
ABS	4	682,74	170,68	6,40	0,004
MAC	4	248,58	62,14	2,33	0,107
RAD	4	784,44	196,11	7,36	0,002

G.L. = Grau de liberdade
S.Q. = Somatória de quadrados
Q.M. = Quadrado médio
F. = Teste F.

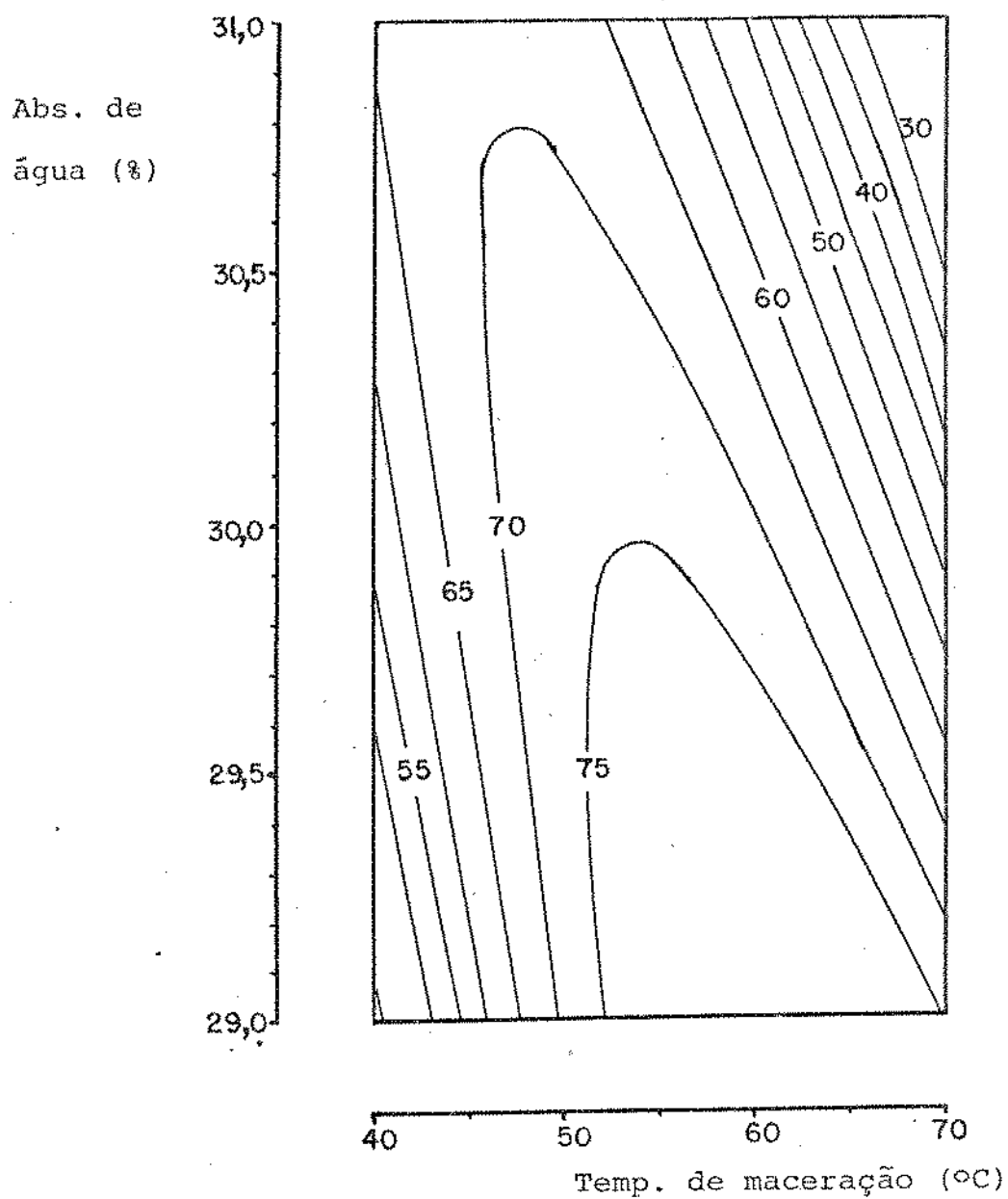


Figura 27 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração no rendimento após beneficiamento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 4 min.

grãos inteiros foram encontrados nos extremos inferiores e superiores da absorção de água e temperatura de maceração.

O efeito de absorção de água pelo grão e da temperatura de maceração no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento para tempos de radiação de 6 min estão mostrados na Figura 28. Para temperatura de maceração entre 40,0 e 60,0°C aumentos na absorção de água elevaram os rendimentos em grãos inteiros até 69,00%. Para temperaturas de maceração maiores que 60,0°C a diminuição da absorção de água aumentou os rendimentos do beneficiamento até 60,00%. Os menores rendimentos no beneficiamento foram encontrados para a absorção de água e temperatura de maceração de 29,0% e 40,0°C ou 31,0% e 70,0°C.

A Figura 29 mostra o efeito da temperatura de maceração e absorção de água no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento para tempos de radiação de 8 min. As curvas do nível do rendimento no beneficiamento foram semelhantes às aquelas observadas com 6 min de radiação. Nas condições do experimento o rendimento aumentou com a absorção de água e temperatura de maceração, atingindo níveis de 75,0%.

Estes resultados mostraram que aumentos no tempo de radiação proporcionaram maiores superfícies de resposta com altos rendimentos no beneficiamento. É provável que radiação por tempos mais longos tenha causado uma gelatinização mais extensa, que soldou as fissuras existentes e, ao mesmo tempo, provocou uma secagem adequada. Foram observados, também, altos rendimentos

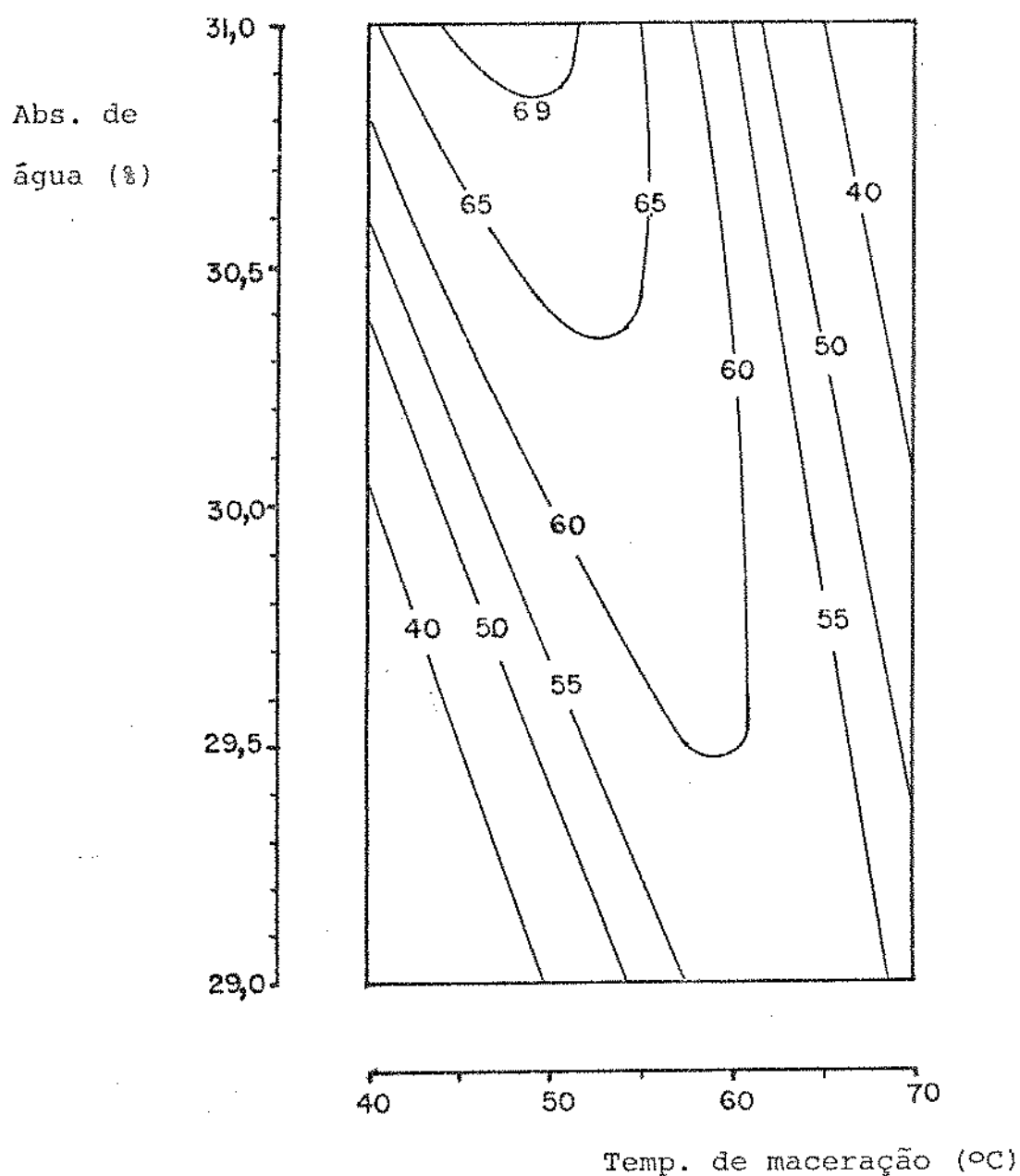


Figura 28 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração no rendimento após beneficiamento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 6 min.

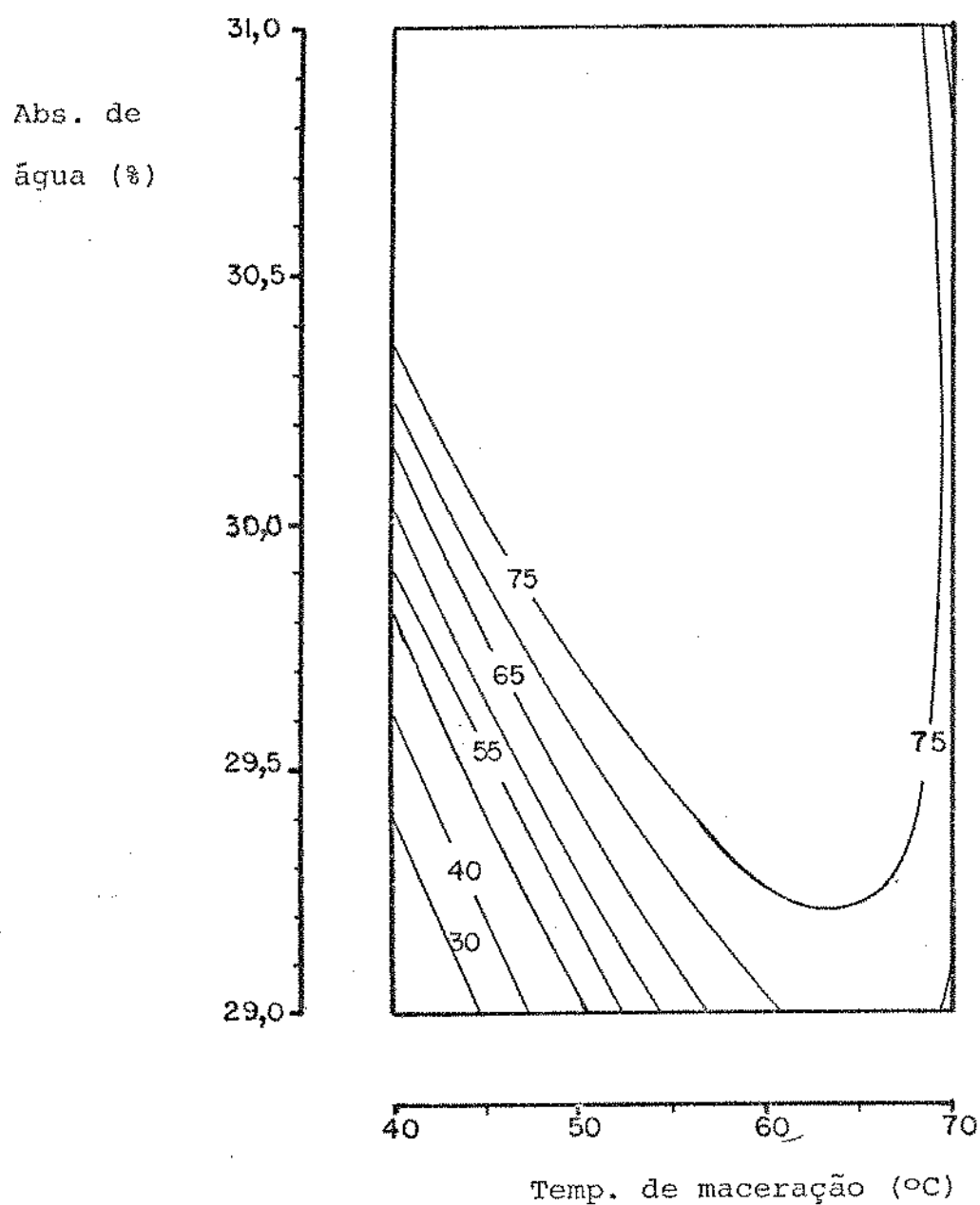


Figura 29 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração no rendimento após beneficiamento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 8 min.

para umidades e temperaturas de maceração intermediárias enquanto os valores extremos destas variáveis causaram um decréscimo no rendimento. O decréscimo no rendimento com baixa absorção de água foi provavelmente devido a uma limitação na gelatinização que não proporcionou a eliminação das fissuras, tornando o grão pouco resistente às tensões desenvolvidas no beneficiamento. É provável que o baixo rendimento observado para os maiores valores de temperatura de maceração e absorção de água tenha sido decorrente da gelatinização durante a maceração. Assim na etapa de radiação ocorreu, preponderantemente, a desidratação provocando tensões e fissuras no grão.

Os altos rendimentos em grãos inteiros obtidos no processo de parboilização por microondas foram semelhantes àqueles encontrados por pesquisadores como Matthews et Al (1971) e Roberts (1977).

4.3.2. Tempo de cozimento do arroz parboilizado

A Tabela 25 mostra os tempos de cozimento experimentais que foram usados para o ajuste do modelo matemático, cujos coeficientes são mostrados na Tabela 26.

A Tabela 27 mostra os resultados da análise de variância realizada para o modelo que expressa o tempo de cozimento em função das variáveis independentes. O modelo foi basicamente explicado pelos termos lineares. A falta de ajuste do modelo pode ser considerado não significativa e a análise de resíduos não de

Tabela 25 Tempo de cozimento do arroz parboilizado
obtido nas diferentes condições experi-
mentais

OBS	ABS	MAC	RAD	T.COZ (Exp)	T.COZ. (MSR)
1	29,0	40,0	4	23,25	26,91
2	29,0	55,0	8	21,10	28,38
3	29,0	70,0	6	20,60	25,88
4	29,5	55,0	6	21,15	27,62
5	30,0	40,0	8	21,40	29,95
6	30,0	70,0	4	22,00	25,08
7	30,0	55,0	6	21,60	27,13
8	30,0	47,5	6	22,40	27,23
9	30,0	62,5	6	19,60	26,42
10	30,0	55,0	5	21,55	26,11
11	30,0	55,0	7	20,65	27,75
12	30,5	55,0	6	22,50	27,69
13	31,0	40,0	6	22,00	27,62
14	31,0	55,0	4	21,55	25,24
15	31,0	70,0	8	20,80	28,69

ABS = Absorção de água (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

RAD = Tempo de radiação (min)

T. COZ (Exp) = Tempo de cozimento, experimental (min)

T. COZ (MSR) = Tempo de cozimento, dado pelo MSR (min)

Tabela 26 Coeficientes da equação de regressão para tempo de cozimento do arroz parboilizado

Coeficientes		Valores de (Y_2)
β_0	Intercepto	2167,53
β_1	ABS	-136,54
β_2	MAC	-1,55
β_3	RAD	-18,16
β_{11}	ABSxABS	2,12
β_{22}	MACxMAC	-0,005
β_{33}	RADxRAD	-0,20
β_{12}	ABSxMAC	0,09
β_{13}	ABSxRAD	0,82
β_{23}	MACxRAD	-0,08

ABS = Absorção de água pelo grão (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

RAD = Tempo de irradiação (min)

Tabela 27 Análise de variância do modelo ajustado para Tempo de Cozimento do arroz parboilizado por microondas

Fonte	G.L.	S.Q.	Q.M.	F(obs)	F(tab)
Modelo	9	11,05	1,23	2,52	2,65*
Linear	(3)	(6,86)	(2,29)	4,70	3,34*
Quadrático	(3)	(1,56)	(0,52)	1,06	3,34*
Prod. Cruzados	(3)	(2,63)	(0,88)	1,80	3,34*
Resíduos	14	6,82	0,49	-	-
Falta de Ajuste	(5)	(5,33)	(1,07)	6,438	4,69**
Erro puro	(9)	(1,49)	(0,17)	-	-
Total corrigido	23	17,87	-	-	-

* 5% de significância

** 1% de significância

G.L. = Grau de liberdade

S.Q. = Somatória de quadrados

Q.M. = Quadrado médio

F. = Teste F.

tectou falhas no modelo, indicando que o modelo ajustado foi adequado.

A análise de regressão da Tabela 28 mostrou que o coeficiente de correlação múltipla (R^2) foi 0,62, indicando que 62,0% de variação foi explicado pelo modelo matemático ajustado. Este resultado em conjunção com a baixa variação experimental (3,0%) confirmou a adequação do modelo. A Tabela 29 mostra que a temperatura de maceração teve maior influência no tempo de cozimento que as outras variáveis.

As Figuras 30 a 32 ilustram o efeito das variáveis sobre o tempo de cozimento do arroz parboilizado por microondas.

O efeito da absorção de água e temperatura de maceração no tempo de cozimento, para um tempo de radiação de 4 min está mostrado na Figura 30. As superfícies de resposta apresentaram distorções de forma hiperbólica, onde os menores tempos de cozimento foram observados para temperaturas de maceração menores que 56,8°C e valores de absorção de água entre 29,4 e 31,0%. No centro da hipérbole os tempos de cozimento foram entre 20,70 e 21,50 min. Para a temperatura de maceração maiores que 56,8°C os tempos de cozimento aumentaram quando a absorção de água variou do centro da hipérbole para as extremidades.

A Figura 31 ilustra o efeito da absorção de água e temperatura de maceração sobre o tempo de cozimento a 6 min de radiação. As curvas de nível formaram hipérboles cujo centro apresentou tempos de cozimento entre 20,97 e 21,54 min. Variações na

Tabela 28 Análise de Regressão para o modelo de Tempo de Cozimento
do arroz parboilizado por microondas

Coefficiente de correlação múltipla (R^2)	0,62
Varição explicada pelo modelo	62,0%
Varição explicada do erro experimental	3,0%
Tempo médio de cozimento	21,51 min

Tabela 29 Contribuição das variáveis no Tempo de Cozimento do
arroz parboilizado por microondas

Fator	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fo	Probabilidade (F>Fo) = α
ABS	4	2,91	0,73	1,50	0,26
MAC	4	6,21	1,55	3,19	0,05
RAD	4	2,79	0,63	1,43	0,27

G.L. = Grau de liberdade
S.Q. = Somatória de quadrados
Q.M. = Quadrado médio
F. = Teste F.

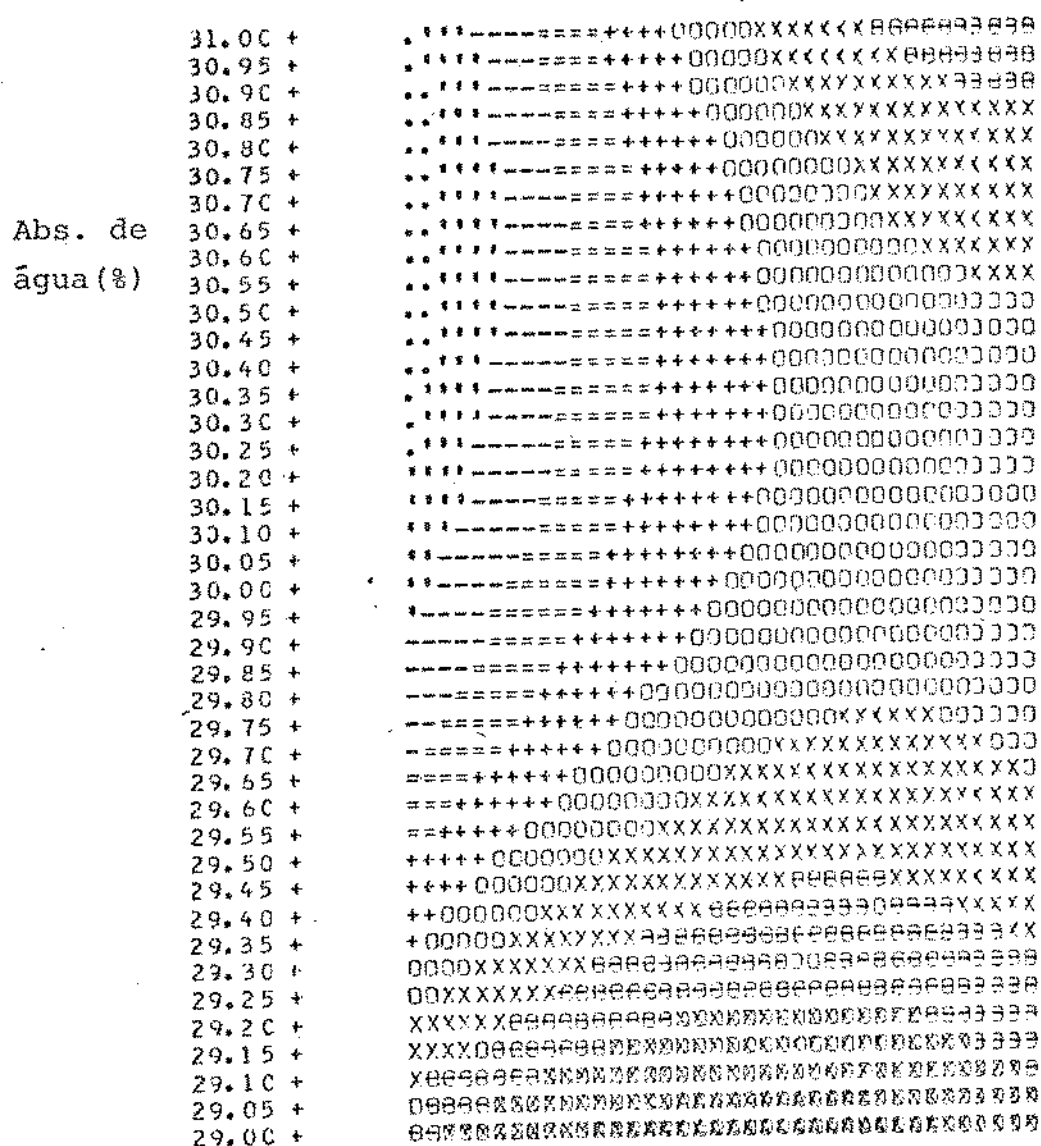


Figura 30 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração no tempo de cozimento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 4 min.

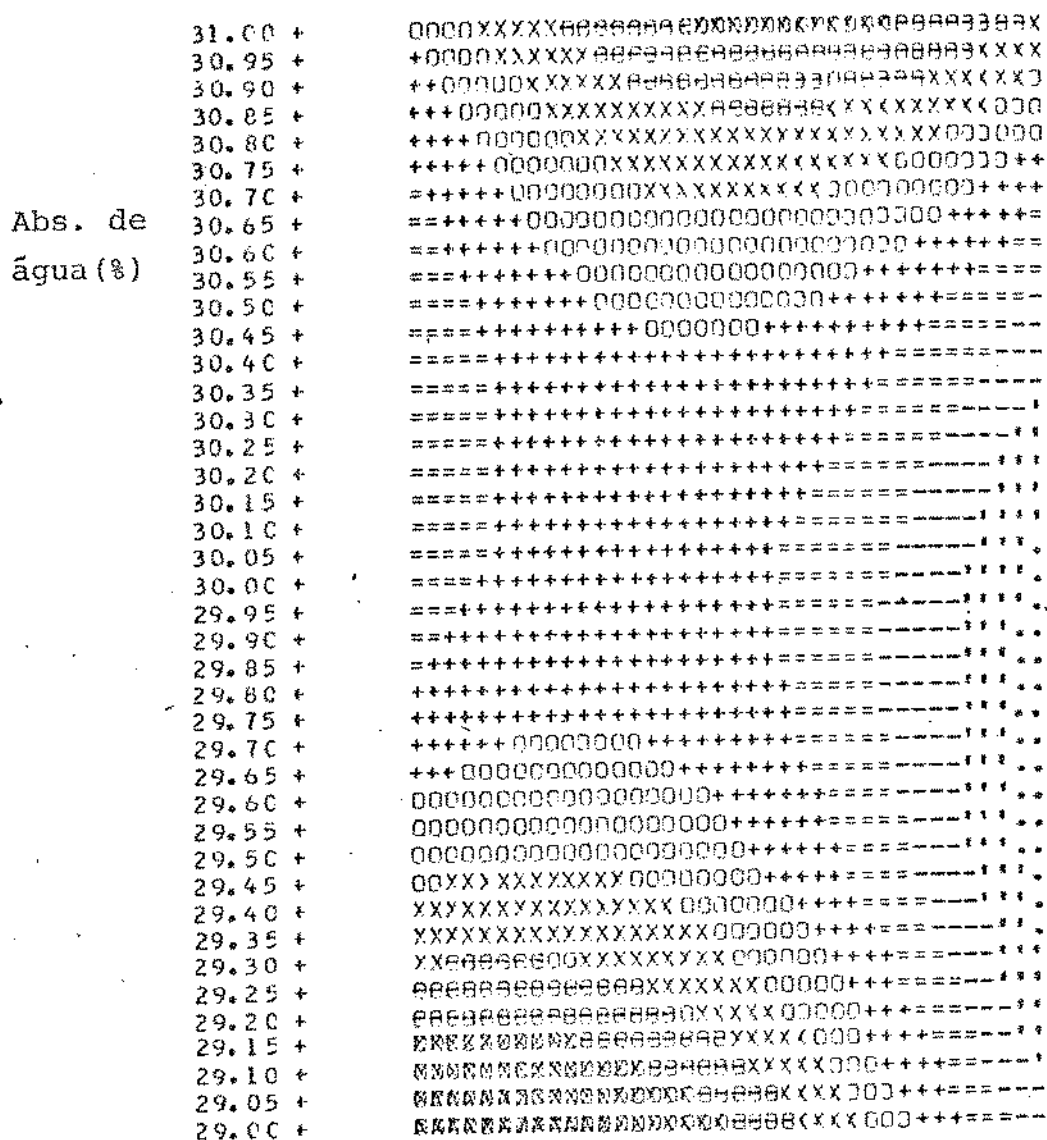


Figura 31 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração no tempo de cozimento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 6 min.

temperatura de maceração sobre o eixo das abscissas da hipérbole provocaram diminuição no tempo de cozimento, enquanto variações sobre o eixo das ordenadas causaram aumentos nesta variável.

A Figura 32 mostra o efeito da temperatura de maceração e absorção de água no tempo de cozimento para tempos de radiação de 8 min. As curvas de nível de tempo de cozimento foram semelhantes àsquelas obtidas com 6 min de radiação. Os menores tempos de cozimento foram obtidos com temperaturas de maceração de 68,0°C e absorção de água entre 29,0 e 30,2%.

Os resultados obtidos indicaram que a temperatura de maceração e o tempo de radiação influenciaram marcadamente no tempo de cozimento. Aumentos no tempo de radiação de microondas provocaram diminuição nos tempos de cozimento. Provavelmente o cozimento e desidratação simultâneas, realizada do interior para o exterior do grão, provocaram uma maior porosidade, facilitando a reidratação e conseqüentemente diminuição dos tempos de cozimento. Maurer et al (1971) conseguiram reduzir pela metade o tempo de cozimento de pastas secas com microondas. Resultados similares foram encontrados por Huxsoll e Morgan (1968) na produção de arroz instantâneo. O processamento por microondas melhorou notavelmente as características de hidratação durante o cozimento do arroz parboilizado em relação àqueles obtidos pelo processo convencional.

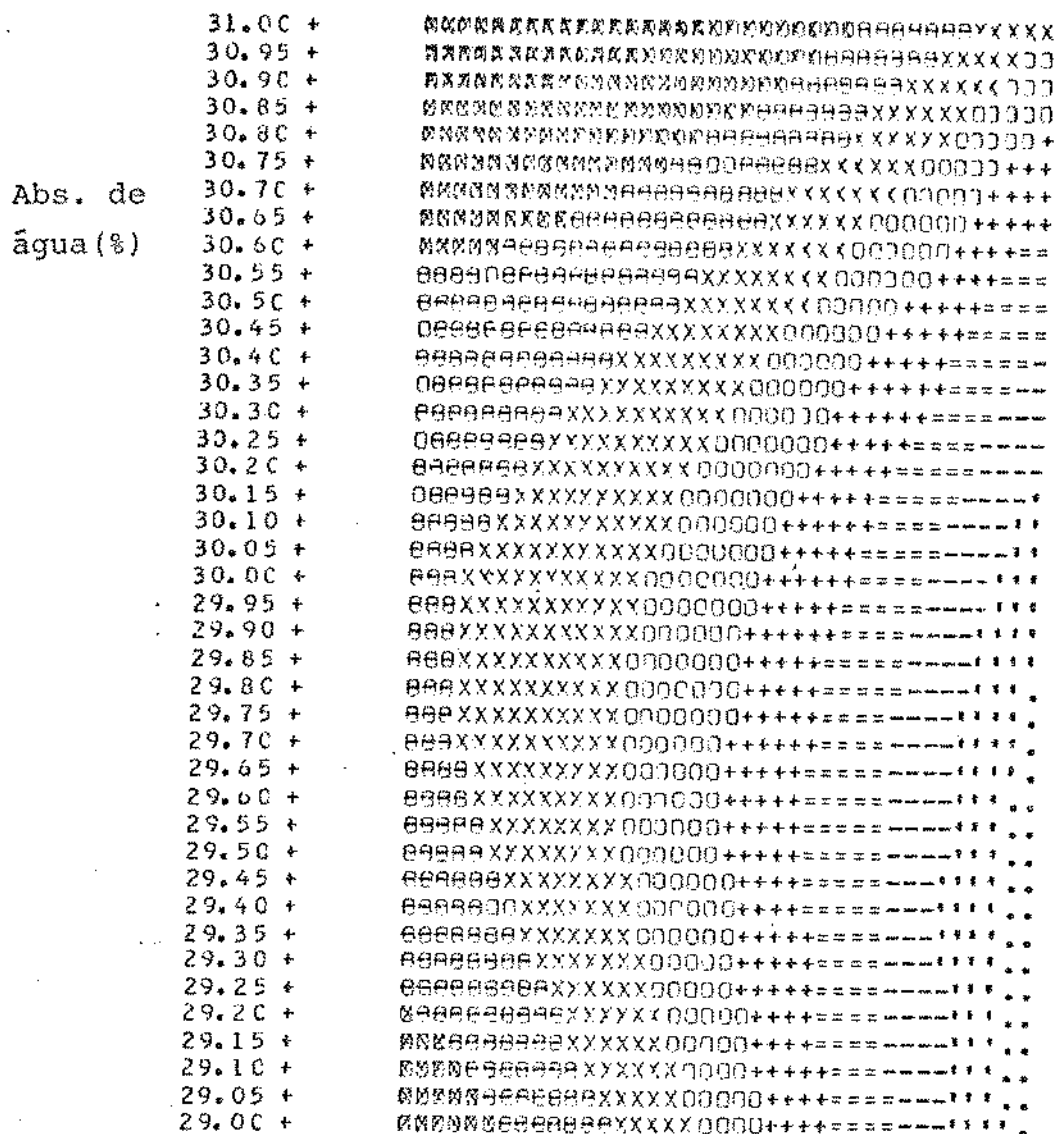


Figura 32 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração no tempo de cozimento do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 8 min.

4.3.3. Cor do arroz parboilizado

Os resultados obtidos na determinação da cor do arroz parboilizado estão mostrados na Tabela 30. Os coeficientes do modelo matemático que expressa o efeito das variáveis independentes na cor do arroz parboilizado estão na Tabela 31. A análise de variância, mostrado na Tabela 32, indicou que o modelo ajustado, foi significativo ao nível de 1% de probabilidade. A falta de ajuste não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. A análise de resíduos não detectou falhas no modelo, indicando que o modelo matemático pode ser considerado bem ajustado. Esta análise também revelou que o modelo foi mais afetado pelos termos lineares, com um nível de significância de 1% de probabilidade, seguido dos termos quadráticos e produtos cruzados.

A análise de regressão da Tabela 33 mostra que o coeficiente de correlação (R^2) do modelo foi de 0,75 indicando que uma correlação de 75,0% pode ser explicada pelo modelo. O coeficiente de variação foi de 8,0%. Estes resultados demonstraram a adequação do modelo ajustado para cor do arroz parboilizado por processo de microondas.

A Tabela 34 mostra a contribuição de cada uma das variáveis na cor do arroz parboilizado. O teste F indicou que a temperatura de maceração teve maior influência na cor do arroz que as variáveis: absorção de água e tempo de radiação.

As Figuras de 33 a 35 ilustram, em detalhes, o efeito das variáveis independentes na cor do arroz parboilizado pelo

Tabela 30 Cor do arroz parboilizado obtido por microondas nas diferentes condições experimentais

OBS	ABS	MAC	RAD	DEC (Exp)	DEC (MSR)
1	29,0	40,0	4	5,90	5,90
2	29,0	55,0	8	7,50	7,10
3	29,0	70,0	6	8,80	7,86
4	29,5	55,0	6	7,80	7,74
5	30,0	40,0	8	6,85	6,77
6	30,0	70,0	4	8,75	8,59
7	30,0	55,0	6	7,95	8,01
8	30,0	47,5	6	8,40	7,02
9	30,0	62,5	6	7,10	7,96
10	30,0	55,0	5	8,40	8,37
11	30,0	55,0	7	8,90	8,40
12	30,5	55,0	6	8,70	8,23
13	31,0	40,0	6	7,00	6,97
14	31,0	55,0	4	8,50	8,04
15	31,0	70,0	8	9,45	8,83

ABS = Absorção de água pelo grão (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

RAD = Tempo de radiação (min)

COR (Exp) = Cor do arroz parboilizado, experimental (D.E.)

COR (MSR) = Cor do arroz parboilizado, dado pelo MSR (D.E.)

Tabela 31 Coeficientes da equação de regressão para cor do arroz parboilizado por processo microondas

Coeficientes		Valores
β_0	Intercepto	-112,97
β_1	ABS	5,95
β_2	MAC	4,31
β_3	RAD	-32,01
β_{11}	ABSxABS	-0,09
β_{22}	MACxMAC	-0,01
β_{33}	RADxRAD	0,38
β_{12}	ABSxMAC	-0,11
β_{13}	ABSxRAD	0,93
β_{23}	MACxRAD	-0,01

ABS = Absorção de água (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

RAD = Temperatura de radiação (min)

Tabela 32 Análise de variância para o modelo ajustado
da cor do arroz parboilizado por processo
microondas

Fonte	G.L.	S.Q.	Q.M.	F(obs)	F(tab)
Modelo	9	17,26	1,92	4,57	4,03**
Linear	(3)	(15,09)	(5,03)	11,98	5,56**
Quadrático	(3)	(1,43)	(0,48)	1,13	3,34*
Prod. Cruzados	(3)	(0,74)	(0,24)	0,58	3,34*
Resíduo	14	5,88	0,42	-	-
Falta de Ajuste	(5)	(3,80)	(0,76)	3,29	2,96*
Erro puro	(9)	(2,08)	(0,23)	-	-
Total corrigido	23	23,14	-	-	-

* 5% de significância

** 1% de significância

G.L. = Grau de liberdade

S.Q. = Somatória de quadrados

Q.M. = Quadrado médio

F. = Teste F.

Tabela 33 Análise de regressão para o modelo da cor do
 arroz parboilizado por processo microondas

Coefficiente de correlação múltipla (R^2)	0,75
Variação explicada pelo modelo	75,00%
Variação explicada pelo erro experimental	8,00%
Média da cor do arroz parboilizado	7,74 D.E.

Tabela 34 Contribuição das variáveis independentes na cor do
arroz parboilizado por processo microondas

Fator	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fo	Probabilidade (F>Fo) = α
ABS	4	4,17	1,04	2,48	0,09
MAC	4	13,07	3,27	7,78	0,002
RAD	4	0,75	0,19	0,44	0,77

ABS = Absorção de água (% b.u.)

MAC = Temperatura de maceração (°C)

RAD = Temperatura de radiação (min)

processo de microondas.

A Figura 33 mostra o efeito da absorção de água e temperatura de maceração na cor do arroz para um tempo de radiação de 4 min. As curvas de nível mostraram que pequenas mudanças na temperatura de maceração causam maiores alterações na cor do arroz parboilizado que aquelas provocadas pelas variações na absorção de água. As curvas de nível, parabólicas, com menores valores da cor do arroz foram observadas para temperaturas de maceração menores que $49,0^{\circ}\text{C}$ não sendo influenciadas pela absorção de água. Baixos valores da cor foram também encontrados para temperaturas de maceração e absorções de água menores que $49,0^{\circ}\text{C}$ e $30,2\%$, respectivamente.

O efeito da temperatura de maceração e absorção de água na cor do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 6 min está mostrado na Figura 34. As curvas de nível da cor tiveram forma de hipérboles inclinadas com os focos no eixo das coordenadas. Pequenos aumentos na temperatura de maceração provocaram grandes variações na cor do arroz parboilizado, enquanto incrementos na absorção de água causaram pequenos aumentos na cor do arroz. Os menores níveis da cor como 2,80 e 5,00 D.E. foram obtidos com absorções de água e temperatura de maceração menores que $30,0\%$ e $46,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

A Figura 35 mostra o efeito da temperatura de maceração e absorção de água na cor do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 8 min. As curvas de nível de forma parabólica

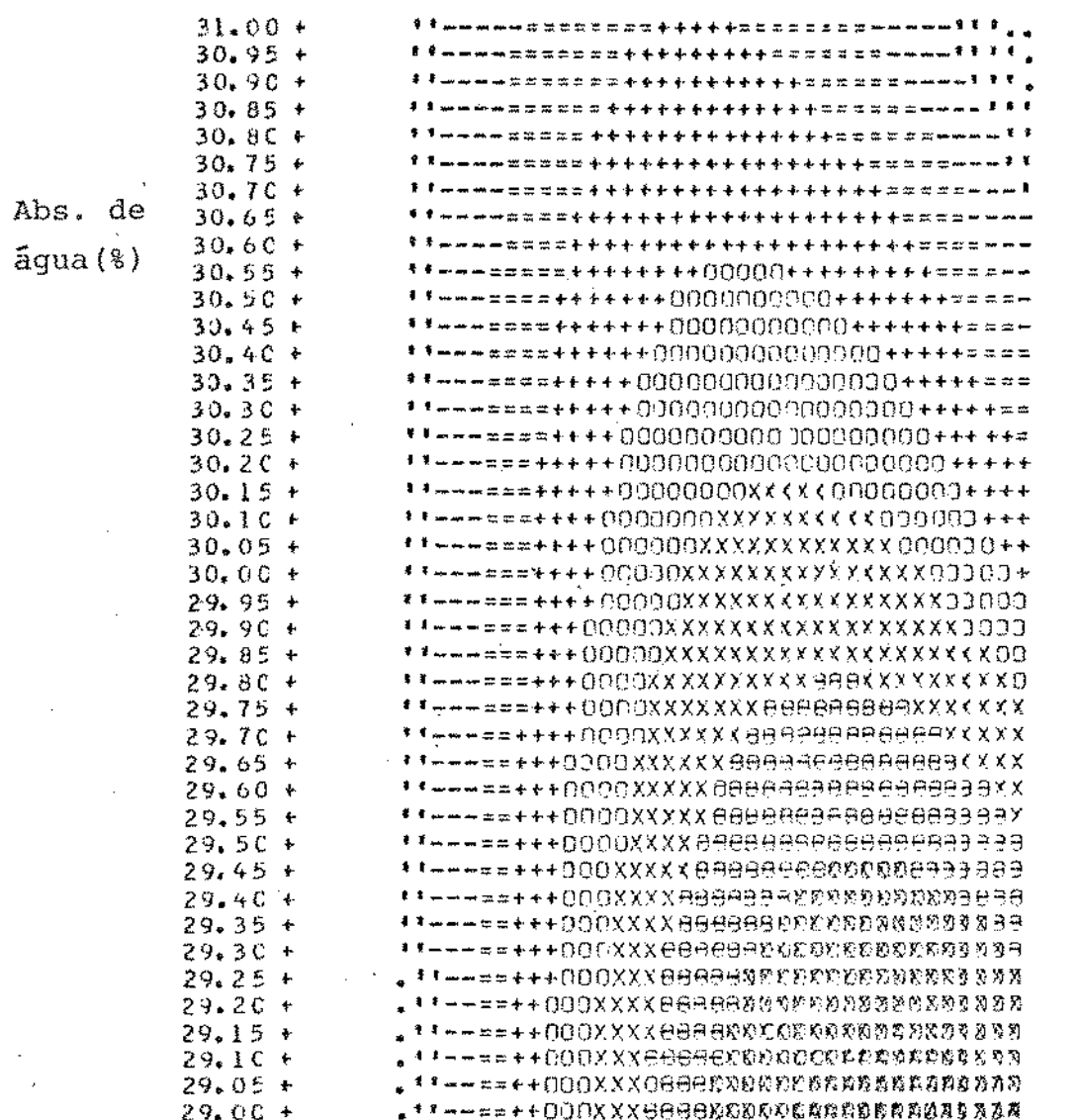


Figura 33 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração na cor do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 4 min.

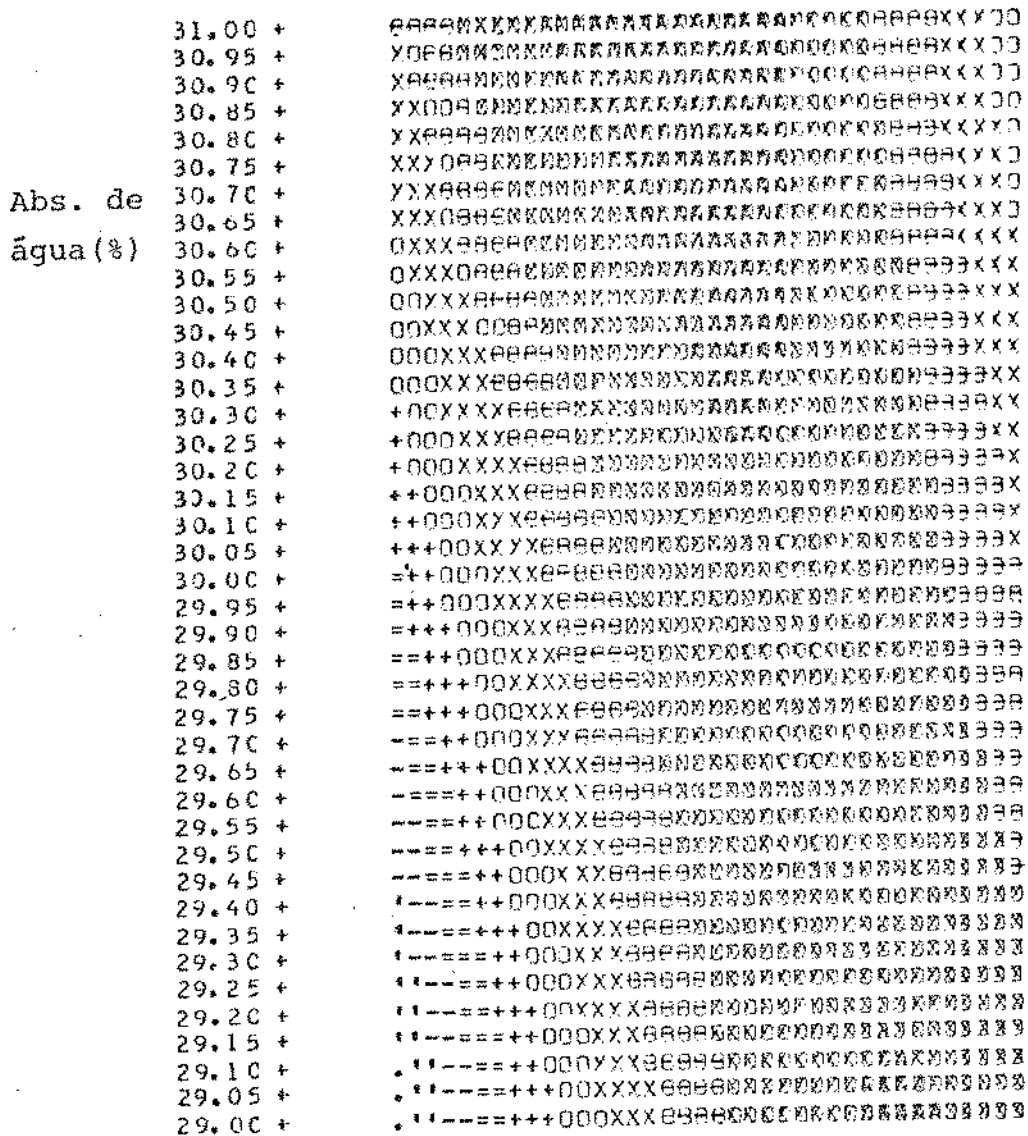


Figura 34 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração na cor do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 6 min.

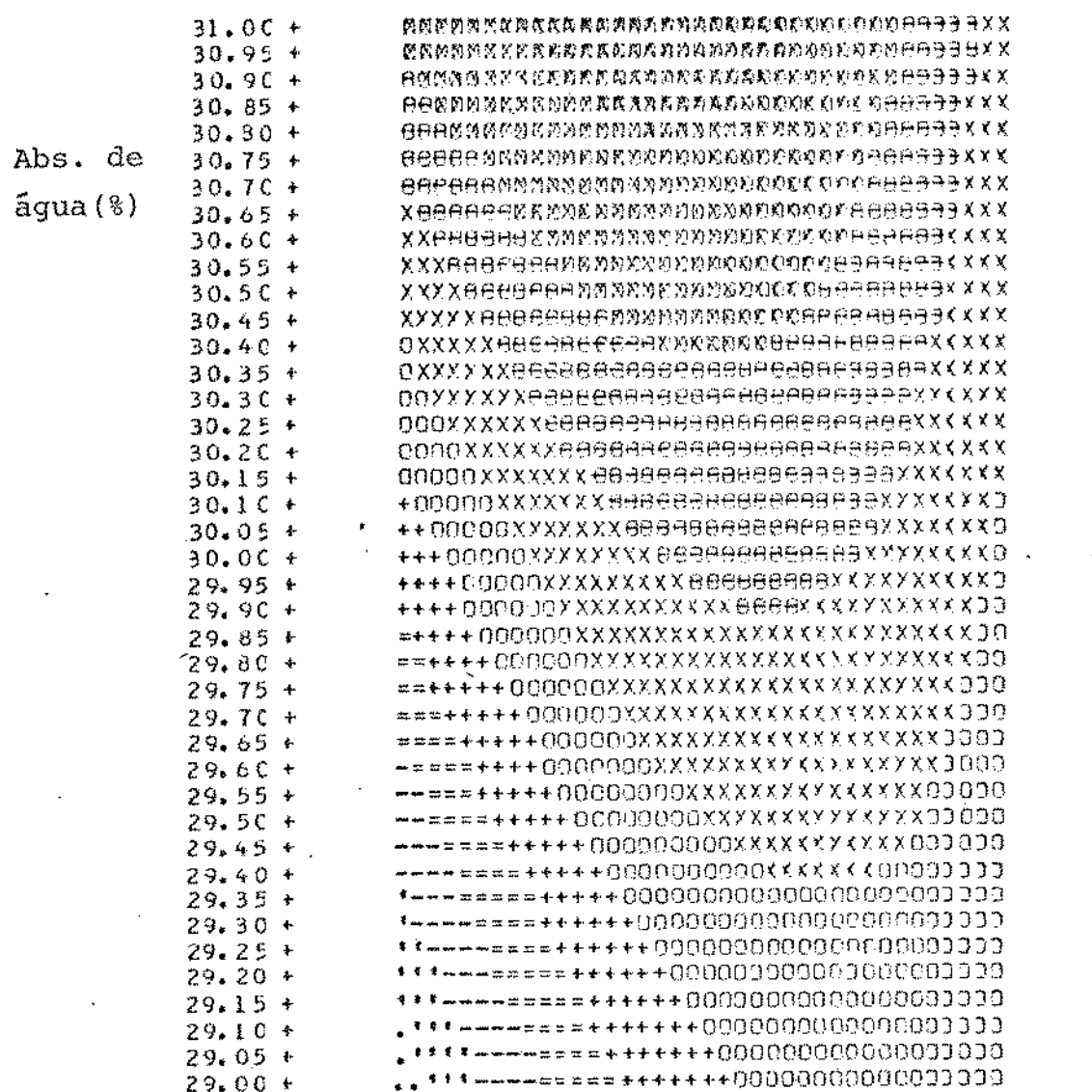


Figura 35 Efeito de absorção de água e temperatura de maceração na cor do arroz parboilizado para um tempo de radiação de 8 min.

mostraram maiores variações para pequenas mudanças na temperatura de maceração que para absorção de água. Aumentos na absorção de água provocaram o escurecimento do arroz parboilizado. Os menores valores para cor do arroz parboilizado (2,73 - 3,20 D.E.) foram obtidos para absorção de água e temperatura de maceração menores que 29,4% e 44,0°C, respectivamente.

Os resultados encontrados no processamento por microondas mostraram que a cor do arroz parboilizado por este processo foi bastante próximo àquela do arroz polido. A rápida transferência de calor do interior para o exterior do grão evitou o escurecimento, comum no processo convencional. Resultados semelhantes foram encontrados por Roberts (1977).

4.4. Efeito da parboilização nas características de rendimento e composição química

O estudo do efeito da parboilização no rendimento e composição química do arroz foi efetuada com amostras de arroz parboilizado pelo processo convencional e por microondas. Estes experimentos foram realizados com amostras que apresentaram as melhores características de qualidade, determinados pelos resultados das superfícies de resposta. A amostra do arroz parboilizado pelo processo convencional foi obtida nas seguintes condições: 30,95% de absorção, 62,5°C de temperatura de maceração, 50,0°C de temperatura de secagem e 0,039 M de acetato de sódio.

O arroz parboilizado por microondas foi obtido nas seguintes condições: 31,0% de absorção de água, 40°C de temperatura de maceração e 6 min de radiação.

Para efeito de comparação foram incluídos nas análises os resultados do rendimento e composição química do arroz polido e integral.

4.4.1. Efeito do beneficiamento no rendimento

A Tabela 35 mostra o efeito do beneficiamento no rendimento do arroz sem tratamento, parboilizado pelo processo convencional e microondas. Estes resultados indicaram que o proceso de parboilização, tanto o convencional como o por microondas, provocou um aumento no rendimento em grãos inteiros no beneficiamento. Resultados semelhantes a estes foram encontrados por (Battacharya e Rao, 1966a; Ali e Battacharya, 1980; Battacharya, 1969; Gariboldi, 1972).

4.4.2. Efeito do processamento na composição química do grão

A Tabela 36 mostra a composição centesimal do arroz integral, polido e parboilizado por processo convencional e microondas. O arroz integral apresentou os maiores teores de proteína em relação aos demais. Não foram observadas diferenças marcantes nos teores de proteínas entre o arroz polido e o parboi-

lizado pelo processo convencional ou microondas. Estes resultados foram semelhantes aos observados por Rao e Juliano (1970) e Gariboldi (1972 e 1974). O processamento de parboilização provocou um aumento no teor de cinzas. O maior teor de cinzas no arroz parboilizado foi explicado por Gariboldi (1972 e 1974) como resultado da difusão de sais minerais durante a maceração, das camadas periféricas para o interior do grão. O menor teor de cinzas no arroz parboilizado por convencional em relação ao microondas pode ter sido causado pela ruptura da casca durante o tratamento com vapor, que provocou perdas dos sais minerais. O teor de fibras também foi maior no arroz integral em relação aos demais. O conteúdo de gordura foi maior no arroz integral, seguido do arroz parboilizado por microondas e convencional.

O conteúdo de vitaminas do complexo B do arroz integral, polido, parboilizado convencionalmente e por microondas está mostrado na Tabela 37. O arroz integral apresentou os maiores teores de vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina). De maneira geral o processo de parboilização causou maiores retenções de vitaminas, provavelmente devido a difusão destes componentes para o endosperma do grão durante a maceração (Gariboldi, 1972 e 1974; Bhattacharya et al, 1966; Jayanarayanan, 1965).

O arroz parboilizado por microondas teve maiores teores de vitaminas que o arroz parboilizado convencionalmente, indicando que neste processo a destruição de vitaminas foi menor.

Tabela 35 Rendimento no beneficiamento do arroz

Componentes	Arroz Polido (%)	Arroz Parboilizado Convencionalmente (%)	Arroz Parboilizado Microondas (%)
Grão Inteiro	55,96	71,73	68,21
Arroz de terceira classe ⁽¹⁾	12,73	1,74	5,99
Casca	29,62	25,29	24,21
Perdas	1,69	1,24	1,6
Rendimento Total ⁽²⁾	68,69	73,47	74,19

(1) Arroz de terceira classe (Brasil, 1972): < 1/2 do grão integral

(2) Rendimento total (Webb e Stermer, 1972): Grão inteiro + arroz de segunda classe + arroz de terceira classe

Tabela 36 Composição química do arroz integral, polido e parboilizado por processo convencional e microondas

Componentes (%)	Arroz Integral	Arroz Polido	Arroz Parboilizado processo convencional	Arroz Parboilizado processo microondas
Umidade	13,25	13,35	14,10	13,40
Proteínas	6,72	6,05	6,02	5,97
Cinza	1,36	0,44	0,53	0,65
Fibra bruta	0,75	0,22	0,23	0,28
Gordura	2,82	0,53	0,44	0,98
Carboidratos (1)	75,10	79,41	78,68	78,72

(1) Determinado por diferença

Tabela 37 Conteúdo de vitaminas do arroz integral, polido e parboilizado
 por processo convencional e microondas

Componentes (mg/100gr)	Arroz Integral	Arroz Polido	Arroz Parboilizado Processo Convencional	Arroz Parboilizado Processo Microondas
Tiamina (B ₁)	0,23	0,07	0,15	0,21
Riboflavina (B ₂)	0,182	0,087	0,118	0,125
Niacina	6,5	0,2	5,3	4,4

5. CONCLUSÕES

Processo Convencional

A temperatura de secagem e a absorção de água foram as variáveis que mais afetaram o rendimento, tempo de cozimento e cor do arroz parboilizado pelo processo convencional. De uma maneira geral aumentos na temperatura de secagem e absorção de água resultaram em maiores rendimentos, menores tempos de cozimento e cor mais escura.

Estudos de difração de raios X mostraram que aumentos de absorção de água provocaram uma maior gelatinização do grão, consequentemente altos rendimentos no beneficiamento. Também por difração de raios X foi encontrado que a intensidade da retrogradação foi diminuída para temperaturas de secagem elevadas, resultando em menores tempos de cozimento.

A temperatura de maceração e concentração de acetato de sódio não afetaram de maneira significativa o rendimento no beneficiamento, tempo de cozimento e cor do arroz parboilizado pelo processo convencional. As condições nas quais o arroz parboilizado convencionalmente apresentou as melhores características de qualidade foram: Absorção de água entre 30,00 e 32,00%; temperatura de secagem entre 70,0 e 80,0°C; temperatura de maceração entre 58,0 e 63,0°C e acetato de sódio entre 0,070 a 0,120M.

Processo Microondas

A temperatura de maceração, absorção de água e tempo de

radiação foram as variáveis que mais influenciaram no rendimento no beneficiamento e tempo de cozimento. A cor do arroz parboilizado foi mais influenciada pela temperatura de maceração, absorção de água e muito pouco influenciada pelo tempo de radiação. Aumentos no tempo de radiação produziram altos rendimentos no beneficiamento, menores tempos de cozimento e não afetaram a cor do arroz parboilizado. O efeito da absorção de água no rendimento no beneficiamento e tempo de cozimento foi dependente da temperatura de maceração, sendo que menores valores de absorção de água e temperatura de maceração proporcionaram cores semelhantes ao arroz polido.

Composição Química

Não foram encontradas diferenças significativas nos teores de proteínas e fibras do arroz polido e aqueles parboilizados pelos processos convencional ou microondas. O processo de parboilização provocou um aumento nos teores de cinzas, gorduras, tiamina, riboflavina e niacina. Entre os processos de parboilização os maiores teores de cinzas, gorduras e vitaminas foram obtidos pelo processo de microondas.

6. BIBLIOGRAFIA

01. A.A.C.C. Aproved methods of the American Association of Cereal Chemists. 1969. 7 ed. St. Paul Minnesota, A.A. C. C., 2v.
02. ALARY, R.; LAIGNELET, B.; FEILLET, P. 1977 Effects of amylase content on some characteristics of parboiled rice. J. of Agricultural and Food Chemistry 25(2) 265-264.
03. ALI, N; PANDYA, A.C. 1974. Basic concept of parboiling of paddy. J. of Agricultural Engineering Research 19(2) 111-115.
04. ALI, N; OJHA, T.P. 1976 Parboiling. In: _____. Rice Postharvest Technology Araullo, E.V.; De Padua, D.B.; Graham, M. (Editors) Int. Dev. Res. Ctnr. Ottawa Canada.
05. ALI, S.Z.; BHATTACHARYA, K.R. 1976 a Starch retrogradation and starch damage in parboiled rice and flaked rice Die Stärke 28(7): 233-240.
06. ALI, S.Z.; BHATTACHARYA, K.R. 1976 b Comparative properties of beaten rice and parboiled rice. Lebensmittel - Wissenschaft + Technologie 9(1): 11-13.
07. ALI, S.Z.; BHATTACHARYA, K.R. 1972 Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie 5, 207-212.

08. ALI, S.Z.; BHATTACHARYA, K.R. 1980 High-Temperature drying-cum - parboiling of paddy. J. of Food Process Engineering 4(2) 123-126.
09. A.O.A.C. Aproved methods of the Association of oficial Agri cultural Chemists. 1975. 12 ed. Washington D.C., A.O.A.C.
10. BANDYOPADHYAY, S; ROY, N.C. 1980 Desorption characteristics of hot-soaked parboiled paddy. J. of Food Technology 15 (3) 329-333.
11. BENDER, F.E.; KRAMER, A.; KARAN, G. 1976 Response surface techniques In: Systems analyses for the food industry Wesport Connecticut, USA, AVI p. 121-193.
12. BHATTACHARYA, K.R.; RAO, P.V.S. 1966 a. Processing conditions and milling yield in parboiling of rice J. Agri Food Chem 14(5) 473-475.
13. BHATTACHARYA, K.R.; RAO, P.V.S. 1966 b. Effect of processing conditions on quality of parboiled rice J. Agri. Food Chem. 14(5) 476-479.
14. BHATTACHARYA, K.R.; RAO, P.V.S. 1966 c. Effect of parboiling on thiamine content of rice J. Agri. Food Chem. 14(5) 479-482.
15. BHATTACHARYA, K.R. 1969 Breakage of rice during milling and effect of parboiling Cereal Chem. 46(5) 478-485.

16. BHATTACHARYA, K.R.; ALI, S.Z. 1970 Improvement in comercial sun drying of parboiled paddy for better milling quality Rice Journal 73(9) p. 3, 4, 9, 12-15.
17. BORASIO, L.; GARIBOLDI, F. 1965 Parboiled rice - Production and use Part I Production Rice Journal 68(5) 32-41.
18. BORASIO, L.; GARIBOLDI, F. 1965 Parboiled rice - Production and use Part II Use Rice Journal 68(8) 23-27.
19. BOBBIO, P.A. 1971 Escurecimento não enzimático em alimentos - reação de maillard. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Tese (Livre Docente) Universidade Estadual de Campinas.
20. BRASIL, 1972. Ministério do Interior. Contribuição ao desenvolvimento da Agroindústria: arroz. Campinas, GEIDA-FCTPTA, s.d.v.8.
21. CARLSON, R.A.; ROBERTS, R.L.; FARKAS D.F. 1976. Preparation of quick-cooking rice products using a centrifugal fluidized bed. J. of Food Science 45(5) 1177-1179.
22. CHAMBERLAIN, N. 1973 Microwave energy in the baking of bread food Trade Review 43: 8-12.
23. CIACCO, C.F.; FERNANDES, J.L.A. 1979. Effect of varios ions on the kinetics of retrogradation of concentrated wheat starch gels Die Stärke 31(2) 51-53.

24. COCHRAM, W.G. & COX, G.M. 1957 Experimental designs 2.ed.
New York, J. Wiley 611 p.
25. COPSON, D.A. 1962 Microwave heating-in freeze-drying, electronic ovens, and other applications. Westport AVI 433p.
26. DIMOPOULOS, I.S.; MULLER, H.G. 1972. Effect of processing conditions on protein and composition and on some other physico-chemical characteristics of parboiled rice. Cereal Chemistry 49(5) 54-62.
27. DOTY, N.C. & BAKER, C.W. 1977 Microwave conditioning of durum wheat 1. Effect of power range on semolina and spaghetti quality J. Agric. Food Chem. 25: 815-819.
28. DUVAL, S.P. 1980 Arroz parboilizado Lavoura Arrozeira 33 N° 319.
29. EDWARDS, G.H. 1964 Effects of microwave radiation on wheat and flour: the viscosity of the flour pastes J. Sci. Fd. Agric. 15: 108.
30. EL-DASH, A.A.; SHAHEEN, A.; EL-SHIRBEENY, A. 1975 The effect of parboiling on the consumer acceptance of rice. Cereal Food World 20(2) 101-112.
31. GARIBOLDI, F. 1972 Parboiled rice chapter 14(358-380) In: _____ . Rice chemistry and technology Ed. by Houston D.F.; AACC. St. Paul Minn.

32. GARIBOLDI, F. 1974 El sancochado de arroz. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. F.A.O. Roma 103p.
33. HALLICK, J.V.; KENEASTER, K.K. 1956 The use of a starch-iodine-blue test as a quality indicator of white milled rice Cereal Chem. 33(5) 315-319.
34. HENDERSON, S.M. 1957 Milled rice yields. Test shows yield and quality affected by drying air temperature and humidity Calif. Agri 11(7): 6.
35. HENIKA, R.G. & PALMER, G.M. 1976 Response surface methodology: revisited. New Orleans, American Association of Cereal Chemists. Annual Meeting, 14p.
36. HILL, J.W.; HUNTER, G.M. 1966 A review of response surface methodology: A literature Survey Technometrics 8(4) 571-590.
37. HUXSOLL, C.C.; MORGAN Jr., A.I. 1968 Microwaves for quick-cooking rice Cereal Science Today 13: 203-206.
38. I.B.G.E. Instituto Brasileiro de G. e Estatística 1981. Diretoria Técnica, Departamento de estatísticas agropecuárias.
39. JAYANARAYANAN, E.K. 1965 Influence of processing conditions on the browning of parboiled rice Rice Journal 68(12)16-17.

40. JULIANO, B.O.; OÑATE, L.U.; DEL-MUNDO, A. 1965 Relation of starch composition, protein content, e gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. Food Technol. 19: 1006.
41. JULIANO, B.O.; 1972 The rice caryopsis and its composition. In: _____. Houston, D.F. ed. Rice chemistry and technology. St. Paul Minnesota, A.A.C.C., cap. 2, p.16-74.
42. KANEMITSU, T.; MIYAGAWA, K. 1974 Calorimetric studies on swelling of rice I. Swelling of rice grain and rice powder Cereal Chemistry 51(3) 336-344.
43. KANEMITSU, T.; MIYAGAWA, K. 1976 Calorimetric studies on the swelling of rice II. Effect of storage time on heat of swelling. Cereal Chemistry 53(6) 821-828.
44. KHAN, A.U.; AMILHUSSIN, A.; ARBOLEDA, J.R.; MANALO, A.S. ; CHANCELLOR, W.J. 1974 Accelerated drying of rice using heat-conduction media. Transactions of the ASAE 17(5) - 949-955.
45. KUNZE, O.R.; CHOUDHURY, M.S.U. 1972 Moisture absorption related to the tensile strength of rice Cereal Chemistry 49(6): 684.
46. KURIEN, P.P.; MURTY, R.R.; DESIKACHAR, H.S.R.; SUBRAHNABYAN, V. 1964 Effect of parboiling on the swelling quality of rice Cereal Chemistry 41(1) 16-22.

47. LEQUERICA, J.L.; FLORS, A.; CERNI, R. 1974 Estudio del secado de arroz sancochado por la tecnica de fluidificación. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 14 (3) 439-450.
48. LUND, D.B.; LINOSAY, R.C.; STUIBER, D.A.; JOHNSON, C.E.; - MARTH, E.H. 1975 Drying and hulling characteristics of wild rice Cereal Food World 20(3): 150.
49. MATTHEWS, T.; HOGAN, J.T.; MOTTERN, H.H.; DEOBALD, H.I. 1971 Southern laboratory is studying rice milling Rice Journal 74(6): 28.
50. MAURER, R.L.; TREMBLAY, M.R.; CHADWICK, E.A. 1971 Microwave processing of pasta. Food Technology 25: 32-34,37.
51. PILLAIYAR, P.; VASSAN, B.S.; RAJENDRAN, G.; DHARMARAJAN, V. 1980 Prevention of foul, odour and minimising soaking loss in conventional parboiling of paddy. J. of Food Science and Technology 17(5) 228-231.
52. PIMENTEL, G.F. 1970 Curso de estatística experimental 4.^a ed. Piracicaba S.P. Brasil.
53. PRIESTLEY, R.J.; WEYBRIDGE; SURREY. 1975 Moisture requiriments for gelatinization fo rice Die Stärke 27(12) 416-419.
54. PUPO, F.V.L. 1981 Princípios e aplicações da calorimetria em alimentos. Instruções Técnicas - ITAL 19.

55. RAO, S.N.R.; JULIANO, B.O. 1970 Effect of parboiling on some physicochemical properties of rice J. Agri. Food Chem. 18(2) 289-294.
56. RANGHINO, F. 1966 Valutazione della resistenza del riso alla cottura, in base al tempo di gelatinizzazione dei granelli Il Riso XV(2) 117-127.
57. RIVIANA. 1975 Foods Inc. The story of rice Houston Texas.
58. ROBERTS, R.L.; POTTER, A.L.; KESTER, E.B.; KENEASTER, K. K. 1954 Effect of processing conditions on the expanded volume, color and soluble starch of parboiled rice Cereal Chemistry 31(2) 121-124.
59. ROBERTS, R.L. 1977 Effect of microwave treatment of pre-soaked paddy, brown and white rice J. of Food Science . 42(3) 802-806.
60. SALE, A.J.H. 1966 Microwave applications in the food industry Food Technol. 20: 34-36, 1966.
61. SCHIFFMANN, R.F. 1975 Microwaves challenge - Today's heat processing. Food Eng. 11: 72-76.
62. STIPE, D.R.; MILLER, M.F. 1975 Effects of steaming, drying, and tempering conditions on mill yields of rough rice. Rice Journal 78(7): 58.

63. STROHECKER, R. & HENNING, H.M. 1967 Analisis de vitaminas:
Métodos comprobados. Madrid. Editorial Paz Montalvo 428
p.
64. VAN DE KAMER, J.H.; VAN GINKEL, L. 1952 Rapid determination
of crude fiber in cereals. Cereal Chemistry 29(4) 239-
251.
65. VASAN, P.S.; BASHEER, J.; VENKATESAN, V. 1980 Use of hot
air for parboiling and drying of paddy J. of Food Science
and Technology 17(5) 246-247.
66. WEBB, B.D.; STERMER, R.A. 1972 Criterio of rice quality.
In: _____. Houston, D.F. ed Rice chemistry and techno-
logy. St. Paul Minnesota, A.A.C.C., cap. 4, p. 102-139.
67. WIRAKARTAKUSUMAH, M.A.; LUND, D.B. 1978 Kernel hardness
of wild rice as affected by drying air temperature and
moisture gradient. J. of Food Science 43(2) 394-396.
68. ZOBEL, H.F. 1964 Methods in carbohydrate chemistry In:
_____. Starch Whistler, R.L. (Editor) Academic Press
New York..

7. ANEXO

Metodologia de Superfície de Resposta (MSR)

A metodologia de superfície de resposta, ou MSR é uma coleção de técnicas estatísticas e matemáticas, usadas na análise de problemas onde as variáveis independentes influenciam a variável dependente ou resposta e o objetivo é a otimização desta resposta. As variáveis independentes são expressas como X_1, X_2, \dots, X_k , e assume-se que são contínuas e controláveis para o experimento com um erro desprezível.

Pode-se expressar a resposta observada y como uma função das variáveis independentes.

$$y = f(x_1, x_2, x_3) + \varepsilon$$

Sendo ε o erro aleatório. Se a resposta observada for expressa como $E(y) = \eta$, então a superfície representada por $\eta = f(x_1, x_2, x_3)$ é chamada de superfície de resposta. Pode-se representar a superfície de resposta graficamente, com x_1 e x_2 no plano do papel e $E(y)$ em um eixo perpendicular ao plano de papel. Os contornos das respostas observadas da superfície de resposta, podem ser representadas na Figura 1.

Na maioria dos problemas de MSR a relação entre a resposta e as variáveis independentes é desconhecida. O primeiro passo em MSR é encontrar uma aproximação adequada para f . Usualmente, uma expressão polinomial de menor ordem em alguma região das variáveis independentes é empregada. Se a resposta é bem modelada por uma função linear das variáveis independentes, então a

aproximação da função é um modelo de primeira ordem.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon$$

Se esta é uma curva, então uma expressão polinomial de maior grau, como o modelo de segunda ordem pode ser usado

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_i \sum_{j \atop i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon$$

Quase todos os problemas de MSR utilizam uma destas, ou ambas aproximações polinomiais. É improvável que um modelo polinomial possa ser uma aproximação razoável de f sobre todo o espaço ocupado pelas variáveis independentes. Em uma pequena área, entretanto, o modelo é usualmente bem ajustado.

O método dos mínimos quadrados é usado para estimar os parâmetros na aproximação polinomial. A análise da MSR é então dada em termos da superfície ajustada. Os parâmetros do modelo podem ser estimados mais efetivamente se um desenho experimental próprio é usado para coletar os dados. Delineamentos para ajuste de superfície de resposta são algumas vezes chamados de delineamentos para superfície de resposta.

MSR é um procedimento sequencial. Quando se tem um ponto na superfície de resposta distante do ótimo dando uma pequena curvatura no sistema o modelo de primeira ordem pode ser adequado. Pois o objetivo é conduzir rapidamente e eficientemente o experimento para pontos próximos do ótimo. Uma vez encontrada a região ótima, um modelo mais elaborado, tal como superfícies de resposta de segunda ordem podem ser empregadas e as análises executadas para localizar o ponto ótimo.

Na análise de superfície de resposta da Figura 1 pode-se imaginar regiões de uma colina vista do topo como um pico representando o ponto de máxima resposta. Se o ótimo é um ponto de mínimo de resposta, então pode-se pensar no desenho de um vale.

O eventual objetivo da MSR é determinar as condições ótimas de operação para um sistema ou para determinar uma região no espaço na qual as operações específicas são satisfatórias. Frequentemente, a estimativa inicial das condições ótimas de operação para o sistema pode ser distante do ótimo atual. O método de passos ascendentes é um procedimento para mover-se sequencialmente na direção de máximo acréscimo na resposta. Se a minimização é desejada, então tomaremos o método de passos descendentes.

O modelo de primeira ordem ajustado é

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i$$

e a resposta de superfície de primeira ordem que é o contorno de \hat{y} é uma série de linhas paralelas como as da Figura 2. A direção dos passos ascendentes é aquela que acrescenta mais rapidamente. Esta direção é normal a superfície ajustada. Estes passos ao longo da direção são proporcionais ao coeficiente de regressão ($\hat{\beta}_i$). Os passos são determinados pelo pesquisador e são baseados na experiência.

Experimentos são conduzidos na direção dos passos ascendentes até que um forte aumento na resposta é observado. Então um novo modelo de primeira ordem pode ser ajustado, uma nova direção de passos ascendentes determinada e, assim o procedimento pode ser continuado. Eventualmente, o experimento pode atin-

gir a proximidade do ótimo.

Análise de Modelos Quadráticos

Quando o experimento é relativamente próximo ao ótimo, um modelo de segundo grau ou maior é usualmente requerido para aproximar as respostas a curvatura na superfície verdadeira. Na maioria dos casos o modelo de segunda ordem é uma aproximação adequada. A análise do ajuste da superfície de resposta de segunda ordem é chamada também de análise canônica.

Suponhamos que desejamos encontrar os níveis de x_1, x_2, \dots, x_k que minimizam a resposta predita. Este ponto máximo se existir, pode ser ajustado de x_1, x_2, \dots, x_k pelas derivadas parciais $\partial \hat{y} / \partial x_1 = \partial \hat{y} / \partial x_2 = \dots = \partial \hat{y} / \partial x_k$. Este ponto, $x_{1,0}; x_{2,0}, \dots, x_{k,0}$; e chamado de ponto estacionário. O ponto estacionário pode representar (1) um ponto de máxima resposta, (2) um ponto de mínima resposta, (3) um ponto de sela. Estas três possibilidades são mostradas na Figura 3. Parte da análise canônica é a caracterização da natureza do ponto estacionário.

Pode-se obter uma solução geral para o ponto estacionário, escrevendo o modelo de segunda ordem em notação matricial tendo

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_{ij} x_i x_j$$

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x'b + x'\beta x$$

onde

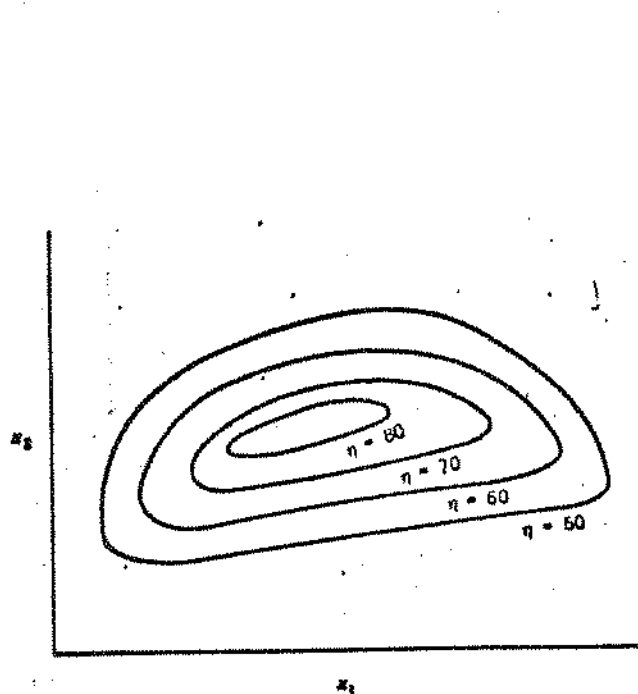


Figura 1 Uma superfície de res-
posta

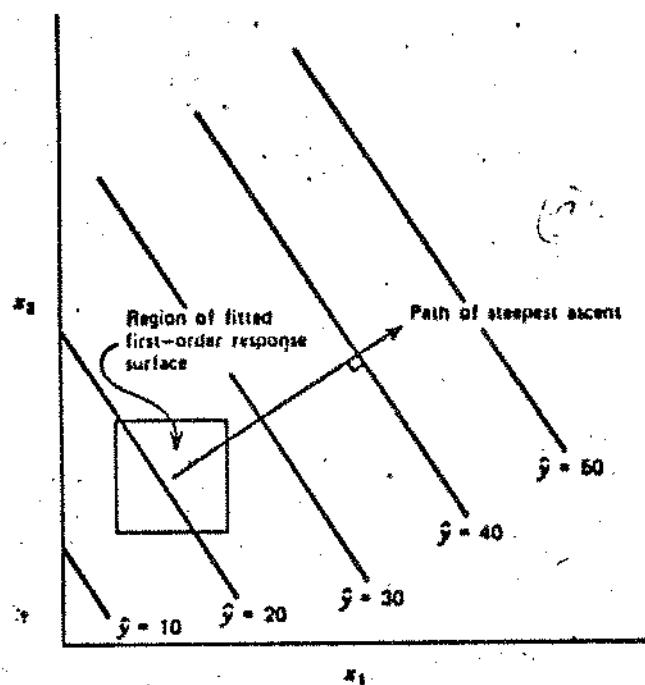


Figura 2 Superfície de resposta
de primeira ordem e di-
reção de passos ascen-
dentes

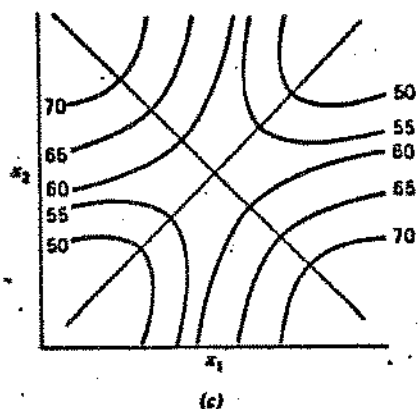
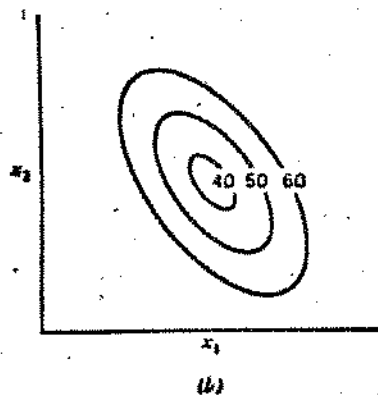
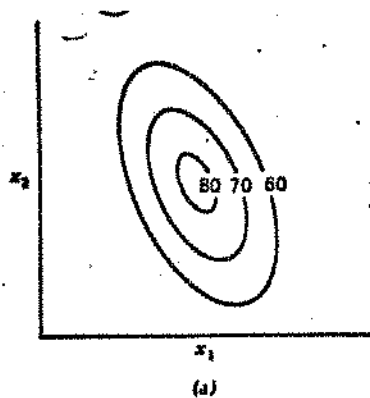


Figura 3 Pontos estacionários em superfície de resposta
de segunda ordem a) resposta máxima; b) respos-
ta mínima; c) ponto de sela

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad e \quad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12}/2 & \cdots & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22}/2 & \cdots & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ & & \ddots & \\ \hat{\beta}_{1k}/2 & \cdots & \cdots & \hat{\beta}_{kk}/2 \end{bmatrix}$$

Onde b é um $(k \times 1)$ vetor do coeficiente de regressão de primeira ordem e B é $(k \times k)$ a matriz simétrica cujos elementos principais da diagonal são coeficientes puros quadráticos ($\hat{\beta}_{ii}$) e cujos elementos da seudo diagonal são uma meia mistura de coeficientes quadráticos ($\hat{\beta}_{ij}$, $i \neq j$).

A derivada de \hat{y} com respeito ao vetor x igualada a zero é

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x} = b + 2 Bx = 0$$

O ponto estacionário é a solução para o

$$x_0 = -1/2 B^{-1} b$$

Substituindo podemos encontrar a resposta predita ao ponto estacionário como

$$\hat{y}_0 = \hat{\beta}_0 + 1/2 x_0 b$$

A característica do ponto estacionário é útil para transformar o modelo ajustado para um novo sistema de coordenadas como o ponto estacionário original x_0 , isto é feito pela rotação dos eixos do sistema até que eles sejam paralelos aos principais eixos da superfície de resposta ajustada. Esta transformação é mostrada na Figura 4. Pode-se mostrar estes resultados no

modelo ajustado.

$$\hat{y} = \lambda_0 + \lambda_1 w_1^2 + \lambda_2 w_2^2 + \dots + \lambda_k w_k^2$$

Onde w_i são as variáveis independentes transformadas e λ_i são as constantes. A equação descrita é chamada de modelo de forma canônica, e as λ_i são as raízes características da matriz B.

A natureza da superfície de resposta pode ser determinada pelo ponto estacionário através do sinal e a magnitude da λ_i . Primeiro supondo que o ponto estacionário esteja dentro da área de exploração para ajuste do modelo de segunda ordem. Se λ_i são todos negativos, então x_0 é um ponto de resposta máxima. Se λ_i são todos positivos então x_0 é um ponto de resposta mínima. Se λ_i tem diferentes sinais x_0 é um ponto de sela. A superfície é escalonada na direção w_i de modo que λ_i é aumentada. Por exemplo a Figura 4 descreve um sistema no qual x_0 é um máximo (λ_1 e λ_2 negativos) e com $|\lambda_1| > |\lambda_2|$. Se algumas ou muitas das λ_i fossem muito pequenas (exemplo $\lambda_i \approx 0$) então o sistema seria insensível para as variáveis w_i . Este tipo de superfície é algumas vezes chamado de cume estacionário como mostra a Figura 5.

Se o ponto estacionário está fora da região de exploração para o ajuste do modelo de segunda ordem, e (ou maioria) λ_i está próximo de zero, então a superfície pode ser de uma ascendente. A Figura 6 descreve uma curva ascendente para $k=2$ variáveis com λ_1 perto de zero e λ_2 negativo. Neste tipo de sistema de cume não podemos extrapolar perto da verdadeira superfície ou ponto estacionário, uma vez que x_0 está dentro da área onde se tem o modelo ajustado. Se λ_2 for positiva pode chamar-se de que da do pico.

Delineamento para ajuste da Superfície de Resposta do Modelo de Segunda Ordem

Um delineamento experimental para ajuste do modelo de segunda ordem deve ter no mínimo três níveis de cada fator para que os parâmetros do modelo possam ser estimados. A classe mais usada de delineamento de superfície de resposta de segunda ordem é o delineamento rotável. Um delineamento experimental é rotável se a variância das respostas preditas \hat{y} em um ponto x é somente função da distância do ponto do centro delineado ou não uma função de direção. Isto implica que os contornos de variância de \hat{y} são círculos concêntricos. Além disso, um delineamento com esta propriedade deixa a variância de \hat{y} invariável quando o delineamento é rodado perto do centro $(0,0,\dots,0)$, de onde é o nome rotável.

O delineamento mais amplamente usado para ajustar um modelo de segunda ordem é o delineamento central composto. Este delineamento consiste de 2^k fatorial ou fatorial fracional (código usual ± 1 notação) aumentado por $2K$ pontos axiais $(\pm\alpha, 0, 0, \dots, 0)$; $(0, \pm\alpha, 0, \dots, 0)$; $(0, 0, \pm\alpha, \dots, 0)$; $(0, 0, 0, \dots, \pm\alpha)$ e n_0 pontos centrais $(0, 0, \dots, 0)$. O delineamento central composto para $K=2$ e $K=3$ é mostrado na Figura 7.

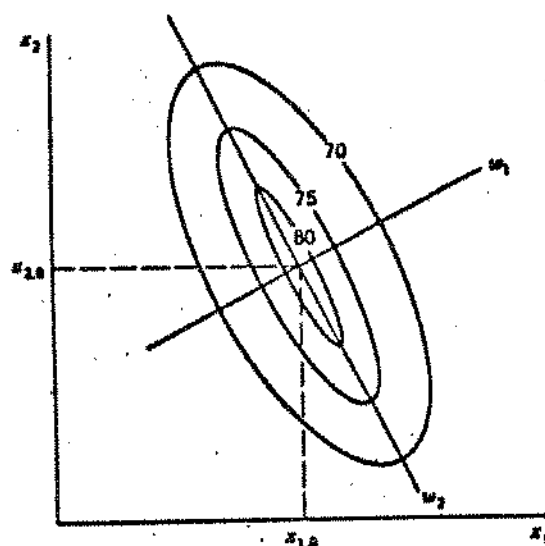


Figura 4 Forma canônica do modelo de segunda ordem

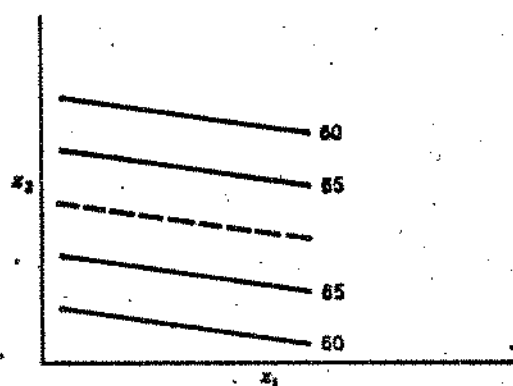


Figura 5 Um sistema cume estacionário

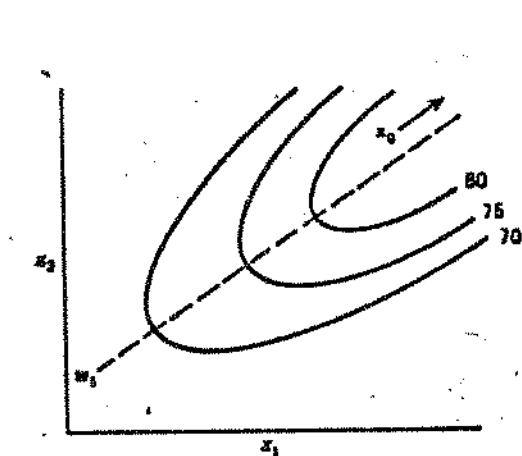
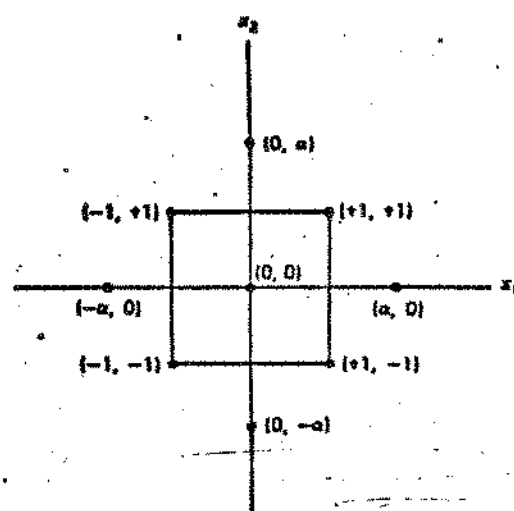


Figura 6 Um sistema cume ascendente

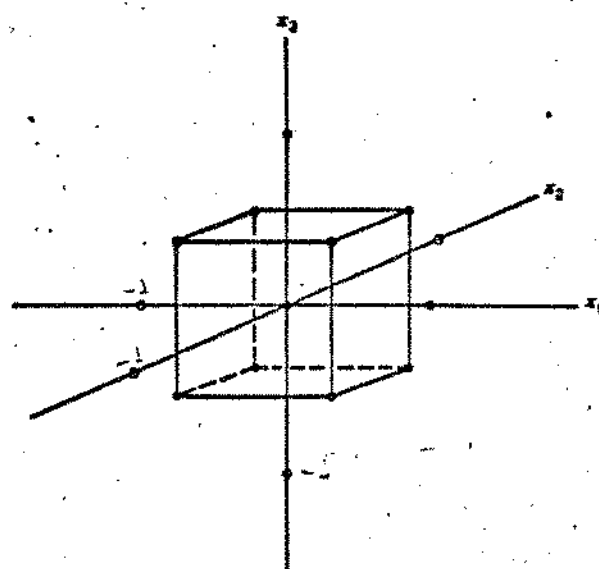


Figura 7 Delineamento central composto para $K=2$ e $K=3$