

EFEITO DE BRANQUEADORES E
DA RADIAÇÃO DE MICROONDAS NA QUA
LIDADE TECNOLÓGICA DO ARROZ INTEGRAL

por

YOON KIL CHANG

Engº de Alimentos, UNICAMP, 1977

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

Prof. Dr. AHMED A. EL-DASH

Orientador

1982

CAMPINAS, SP, BRASIL

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

*Carinho e eterna gratidão a
meus pais, irmãos e cunhados.*

사랑과 격려로 연구의 의욕과
신념을 굳게 해주신 부모님, 형제
들, 형수, 매부에게 감사 드립니다

ÍNDICE

	Página
Índice de Tabelas.....	i
Índice de Figuras.....	vii
Agradecimentos.....	xii
Resumo.....	xiii
Summary.....	xvi
 I. INTRODUÇÃO.....	 01
 II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	 03
A. Origem e produção do arroz.....	03
B. Valor nutricional do arroz.....	04
1. Proteína.....	04
2. Lipídeos.....	06
3. Vitaminas.....	07
4. Sais minerais.....	07
C. Beneficiamento do arroz.....	08
D. Armazenamento.....	12
1. Desenvolvimento de rancidez.....	13
a. Enzimas.....	13
b. Mecanismo da deterioração de lipídeos....	15

2. Métodos para evitar a deterioração do arroz.	18
a. Controle das condições de armazenamento..	18
b. Extração de lipídeos por solventes.....	19
c. Uso de calor na inativação enzimática....	20
d. Uso de radiações eletromagnéticas.....	21
E. Uso de energia de microondas nos alimentos.....	22
1. Propriedades das microondas.....	22
2. Inativação das enzimas.....	25
3. Outras aplicações.....	26
F. Agentes branqueadores usados em alimentos.....	27
1. Cor da farinha de trigo.....	27
2. Pigmentos carotenóides do trigo.....	28
3. Principais agentes branqueadores.....	29
a. Peróxido de nitrogênio.....	29
b. Peróxido de benzoila.....	30
c. Peróxido de hidrogênio.....	32
III. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
A. Materiais.....	34
1. Matéria-prima.....	34
2. Reagentes.....	34
3. Equipamentos.....	34
B. Métodos experimentais.....	35
1. Beneficiamento do arroz.....	35

a. Obtenção de arroz integral.....	35
b. Obtenção de arroz polido.....	36
2. Processos utilizados para o melhoramento da cor do arroz integral.....	36
a. Tratamento com peróxido de nitrogênio....	36
b. Tratamento com peróxido de benzoila.....	37
c. Tratamento com peróxido de hidrogênio, a 76°C e 100°C.....	37
3. Processo utilizado para o melhoramento da estabilidade do arroz integral.....	38
a. Controle de umidade inicial.....	38
b. Tratamento do arroz integral por microondas.	39
c. Secagem.....	39
d. Moagem.....	39
e. Extração da enzima lipase.....	40
C. Métodos Analíticos.....	41
1. Determinação da cor do arroz.....	41
2. Propriedades físicas do arroz.....	41
a. Determinação da viscosidade.....	41
b. Teste de cozimento.....	44
3. Umidade.....	45
4. Proteína.....	46
5. Gordura.....	46
6. Fibra.....	46

7. Cinzas.....	46
8. Aminoácidos.....	46
a. Determinação de triptofano.....	46
b. Outros aminoácidos.....	47
9. Vitaminas.....	47
a. Tiamina (Vitaminas B ₁).....	47
b. Riboflavina (Vitaminas B ₂).....	48
c. Niacina.....	48
10. Determinação da atividade enzimática.....	48
11. Estabilidade do arroz durante o armazenamento..	48
a. Ácidos graxos livres.....	49
b. Índice de peróxido.....	49
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
A. Características do arroz integral e do arroz polido.....	50
1. Rendimento total.....	50
2. Propriedades químicas.....	50
a. Composição química.....	52
b. Vitaminas.....	52
c. Aminoácidos.....	55
3. Propriedades físicas.....	55
a. Viscosidade.....	55
b. Teste de cozimento.....	59

	Página
c. Características de cor do arroz.....	62
4. Estabilidade do arroz integral e do arroz polido durante o armazenamento.....	62
a. Atividade da enzima lipase do arroz inte- gral.....	65
b. Desenvolvimento de ácidos graxos livres.	
d. Desenvolvimento de peróxidos.....	65
B. Efeito de agentes branqueadores nas caracterís- ticas de cor do arroz integral.....	69
1. Tratamento com peróxido de nitrogênio.....	71
a. Efeito na cromaticidade.....	71
b. Efeito nas diferenças de cromaticidade , diferença de luminosidade e diferença to- tal de cor.....	71
2. Tratamento com peróxido de benzoila.....	74
a. Efeito na cromaticidade.....	74
b. Efeito nas diferenças de cromaticidade , diferença de luminosidade e diferença to- tal de cor:.....	79
c. Efeito nas características físicas do ar- roz integral.....	79
i. Viscosidade.....	79
ii. Teste de cozimento.....	82
3. Tratamento com peróxido de hidrogênio.....	82

a. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 76°C, nas características de cor do arroz integral.....	82
i. Efeito na cromaticidade.....	82
ii. Efeito nas diferenças de cromaticidade, diferença de luminosidade e diferença total de cor.....	87
b. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 100°C nas características de cor do arroz integral.....	95
i. Efeito na cromaticidade.....	95
ii. Efeito nas diferenças de cromaticidade, diferença de luminosidade e diferença total de cor.....	100
c. Efeito nas características físicas do arroz integral.....	105
i. Viscosidade.....	105
ii. Teste de cozimento.....	110
d. Características tecnológicas.....	110
i. Avaliação sensorial do arroz integral tratado com peróxido de hidrogênio em relação ao arroz integral não tratado;	

após cozimento.....	110
ii. Avaliação sensorial do arroz integral tratado com peróxido de hidrogênio em relação ao arroz polido após cozi- mento.....	113
C. Efeito do tratamento de microondas na estabili- dade do arroz integral.....	113
1. Efeito na atividade da lipase no arroz inte- gral.....	115
a. Efeito do tratamento de microondas no ar- roz integral com 13,4% de umidade.....	115
b. Efeito do tratamento de microondas no ar- roz integral com 14,6% de umidade.....	117
c. Efeito do tratamento de microondas no ar- roz integral com 17,3% de umidade.....	123
2. Efeito do tratamento de microondas nas carac- terísticas físicas do arroz integral.....	130
a. Viscosidade.....	137
b. Teste de cozimento.....	137
c. Efeito do tratamento de microondas nas ca- racterísticas de cor do arroz integral...	143
i. Efeito na cromaticidade.....	143
ii. Efeito nas diferenças de cromaticida- de, diferença de luminosidade e dife-	

	Página
rença total de cor.....	143
3. Efeito do tratamento de microondas no valor nutricional do arroz integral.....	145
a. Vitaminas.....	145
b. Aminoácidos.....	143
4. Efeito do tratamento de microondas na estabi- lidade de arroz integral durante o armazena- mento.....	148
a. Desenvolvimento de ácidos graxos livres..	148
b. Desenvolvimento de peróxidos.....	148
V. CONCLUSÕES.....	155
VI. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	157
VII. BIBLIOGRAFIA.....	158
VIII. APÊNDICE.....	170

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
I. Rendimento total do arroz integral e polido.....	51
II. Composição química do arroz integral e polido.....	53
III. Conteúdo de vitaminas do arroz integral e polido..	54
IV. Conteúdo de aminoácidos em arroz integral e poli- do.....	56
V. Características viscoamilográficas do arroz inte- gral e polido.....	57
VI. Parâmetros da equação da reta e coeficiente de cor- relação de retrogradação do arroz integral e poli- do.....	60
VII. Teste de cozimento do arroz integral e polido.....	61
VIII. Características de cor do arroz integral e polido.	63
IX. Atividade da lipase na produção de ácidos graxos livres (AGL), após 5 e 10 minutos da reação enzimá- tica.....	66
X. Desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) e pe- róxidos do arroz integral e polido durante o arma- zenado.....	67
XI. Efeito do peróxido de nitrogênio em diferentes tem- pos de exposição, nas características de cor do arroz integral.....	72

XII. Efeito da concentração de peróxido de benzoila sobre as características de cor do arroz integral , em diferentes umidades relativas a 20°C.....	75
XIII. Efeito de peróxido de benzoila nas características viscoamilográficas do arroz integral.....	80
XIV. Efeito do peróxido de benzoila no teste de cozimento do arroz integral.....	83
XV. Efeito do peróxido de benzoila nas características de cor do arroz integral, armazenado por 60 horas a 75,5% de umidade relativa a 20°C.....	84
XVI. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 76°C na cromaticidade do arroz integral.....	88
XVII. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 76°C, nos valores da diferença de cromaticidade (DAC), diferença de luminosidade (DAL) e diferença total de cor (DE) do arroz integral.....	92
XVIII. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 100°C na cromaticidade do arroz integral.....	96
XIX. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 100°C nos valores da diferença de cromaticidade (DAC), diferença de lumi-	

nosidade (DAL) e diferença total de cor (DE) do arroz integral.....	101
XX. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio a 76°C, nas características viscoamilográficas do arroz integral.....	106
XXI. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio a 100°C, nas características viscoamilográficas do arroz integral.....	107
XXII. Efeito de tratamento de peróxido de hidrogênio a 76°C e 100°C no teste de cozimento do arroz integral.	111
XXIII. Avaliação sensorial do arroz integral e do arroz integral tratado por peróxido de hidrogênio, após cozimento.....	112
XXIV. Avaliação sensorial do arroz polido e do arroz in- tegral tratado por peróxido de hidrogênio após co- zimento.....	114
XXV. Efeito do tempo de exposição a microondas (potên- cia máxima e média) na atividade da lipase do ar- roz integral com umidade inicial de 13,4% após 5 e 10 minutos da reação enzimática.....	116
XXVI. Parâmetros das equações das retas e coeficiente de correlação que relacionam a produção de ácidos gra- xos livres ($\mu\text{mol}/\Delta t/\text{mL}$) pela enzima lipase (após 5 minutos da reação enzimática), com o tempo de expo- sição (seg.) a microondas.....	118
XXVII. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) no teor de umidade do arroz integral.....	120

XXVIII. Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a perda de umidade (%) e o tempo de exposição (seg.) a microondas.....	122
XXIX. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na atividade da lipase do arroz integral com umidade inicial de 14,6% após 5 e 10 minutos da reação enzimática.....	124
XXX. Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a produção de ácidos graxos livres ($\mu\text{mol}/\Delta t/\text{mL}$) pela enzima lipase (após 5 minutos de reação enzimática), com o tempo de exposição (seg.) a microondas.....	126
XXXI. Efeito do tempo de exposição a microondas no teor de umidade do arroz integral.....	127
XXXII. Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a perda de umidade (%) e o tempo de exposição (seg.) a microondas.....	129
XXXIII. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na atividade da lipase do arroz integral com umidade inicial de 17,3% após 5 e 10 minutos da reação enzimática.....	131
XXXIV. Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a produção de ácidos graxos livres ($\mu\text{mol}/\Delta t/\text{mL}$) pela enzima lipase (após 5 minutos de reação enzimática), com o tempo de	

exposição (seg.) a microondas.....	133
XXXV. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) no teor de umidade do arroz integral.....	134
XXXVI. Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a perda de umidade (%) e o tempo de exposição (seg.) a microondas.....	136
XXXVII. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nas características viscoamilográficas do arroz integral com diferentes teores de umidade inicial.....	138
XXXVIII. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no teste de cozimento do arroz integral	142
XXXIX. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nas características de cor do arroz integral.....	144
XL. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no conteúdo de vitaminas (mg/100g) do arroz integral com diferentes teores de umidade inicial.....	146
XLI. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no conteúdo de aminoácidos de arroz integral com diferentes teores de umidade inicial...	147
XLII. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no desenvolvimento de ácidos graxos li-	

vres (mgKOH/100g) de arroz integral com diferentes teores de umidade inicial, durante o armazenamento.....	150
XLIII. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no desenvolvimento de peróxidos (m Eq./1000g peso seco) do arroz integral com diferentes teores de umidade inicial, durante o armazenamento	153

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Estrutura do grão de arroz.....	09
2. Espectro eletromagnético.....	23
3. Diagrama de cromaticidade da Comissão Internacional de Iluminação.....	42
4. Amilogramas do arroz integral e polido.....	58
5. Diagrama de cromaticidade do arroz integral.....	64
6. Desenvolvimento de ácidos graxos livres no arroz integral e polido durante o armazenamento.....	68
7. Desenvolvimento de peróxidos no arroz integral e po lido durante o armazenamento.....	70
8. Efeito do peróxido de nitrogênio em diferentes tem pos de tratamentos no diagrama de cromaticidade do arroz integral.....	73
9. Efeito da concentração de peróxido de benzoila, no diagrama de cromaticidade do arroz integral armaze nado por 60 horas a 59,2% de umidade relativa a 20°C.....	76
10. Efeito da concentração de peróxido de benzoila, no diagrama de cromaticidade do arroz integral armaze nado por 60 horas a 75,5% de umidade relativa a 20°C.....	77

11. Efeito da concentração de peróxido de benzoila, no diagrama de cromaticidade do arroz integral armazenado por 60 horas a 97,2% de umidade relativa à 20°C.....	78
12. Efeito do peróxido de benzoila nos amilogramas do arroz integral armazenado por 60 horas a 75,5% de umidade relativa à 20°C.....	81
13. Efeito do peróxido de benzoila no diagrama de cromaticidade do arroz integral, armazenado por 60 horas a 75,5% de umidade relativa, após cozimento.	85
14. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 76°C por 1 minuto de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral.....	89
15. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 76°C por 2 minutos de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral.....	90
16. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 76°C por 4 minutos de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral.....	91
17. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 76°C por 1, 2 e 4 minutos de tratamento na diferença de cromaticidade (DAC) do arroz integral....	93
18. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 76°C por 1, 2 e 4 minutos de tratamento, na diferença de luminosidade (DAL) do arroz integral.....	94

19. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 1 minuto de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral.....	97
20. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 2 minutos de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral.....	98
21. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 4 minutos de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral.....	99
22. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 1, 2 e 4 minutos de tratamento, na diferença de cromaticidade (DAC) do arroz integral..	102
23. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 1, 2 e 4 minutos de tratamento na diferença de luminosidade (DAL) do arroz integral.....	103
24. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio, temperatura e tempo de tratamento na cor do arroz integral.....	104
25. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 76°C por 4 minutos de tratamento nos amilogramas do arroz integral.....	108
26. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 2 e 4 minutos de tratamento nos amilogramas do arroz integral.....	109

27. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na produção de ácidos graxos livres pela lipase do arroz integral com 13,4% de umidade inicial.....	119
28. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) no teor de umidade do arroz integral (umidade inicial = 13,4%).....	121
29. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na produção de ácidos graxos livres pela lipase do arroz integral com 14,6% de umidade inicial.....	125
30. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) no teor de umidade do arroz integral (Umidade inicial = 14,6%).....	128
31. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na produção de ácidos graxos livres pela lipase do arroz integral com 17,3% de umidade inicial.....	132
32. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) no teor de umidade do arroz integral (umidade inicial = 17,3%).....	136
33. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nos amilogramas do arroz integral com umidade inicial de 13,4%.....	139

34. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nos amilogramas do arroz integral com umidade inicial de 14,6%.....	140
35. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nos amilogramas do arroz integral com umidade inicial de 17,3%.....	141
36. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) no arroz integral durante o armazenamento.....	151
37. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no desenvolvimento de peróxidos no arroz integral, durante o armazenamento.....	154

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar sua profunda gratidão ao Professor Dr. Ahmed A. El-Dash, pela dedicação e estímulo demonstrados durante a orientação deste trabalho.

AGRADECE TAMBÉM:

À FAPESP e CNPq pela ajuda financeira prestada.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, pelas facilidades concedidas.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas, pela doação das amostras.

Ao Diário Coreano, pelas facilidades gráficas concedidas.

Aos Professores Celina Camargo, Cesar Ciacco, Leopold Hartman, Maria A.C. Moraes, Maria Antonia, Norma Mancilla, Renato Cruz pelos valiosos auxílios e sugestões.

Aos meus Amigos, Ana Gandara, Arnaldo Kuaye, Creusa Nomura, Dong Bin Kim, Eduardo San Martin, Evódio Vilela, Franz Salces, Jane Rizzo, Luis Carlos da Silva, Manoel Schirmer, Marcelo Campos, Maria Victória, Marilena Jucá, Olivaldo Birolli Filho, Raul Gomes, Silvana Srebernich e assim como também à todos os funcionários da FEAA, que prestaram incentivos na realização deste trabalho

RESUMO

O arroz integral, embora de valor nutricional superior ao arroz polido, não é consumido popularmente. Uma das razões principais é o fato que este apresenta uma coloração indesejável e a instabilidade no armazenamento.

O presente estudo teve como objetivo de melhorar estas características indesejáveis do arroz integral, com finalidade de aumentar o seu consumo. A utilização maior deste produto pode trazer benefícios tanto no aspecto nutricional como no econômico.

Comparando-se o arroz integral e o polido, observou-se que o primeiro apresentou um aumento de componentes nutritivos como proteína e vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e nicotina). Por outro lado, o processo para obtenção do primeiro produto, resultou uma redução de grãos quebrados e o aumento do rendimento total.

Com a finalidade de melhorar a cor característica do arroz integral, foram utilizados branqueadores nas seguintes condições de processamento: 1) Exposição direta do arroz integral ao peróxido de nitrogênio, variando-se o tempo de exposição (10 a 180 segundos); 2) Adição direta de peróxido de benzoila de diferentes concentrações (50 a 30.000 ppm) ao arroz integral e armazenado sob diferentes condições de umidade relativa (59,2%, 75,5% e 97,4%) a 20°C durante 60 horas; 3) Imersão do arroz integral em soluções com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (2,5 a 36%),

variando a temperatura (76 e 100°C) e o tempo (1, 2 e 4 min.).

Após tratamentos, estas foram drenadas e secas.

O tratamento com peróxido de nitrogênio não surtiu o efeito no melhoramento da cor, entretanto, com peróxido de benzoila ocorreu uma melhora a medida que se aumentou a concentração. As características de viscosidade do produto tratado apresentou uma ligeira diminuição, além de tornar o produto mais escuro após cozimento. O arroz integral tratado com peróxido de hidrogênio a 76°C e 100°C, apresentaram uma tendência de aproximar da cor característica do arroz polido, a medida em que se aumentou a concentração e tempo de tratamento. Entretanto, o efeito se tendeu a estabilizar nas faixas de concentrações superiores a 25% a 76°C por 4 min. e 7,5%, 10% e 20% a 100°C por 4, 2 e 1 min., respectivamente. As características de viscosidade do arroz integral tratada com peróxido de hidrogênio foram afetadas com aumento da concentração e a temperatura do tratamento, sendo que o efeito maior foi observado à temperatura de 100°C.

Baseado nas condições do processo, foram selecionados os melhores tratamento: 7,5% de peróxido de hidrogênio a 76°C por 4 minutos e 5,0% de peróxido de hidrogênio a 100°C por 4 minutos.

A análise sensorial, mostrou que estes tratamentos mesmo tendo melhorados a cor do arroz integral seu nível de aceitação continuou sendo inferior em relação ao arroz polido.

Para melhorar a estabilidade do arroz integral durante o armazenamento foi utilizado a energia de microondas. O tratamento por microondas para inativação da enzima lipase foi realizado, con

jugando os seguintes parâmetros: a) uso de diferentes potências de microondas (máxima e média); b) diferentes teores de umidades iniciais do arroz integral (13,4%, 14,6% e 17,3%); c) tempo de exposição variável (20 a 140 segundos).

O tratamento por microondas provou ser um método efetivo no controle da atividade da lipase. O efeito da melhor inativação foi com a potência máxima de microondas por 80 segundos de exposição sobre o arroz integral com teor de umidade de 14,6%. Durante o armazenamento desta amostra observou-se uma queda na produção de ácidos graxos livres (AGL) e peróxidos. Por outro lado, este tratamento resultou numa diminuição do teor de umidade do grão, a medida que aumentou o tempo de exposição. Além disso, tratamento sob estas condições apresentou pouca influência nas características de viscosidade e no aspecto nutricional houve uma ligeira diminuição no teor de tiamina e riboflavina e de aminoácido indispensável metionina. A tirosina, aminoácido dispensável, sofreu um maior efeito do tratamento.

SUMMARY

Brown rice has a higher nutritional value than polished rice because it has more protein and B-complex vitamins (thiamin, riboflavin and niacin); moreover, the process for its production results in a greater total yield with fewer broken grains. However, it is not consumed on a large scale. The reason for this include its undesirable color and its instability during storage. The objective of the present study was to improve these characteristics in order to increase its consumption, as greater utilization of brown rice can bring economic and nutritional benefits.

To improve the color of the brown rice the following bleaching agents and processing conditions were used: 1) direct contact with nitrogen peroxide for times varying from 10 to 180 seconds, 2) addition of benzoyl peroxide a different concentration (50-30,000 p.p.m.), with storage at a relative humidity of 59.2, 75.5 and 97.4% at 20°C for 60 hours, and 3) immersion in solutions of different concentration of hydrogen peroxide (2.5-36%) at varying temperatures (76°C-100°C) and for times of 1, 2 and 4 minutes. Following treatment, the samples were allowed to stand to drain the excess water and then dried.

Treatment with nitrogen peroxide did not improve the color of the brown rice, but an improvement was observed with

increasing concentrations of benzoil peroxide. There was, however, a change in the viscosity characteristics of the treated rice at maximum viscosity, and after cooking the color darkened. Treatment with hydrogen peroxide at 76 and 100°C resulted in color characteristics similar to those of polished rice, but there was an accompanying change in viscosity characteristics, increasing with increasing concentration and temperature up to a maximum at 100°C.

The following treatment provided the best color for brown rice: 7.5% hydrogen peroxide at 76°C for 4 minutes and 5.0% at 100°C for 4 minutes. Although these treatments resulted in a improved color, the acceptance of by a test panel of the treated rice continued to be lower than that for polished rice.

Microwave energy was used in order to improve the storage stability of brown rice. The following parameters were studied: 1) microwave energy level (maximum and medium); 2) initial humidity content (13.4, 14.6 and 17.3%), and 3) time of treatment (20 to 140 seconds). Microwave treatment proved to be effective in the control of lipase activity, with maximum inactivation at maximum power for 80 seconds for brown rice with an initial humidity of 14.6%. During the storage of such samples, a decrease in the production of free fatty acids and peroxide was observed. The moisture content of the grain decreased as the time of treatment increased, but little effect was observed on the viscosity characteristics. The effect on the nutritional value was a slight decrease in the content of

thiamin and riboflavin and the essential amino acid methionine.

I. INTRODUÇÃO

O arroz é considerado um dos cereais de maior importância devido sua grande produção e consumo. Por sua própria natureza morfológica, o arroz para ser consumido deve ser submetido a um processo denominado beneficiamento que constitui na remoção da casca, camada externa (farelo) e germe obtendo-se assim o arroz polido. Este produto é mais popular, apresentando a cor branca e translúcida que é desejada pela maioria dos consumidores. Entretanto, o arroz polido apresenta a qualidade inferior em relação ao arroz integral devido a perda de seus nutrientes durante beneficiamento, principalmente proteínas, vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina) e sais minerais (cálcio, ferro e fósforo), já que estes se encontram em sua maioria no farelo e no germe.

A utilização do arroz integral é limitada principalmente pela presença de uma coloração indesejável causada pelos pigmentos presentes no farelo. Por outro lado, o alto teor de lipídeos insaturados e enzimas lipolíticas, provocam o desenvolvimento de rancidez que diminuem o tempo de armazenamento do produto.

O objetivo deste trabalho é uma tentativa de melhorar estas características indesejáveis do arroz integral a fim de que o mesmo possa ser utilizado com maior aceitação pelo consumidor.

Com a finalidade de melhorar a cor, será estudado o efei

to do uso de branqueadores como peróxido de nitrogênio (gás), peróxido de benzoila (sólido) e peróxido de hidrogênio (líquido). Em relação a estabilidade do arroz integral, será testado a energia de microondas como agente de inativação das enzimas lipolíticas.

Estes tratamentos visam o desenvolvimento de um produto de larga aceitação com as seguintes vantagens: alto valor nutricional, redução da quebra dos grãos, aumento de rendimento, e eliminação da etapa de polimento.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. ORIGEM E PRODUÇÃO DO ARROZ

O arroz (*Oryza sativa*, L.), é um cereal originário do sudoeste da Ásia, que compreende a região leste da Índia, Indochina e sul da China (02).

Esse cereal pertence a família Gramineae, subfamília Pooideae (20). O número exato de espécies do gênero *Oryza* ainda não é bem conhecido. Entretanto, segundo Grist (33), há em torno de 25 espécies distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, América Central e do Sul e norte da Austrália.

Existem muitas variedades cultivadas no mundo, que são agrupadas em 3 sub-espécies: Indica Tropical, Japônica Temperada e Javânica. A Indica Tropical é caracterizada por grãos finos e achatados. A Japonica Temperada apresenta grãos curtos e arredondados, enquanto a Javânica tem grãos largos e grossos (20).

O arroz, junto com o trigo e milho, é um dos cereais de maior produção no mundo e constitui o principal alimento básico para cerca da metade da população mundial (18). Segundo dados da FAO, a produção mundial de arroz em casca atingiu aproximadamente 376 milhões de toneladas em 1978/79, provenientes do cultivo de uma área de cerca de 145 milhões hectares. Ainda que seja cultivado em todos os continentes, a Ásia é o maior produ-

tor, contribuindo com cerca de 91% da produção mundial. A produção brasileira neste período chegou a alcançar cerca de 8 milhões de toneladas numa área cultivada de aproximadamente 6 milhões de hectares, representando 2,4% da produção mundial (02).

B. VALOR NUTRICIONAL DO ARROZ

O grão de arroz não se constitui em uma mistura homogênea de substâncias químicas mas em um sistema heterogêneo (17). A composição química do grão foi estudada pela remoção sucessiva da camada periférica através do processo de abrasão tangencial com mínima quebra (66).

1. Proteína

O conteúdo médio de proteína de arroz integral é 8,67% (52). As análises realizadas com as frações removidas indicaram uma distribuição proteica heterogênea e confirmaram a existência de alto teor de proteína nas camadas externas do arroz (17). Além disso, observou-se que o teor de proteína nas frações removidas do grão, diminuiu progressivamente, da periferia para o centro (66). Apesar do baixo teor de proteína, esta tem um valor nutritivo superior em relação às proteínas de outros cereais devido seu maior teor de lisina. Entretanto, a lisina é ainda o primeiro aminoácido limitante do arroz, seguido pela

treonina, e embora este último aminoácido seja encontrado em um teor satisfatório, a sua disponibilidade não é suficiente, sendo a causa deste fato desconhecido (46).

A disponibilidade total dos sete aminoácidos indispensáveis no arroz estão dentro dos seguintes valores: 71 a 99% de lisina, 73 a 100% de treonina, 62 a 67% de metionina, 71 a 99% de isoleucina, 75 a 80% de leucina, 74 a 76% de fenilalanina e 71 a 100% de valina (46).

Nonaka et al. (65) analisando fezes de ratos tratados por glutelina de arroz, observaram uma disponibilidade de 87% de lisina e 86% de treonina. Juliano (46), mostrou que o cozimento não reduz a disponibilidade do grupo epsilon-amino de lisina na proteína do arroz, presumindo que o cozimento de arroz não provoca a decomposição da lisina.

A faixa de valores da taxa de eficiência proteica (PER) e o valor biológico (B.V.), do arroz obtidos foram: 1,73 a 1,93 e 67 a 89 para arroz integral e 1,38 a 2,56 e 61 a 81 para arroz polido, respectivamente (46).

A proteína do arroz integral tem uma digestibilidade ligeiramente menor que a do arroz polido (46). Entretanto, o cozimento melhora a digestibilidade das proteínas.

Em trabalhos experimentais que visam o aumento do teor proteico do arroz foi observado uma ligeira diminuição na qualidade da proteína, fato este explicado pelo aumento principalmente no teor de prolaminas, que são pobres em aminoácidos indispensáveis, notadamente a lisina. O aumento no nível pro-

teico da maioria das variedades se verificou nas camadas externas do grão enquanto que no seu interior os teores de proteínas são praticamente semelhantes (46).

2. Lipídeos

A fração lipídica do arroz se encontra em sua quase totalidade na superfície do grão. Aproximadamente, 80% dos lipídeos do arroz integral estão localizados no farelo e cerca de um terço desta fração é encontrada no germe. No arroz integral degerminado cerca de 70% dos lipídeos totais estão no farelo que correspondem a 8% do grão (46). Estudos realizados por Roberts (74), mostraram que à medida que aumentou a remoção sucessiva das camadas externas foi diminuído o teor de gordura presente no grão de arroz.

Os principais ácidos graxos do arroz integral são oléico, linolêico e palmítico (46).

Lugay et al. (56), usando o método de extração com éter de petróleo, encontraram nos lipídeos do farelo altos teores ácidos linolêico e linolênico, mas baixos teores dos ácidos palmíticos, palmitolêico e esteárico. O mesmo trabalho efetuado em arroz polido mostrou menores teores em todos os ácidos graxos.

Os triglicerídeos contribuem com 85 a 90% dos lipídeos totais do farelo e 60% do endosperma (46). Yasumatsu et al. (91) relataram menores teores dos ácidos linolêico e oléico e maiores

teores de ácido palmítico nos triglicerídeos presentes no arroz polido quando comparado com os do arroz integral.

3. Vitaminas

Embora o arroz possua pequenos níveis de vitaminas, muitos consumidores utilizam dele como fonte destas, notadamente as do complexo B (40). O conteúdo vitamínico do arroz integral é bastante pronunciado, quando comparado com o do arroz polido, especialmente a tiamina a niacina e a riboflavina, uma vez que as maiores proporções destas vitaminas estão localizadas na camada da aleurona e do germe (47). A distribuição destas vitaminas no arroz integral são de 78% tiamina, 47% riboflavina e 67% de niacina localizadas no farelo (46). Roberts (74) observou a presença destas vitaminas através da remoção sucessiva de camadas externas correspondentes a 2 a 10% do peso do arroz integral. Os resultados mostraram que as amostras com menor remoção das camadas periféricas possuíam alto nível da tiamina, riboflavina e niacina quando comparadas com aquelas que sofreram maiores remoções.

Os cálculos mostraram que no processo de polimento, as perdas vitamínicas podem atingir cerca de 76,3% de tiamina, 56,6% de riboflavina e 63,0% de niacina (46).

4. Sais Minerais

O conteúdo médio de cinza no arroz integral e no poli-

do segundo Leclerc (52) é 1,22 e 0,36%, respectivamente. O teor de cinzas no grão de arroz se distribui da seguinte forma; 62% no farelo, 10% no germe e 28% no endosperma.

Ferro, fósforo e potássio mostraram uma distribuição similar a cinzas (46). Leclerc (52) mostrou que mais de 50% da cinza do arroz é uma combinação de fósforo, cálcio, potássio, magnésio e sódio, sendo que 25% está na forma de fosfato de potássio. Entre os minerais, o cálcio, ferro e fósforo tem merecido maior atenção dos pesquisadores. Houston et al. (40) citaram que os níveis de cálcio, fósforo e ferro correspondem a respectivamente 32, 355 e 1,6 mg por 100 g do arroz integral enquanto que Doesthal et al. (26) citaram valores dos mesmos de 18, 348 e 2,2 mg por 100g do arroz integral. As diferenças das quantidades de minerais presente no arroz são atribuídos às composições diferentes do solo, ao clima e as variedades (46).

As perdas destes nutrientes devido ao processo de polimento foram diretamente proporcionais ao grau de extensão do polimento. O polimento parcial de 5% do arroz integral resultou numa remoção de 36,0% de cálcio, 51,0% de fósforo e 54,0% de ferro (26).

C. BENEFICIAMENTO DO ARROZ

A Figura 1 mostra a estrutura do grão de arroz. A ca-

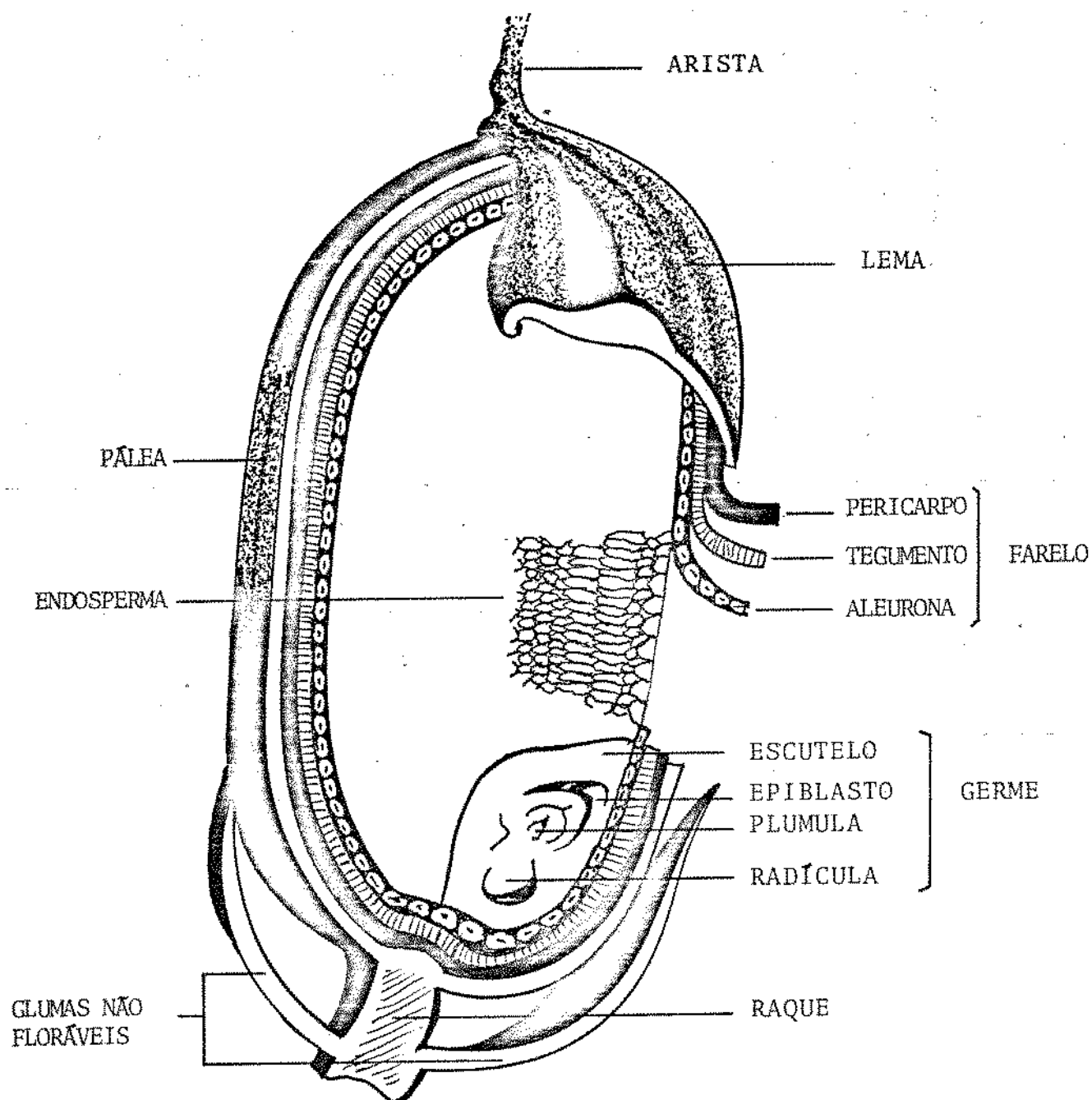


FIGURA 1. Estrutura do grão de arroz

riopse, parte comestível, representa cerca de 72 a 82% do grão integral, e é constituída de 1 a 2% de pericarpo, 4 a 6% de aleurona e tegmento, 2 a 3% do germe e 89 a 94% de endosperma (46). A casca protetora da cariopse, abrange de 18 a 28% do grão e é formada por alta porção de fibras, lignina e cinzas (38).

Devido a sua estrutura, o arroz não pode ser utilizado em sua forma natural. Para transformá-lo em um produtos aceitável ao consumo, é necessário sujeitá-lo a um processo de beneficiamento que consiste na retirada da casca, farelo e germe (89). Este processo abrange basicamente quatro operações: limpeza, descascamento, polimento e classificação do grão (90).

A primeira etapa do processo é a remoção do material estranho que acompanha o grão de arroz. A segunda etapa é a remoção da casca não comestível, que deve ser extraída com uma eficiência superior a 92% (90). Obtem-se desta forma o arroz integral que é composto de três partes principais: farelo, germe e endosperma. O farelo de arroz corresponde às camadas externas do grão que é composto do pericarpo, testa, perisperma e aleurona. Comercialmente o germe é incluído no "farelo" (37). A terceira etapa de operação compreende a remoção do "farelo" que contém pigmentos escuros, alto teor de gordura e enzimas lipolíticas, resultando em um produto branco e translúcido denominado arroz polido, que é preferido pelos consumidores e é basicamente constituído do endosperma amiláceo. Durante o processo do polimento, pode ocorrer a quebra de grãos que é estimada em cerca de 15% do total do arroz polido (86). Os grãos quebra-

dos podem passar através das peneiras juntamente com o farelo , reduzindo assim o rendimento do produto (74), além de diminuir seu valor comercial (60,82).

Os principais fatores que contribuem para o aumento das quebras podem ser: má regulagem, alimentação excessiva e resfriamento deficiente da máquina de polimento (89). Também a umidade relativa e temperatura do ambiente são considerados fatores importantes, uma vez que estas condições geralmente influenciam as quebras dos grãos durante polimento (14,90).

Embora a fração externa seja comestível e de alto valor nutritivo, ela é normalmente removida, pois além de apresentar uma coloração escura, não desejada pelo consumidor, ela se deteriora facilmente, causando o aparecimento de ranço durante o armazenamento, provocado pela presença de compostos graxos insaturados e enzimas lipolíticas (06,46,47). A maior parte desta fração é usada em rações para animais, sendo frequentemente também usada para extração de óleo comestível (32).

A última etapa do processamento é a classificação dos grãos por tamanho. Esta operação é necessária, pois uma fração das quebras é reincorporada aos grãos inteiros e comercializada dentro de limites permitidos pela legislação. Nos Estados Unidos, estes limites variam de 4 a 50%, de acordo com o nível de qualidade do arroz comercializado (89). Outra parte dos grãos quebrados é destinada, principalmente à indústria de cervejaria (90).

Leclerc (52) estudou a magnitude das perdas de nutrien

tes de arroz baseado na produção anual média nos EEUU. A produção de arroz polido foi de aproximadamente 454 mil toneladas. O material removido pelo polimento de arroz integral foi equivalente a 45,4 mil toneladas. Isto significa aproximadamente 9,1 mil toneladas de gordura, 5,7 mil toneladas de proteína e 4,1 mil toneladas de minerais. Praticamente todos estes materiais são utilizados como rações animais. Durante o processo de polimento de arroz nos EEUU são removidos em média, cerca de 2,3 mil toneladas de fósforo e 907 toneladas de potássio anualmente. O processo de polimento de arroz, portanto, causa grande perda nos nutrientes importantes ao homem, como proteína, vitaminas e elementos minerais.

D. ARMAZENAMENTO

O arroz é armazenado tanto em casca como beneficiado. O primeiro tipo de armazenamento predomina nas zonas de produção enquanto o beneficiado é estocado tanto nas regiões de produção como nos centros de consumo (20). Entretanto, durante o armazenamento, há sempre uma perda de arroz por ataque de pragas, deterioração microbiológica e rancificação (47), sendo que o último item é o mais importante em se tratando de arroz integral, e por isto será aqui analisado.

1. Desenvolvimento de rancidez

Kik (48), considera o armazenamento de arroz com casca ou polido como sendo menos susceptível as deteriorações em relação ao arroz integral ou semi-polido. O arroz integral e o semi-polido, são susceptíveis à deterioração dos componentes lipídicos durante o armazenamento. Lugay et al. (56) observaram que os lipídeos do arroz localizados principalmente nas camadas externas são glicerídeos constituídos por ácidos graxos insaturados (AGI). Além dos ácidos graxos insaturados, nestas camadas existem as enzimas lipase, cujas atividades hidrolíticas e oxidativas são iniciadas pela ruptura da camada superficial do arroz integral durante o descascamento.

a. Enzimas

As enzimas exercem funções muito importantes. Sua presença em alimentos, pode acarretar mudanças na composição dos mesmos, que em alguns casos são desejáveis, mas na maioria das vezes são indesejáveis, sendo portanto, necessário sua inativação (25).

Um dos grupos de enzimas importantes no arroz e que deve ser inativado é o grupo das enzimas lipolíticas. O grão de arroz contém galactolipase e fosfolipase além da lipase. A primeira preferencialmente hidrolisa ácidos graxos de posição 1 de Monogalactosil diglicerídeo (MGDG) enquanto que a segunda mostra especificidade na posição 2 de ácidos graxos. A lipase é uma enzima que hidrolisa cadeias longas de ácidos graxos de

triglicerídeo. Ela atua na interfase da emulsão de óleo e água, e também atua em baixas umidades e em meios não aquosos.

Portanto, qualquer condição que resulte no aumento da interfase água-lípide irá aumentar a atividade desta enzima. Considerando a atividade de acil-hidrolase no grão de arroz como 100, e a lipase presente no endosperma concorre com 1, a galactolipase com 2 e a fosfolipase com 3. Estas mesmas enzimas, no farelo são responsáveis por 57, 35 e 2 respectivamente (64).

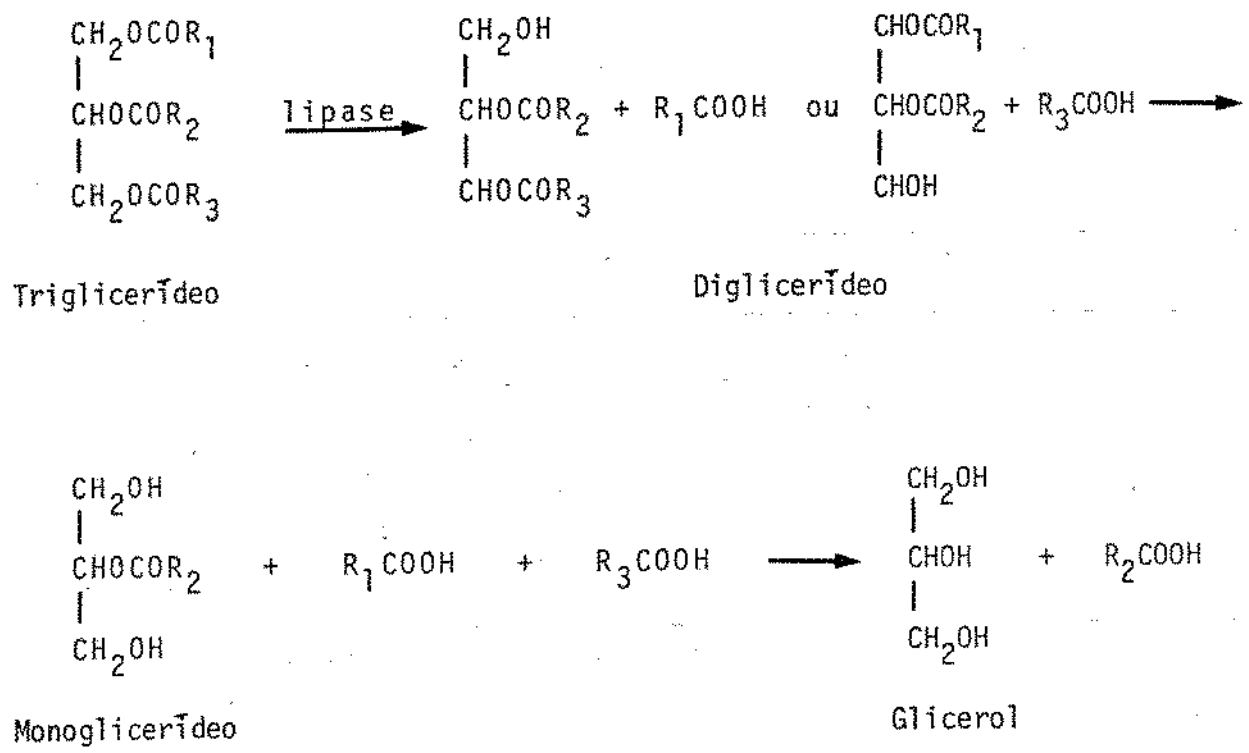
Matsuda e Hirayama (58) determinaram as seguintes condições ótimas para a atividade da lipase: pH 7,5 e temperatura de 36°C. Os autores também verificaram que 60% da atividade total da lipase está no germe e o restante, em sua maior parte, no farelo.

Vários autores (04,05,79) isolaram a lipase do farelo de arroz. Essa enzima contém triglicerídeos (TG) e ácidos graxos livres que parecem ser parte integral de sua estrutura. Aizonó et al. (03) observaram que a lipase, na realidade corresponde a um grupo de isoenzimas. A enzima originalmente descrita foi chamada de lipase I, a segunda isoenzima chamada lipase II e a terceira isoenzima, em menor teor ainda não foi bem caracterizada. A lipase I do farelo de arroz hidrolisa triacetina, tributirina e tricaprina muito mais rapidamente que a do óleo de farelo e outros triglicerídeos de cadeia longa e não mostra especificidade de posição, enquanto a lipase II apresenta uma alta especificidade.

Durante o armazenamento do arroz pode ocorrer a hidrô-

lise de glicerídeo pela ação das lipases que provocam a rancidez e portanto estudos analíticos na hidrólise enzimática de lípídeos de arroz são certamente de grande importância do ponto de vista químico e bioquímico de alimentos.

A lipase cataliza a reação enzimática descrita abaixo (06):



b. Mecanismo da deterioração de lípídeos

Tribold (86) classificou a deterioração da gordura em três tipos: rancidez hidrolítica, oxidativa e cetônica.

No desenvolvimento da rancidez hidrolítica ocorre uma hidrólise de glicerídeos pela lipase, produzindo di e monoglice

rídeos, ácidos graxos livres e glicerol (06,25).

Segundo Labuza (55), todos os ácidos graxos insaturados sofrem deterioração oxidativa, assim como os contidos nos triglicerídeos e fosfolipídeos. Os ácidos graxos livres diminuem o período de indução de absorção de oxigênio pela gordura, sendo observado um efeito maior com os ácidos graxos de cadeia maior. Portanto, os ácidos graxos livres são mais susceptíveis a oxidação e a velocidade dessa reação é mais rápida quanto maior for a insaturação (85). O processo de rancificação oxidativa consiste na adição do oxigênio ao glicerídeo insaturado ou ácidos graxos livres, com a formação de peróxido ou compostos como óxidos e ácidos. A oxidação dos lipídeos ocorre segundo o mecanismo dos radicais livres (68,69), em três etapas: indução, propagação e final (28).

No período de indução, a absorção de oxigênio é muito lenta e o índice de formação de peróxido cresce muito pouco com o tempo. Na etapa de propagação, o índice de peróxido cresce e atinge o máximo, quando ocorre o equilíbrio entre a velocidade de formação e a decomposição dos peróxidos. Na etapa final, a decomposição dos peróxidos prevalece, ocorrendo então a polimerização do lipídeo (28). A presença de íons metálicos (Co^{++} , Cu^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} e Ni^{++}), lipoxigenase, luz e ar são catalizadores da oxidação dos lipídeos, sendo entretanto a principal condição a presença de oxigênio ou ar (85). O armazenamento na ausência de ar, é um método muito eficiente para retardar a deterioração oxidativa.

A rancidez cetônica é causada pela ação de certos fungos principalmente, *Penicillium* e *Aspergillus*, em presença de umidade e material nitrogenado produzindo o metil cetonas como produtos finais (49,85).

O arroz integral embora apresente maior valor nutricional que o arroz polido, ele está sujeito à rancificação pela presença de ácidos graxos insaturados e enzimas lipolíticas, concentrados principalmente na camada de farelo. Alguns autores (17,19), citam que a gordura no arroz não processado é mais resistente a rancidez oxidativa do que a do arroz processado, possivelmente porque a mesma está localizada mais internamente no grão, estando portanto protegida contra a ação do oxigênio. A instabilidade do arroz é devido a presença de seus lipídeos que estão sujeitos a rancidez oxidativa e rancidez hidrolítica provocada pela ação da lipase com formação de ácidos graxos livres, ambas causadas pelo rompimento das células do farelo durante os processos de descascamento e polimento parcial (41).

A deterioração é maior em temperaturas e níveis de umidade elevadas, sendo favorecida a formação de ácidos graxos livres pela ação da lipase a partir dos lipídeos do grão (41). Nessas condições a lipase provoca rápida hidrólise dos lipídeos presentes no farelo de arroz. A velocidade inicial de hidrólise tem sido relatada como 1% de ácidos graxos livres por hora, com base no teor de lipídeo e pode atingir a 60% em um mês (39). No arroz integral, o teor de ácidos graxos livres, eleva-se rapidamente durante o período de indução, evidentemente devido a

ação da lipase de arroz (41,81).

2. Métodos para evitar a deterioração do arroz

O arroz integral, apesar de seu valor nutritivo superior, não é bem aceito popularmente. Este fato se deve à sua coloração escura, devido ao pigmento presente no farelo, indesejável aos hábitos alimentares da maioria dos consumidores e também devido a sua deterioração durante o armazenamento. Poucos trabalhos foram realizados com finalidade de melhorar a qualidade tecnológica de arroz integral, principalmente devido a sua pequena aceitação pela população.

Entretanto, algumas práticas tem sido usadas para evitar estes problemas como: o controle das condições de armazenamento, a extração dos lipídeos, uso de calor e radiações eletromagnéticas para inativação enzimática.

a. Controle das condições de armazenamento

Hunter et al. (41), investigaram o desenvolvimento de ácidos graxos livres no arroz integral armazenado durante 22 semanas nos seguintes níveis de umidade: 3,9; 6,6; 9,5; 11,8 e 14,1% (base úmida) e nas temperaturas de 0, 2, 25 e 35°C. Os resultados mostraram um aumento dos ácidos graxos livres com altos níveis de umidade e temperatura. Neste mesmo estudo os autores sugeriram que a melhor condição de armazenamento do arroz era a 9,5% de umidade e a temperatura de 25°C. Segundo

Sowbhagya et al. (81), não houve desenvolvimento de peróxido e grupos carbonilas no arroz ligeiramente polido (semi-polido) armazenado durante 3 anos a temperatura ambiente na ausência de luz.

A redução do teor de umidade e/ou temperatura de armazenamento, podem reduzir a velocidade da atividade enzimática permitindo prolongar o armazenamento do arroz integral. De acordo com Chikubu (22), devido a medidas práticas econômica é feito no armazenamento do arroz o controle de umidade relativa e da temperatura que estão na faixa de 70-80% e 10-15°C, respectivamente, sendo que estas condições são difíceis de serem mantidas em países tropicais.

b. Extração de lipídeos por solventes

Os lipídeos insaturados e as enzimas lipolíticas concentradas nas camadas externas do grão do arroz integral são as principais causas da rancidez hidrolítica e oxidativa durante seu armazenamento. Portanto, a remoção dos lipídeos torna as enzimas lipolíticas presentes não funcionais, devido a ausência do substrato, resultando desta forma no melhoramento da estabilidade do arroz durante seu armazenamento. Baseado nisso, alguns trabalhos foram realizados usando solventes que removem as gorduras.

Ozai-Durrani (70), mostrou que a estabilidade do arroz foi aumentada através da extração dos lipídeos por hexano a temperatura ambiente.

Kibuuka (47), estudou o efeito de tempo de extração dos lipídeos, usando éter de petróleo, na estabilidade do arroz integral. O resultado mostrou que além de 300 minutos de extração, houve uma pequena redução nos ácidos graxos livres e no desenvolvimento de peróxidos durante o armazenamento.

c. Uso de calor na inativação enzimática

A inativação da enzima é uma operação que também pode melhorar a qualidade do arroz integral. Essa inativação da enzima pode ser alcançada por vários métodos como o uso de calor que é responsável pela desnaturação das enzimas lipolíticas do arroz localizadas no farelo e no germe.

A utilização de calor seco no processamento de alimentos é menos efetivo em relação ao calor úmido. Testes em farelo de arroz mostraram que a aplicação de vapor a 100°C por 45 minutos foi mais efetivo na inativação enzimática do que a aplicação de calor seco a 100°C por 3 horas. O tratamento com vapor foi muito mais eficiente e requer menor tempo para inativação, porém, o tratamento com calor seco reduz a umidade do arroz a 3-3,5% o que é útil para seu posterior armazenamento (39).

Kibuuka (47) mostrou que o tratamento do arroz integral com vapor a 118°C sob pressão de $1,94 \text{ Kg/cm}^2$ por 1 minuto foi efetivo na inativação enzimática. Este tratamento provocou uma desnaturação parcial das enzimas lipolíticas, resultando uma atividade residual das enzimas que ainda liberam certa quantidade de ácidos graxos livres que se encontram dentro da faixa da

qualidade aceitável. O tratamento nas mesmas condições, mas em tempos superiores a 1 minuto provocam um aumento na quantidade de peróxido.

d. Uso de radiações eletromagnéticas

As radiações eletromagnéticas interagem com as matérias orgânicas, como as proteínas, causando trocas químicas, ionização ou excitação, que podem alterar o seu estado normal (44, 76). A enzima sendo uma proteína de estrutura quaternária pode consequentemente ser altamente susceptível a estas irradiações. O emprego delas pode ser um meio de controle do desenvolvimento de ácidos graxos livres pela lipase no arroz integral armazenado.

Roseman et al. (75), tentaram estabilizar o óleo presente em amostras de arroz integral usando "gás plasma" de intensidade de 50 ma e 2 mmHg por 15 minutos. As amostras tratadas desenvolveram uma menor quantidade de ácidos graxos livres em relação aquelas não tratadas.

O estudo da intensidade da irradiação gama na estabilidade do arroz integral, mostrou que não houve uma notável redução na velocidade de hidrólise dos lipídeos (47).

Além dos processos de conservação da qualidade do arroz integral citados com certa frequência, uma outra alternativa que se apresenta com possibilidades no futuro, é o uso da energia de microondas para a inativação das enzimas lipolíticas, visto que as microondas, tem sido utilizadas como forma de ina-

tivação de enzimas em outras áreas (27,29).

E. USO DE ENERGIA DE MICROONDAS NOS ALIMENTOS

As microondas são parte do espectro eletromagnético conforme ilustrado na Figura 2. 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, 2.450, 5.800 e 22.125 megacíclos por segundos (24), sendo que a maioria dos fornos de microonda possuem a frequência de 2.450 Mc/seg. (72).

1. Propriedades das microondas

As microondas são ondas eletromagnéticas de alta frequência e geradas por meio de tubos de potências especiais como Magnetrons, Klystrons e Amplitons (84). As microondas possuem grande poder de penetração e propagam-se em todas as direções no produto, corretamente exposto, de uma maneira rápida e uniforme, provocando uma distribuição de calor em todas as regiões do mesmo (62). O aquecimento pode ser independente de condução térmica, mas é função da espessura de penetração. Em geral, a penetração aumenta quando a frequência diminui. Devido à grande for

915 2450 Mc

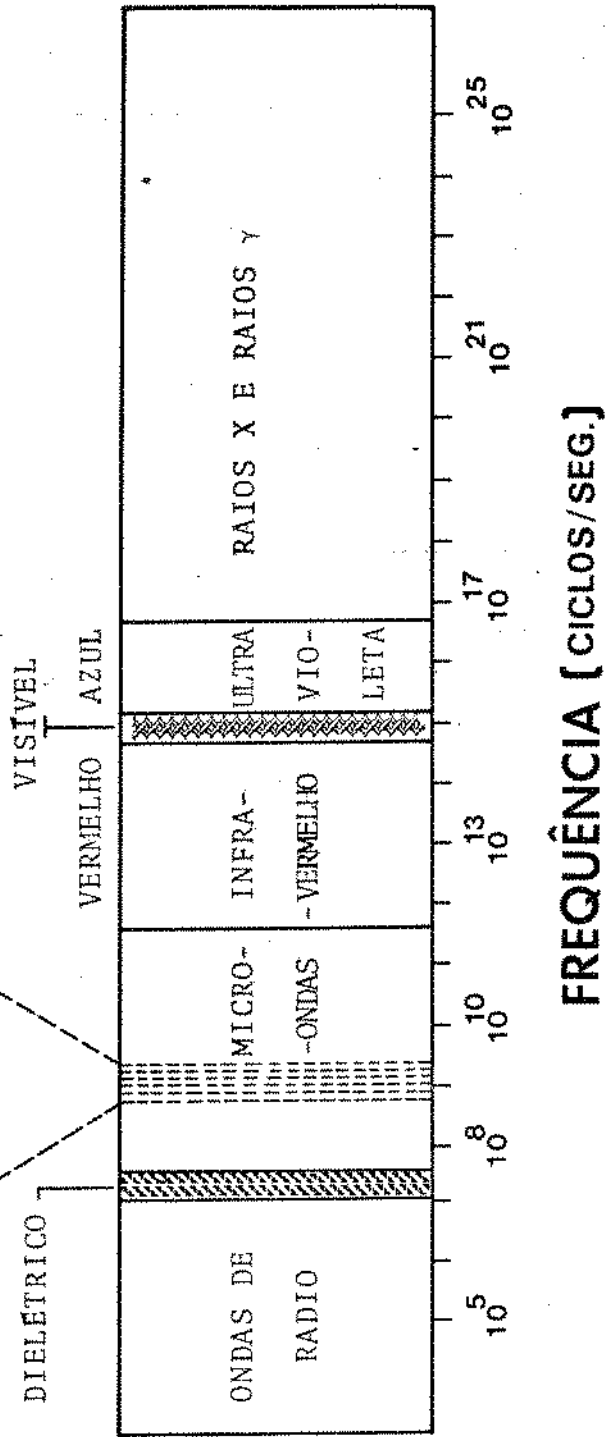
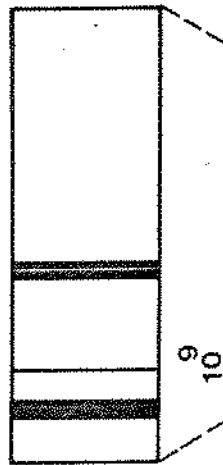


FIGURA 2. Espectro eletromagnético

ça de penetração das microondas, o alimento que está sendo aquecido não apresenta gradiente de calor tendo, temperatura uniforme em toda a sua massa (54).

Quando as radiações de microondas atingem um objeto, podem ser refletidas, absorvidas ou transmitidas dependendo de vários fatores como seu coeficiente dielétrico, seu formato e seu teor de umidade (77). O efeito de aquecimento é devido principalmente a interação das ondas com os átomos e as moléculas polarizadas do material ou interação com íons livres.

A maioria dos materiais que são eletricamente neutros apresentam número de cargas opostas iguais. Quando estas materiais são expostos a um campo de microondas, as moléculas carregadas vibram e o calor é gerado pela fricção entre elas (21). As moléculas dipolares, como a água, quando submetidas a um campo eletromagnético apresentam uma rápida vibração e a energia envolvida na mesma é liberada como calor (77). Devido ao fato de os alimentos apresentarem um alto teor de umidade, é possível aquece-los com energia de microondas. No caso de íons, eles são atraídos pelo campo elétrico e suas colisões com moléculas não ionizadas resultam em calor. Os efeitos dos aquecimentos podem ocorrer de maneira extremamente rápida e uniforme em todo material, sendo fácil o seu controle (78).

Entretanto, nem todas as substâncias podem ser aquecidas por energia de microondas. A maioria das matérias secas, tais como plásticos, vidros, papéis, cerâmica e madeiras não

absorvem efetivamente as frequências de microondas e que são facilmente transmitidas, mantendo-se sem aquecimento. Tais materiais são utilizadas como recipientes para o tratamento de microondas. Os metais refletem as microondas, sem produzir aquecimento, sendo portanto usados na construção dos fornos de microondas impedindo o escape de energia (77).

2. Inativação das enzimas

Doty e Baker (27) estudaram o efeito de energia de microondas (2.450 MHz) no condicionamento de trigo Durum antes da moagem e processamento, sobre a qualidade da semolina e do espagete. As amostras foram tratadas com a energia de microondas num intervalo de 0 a 600 segundos. Os resultados mostraram que no trigo condicionado com microondas, houve um decréscimo da atividade de α -amilase com tempo superior a 360 segundos e uma perda da atividade de 80% de β -amilase e 25% de lipoxigenase após 600 segundos.

Edwards (29), utilizou a energia de microondas para inativar as amilases do trigo e da sua farinha com 20% de umidade. Os resultados mostraram que com o aumento do tempo de exposição a energia de microondas até 120 segundos sobre amostras causou um aumento na viscosidade da pasta até um valor máximo ocorrendo em seguida uma ligeira diminuição. Este comportamento foi atribuído a inativação progressiva da α -amilase, a perda de umidade e a desnaturação do glúten.

Aref et al. (13), verificaram que farinhas com alta atividade de α -amilase, sofrendo uma exposição a energia de microondas em tempo de 60 segundos, tiveram a atividade das enzimas reduzidas a um nível aceitável, sem prejudicar características da farinha e a formação da massa.

3. Outras aplicações

Roberts (73), estudou os efeitos da energia de microondas na gelatinização de arroz com casca, arroz integral e arroz polido. O arroz com alto teor de umidade (30-35%) após tratamento com microondas durante 2 a 5 minutos, mostrou-se semelhante ao arroz parboilizado. Entretanto, os grãos com menores teores de umidade (16 a 23%) antes do tratamento com microondas, originaram um produto pastoso após seu cozimento.

Huxsoll e Morgan (42), verificaram que o grau de cozimento para os grãos de arroz é função do teor de água, da temperatura e do tempo de cozimento. O aquecimento dos grãos em baixa umidade causou a gelatinização parcial do amido, possibilitando ao grão adquirir umidade mais rapidamente. No processo de pré-cozimento do arroz, os mesmos autores afirmaram que o uso da energia de microondas é vantajoso porque ela tem grande habilidade de penetração e concentra o campo, causando um aquecimento rápido e uniforme e permitindo a formação de uma estrutura porosa no grão que facilite uma posterior rehidratação.

Matthews et al. (59), estudaram o uso da energia de mi

microondas na secagem de arroz com casca na tentativa de elevar o rendimento de grãos inteiros.

Okabe et al. (67), desenvolveu um método para medir o teor de umidade de grãos usando a energia de microondas. Essa determinação é instantânea, precisa e independente da qualidade e da forma de grão.

F. AGENTES BRANQUEADORES USADOS EM ALIMENTOS

Como foi mencionado anteriormente, os consumidores tem menor preferência pelo arroz integral, devido aos pigmentos castanhos escuros presentes nas camadas externas do grão. Em adição a este fator indesejável, o arroz integral pode sofrer o fenômeno de rancificação durante seu armazenamento, sendo portanto, maior seu consumo na forma polida. Isto pode ser uma das razões da inexistência de estudos feitos para o melhoramento da cor do arroz integral.

Entretanto, há vários estudos realizados no melhoramento da cor da farinha de trigo utilizando reagentes químicos chamados branqueadores de uso permitidos em alimentos.

1. Cor da farinha de trigo

A farinha de trigo é uma mistura heterogênea que con-

têm partículas de diferentes tamanhos e de proporções variáveis do endosperma, de farelo e algumas vezes do germe (08). A cor de farinha pode ser afetada por vários fatores, como a quantidade de pigmentos presentes no endosperma, que consistem principalmente de carotenóides. O grau de extração da farinha está relacionado com a quantidade, o tamanho, e a cor das partículas de farelo presente. Além disso, a presença de impurezas, tais como a poeira, pode afetar a cor da farinha (08,71).

2. Pigmentos carotenóides do trigo

Historicamente, o interesse em relação aos pigmentos carotenóides começou com o desenvolvimento do processo de branqueamento da farinha. Enquanto a demanda de farinha para produção de pães e bolos requer um produto o mais branco possível, os moageiros são solicitados para produzir semolina de cor mais amarelada para manufatura de produtos tais como macarrão e espagete (08).

Ferrari e Bailey (31), estudaram as mudanças nas concentrações de carotenóides no armazenamento da farinha natural sob diferentes condições e o efeito de branqueamento. Eles encontraram que estes pigmentos são prontamente oxidados a compostos menos coloridos por agentes branqueadores e mais lentamente pela exposição ao ar.

A farinha padrão (72% de extração) contém pigmentos em quantidade que variam de 1,5 a 4 ppm, expresso como carotenói-

des (71). A cor da farinha foi originalmente identificada como pigmentos "carotenos", na suposição de que o caroteno, um precursor da vitamina A, representasse o maior componente da pigmentação. Entretanto, foi subsequentemente mostrado que os pigmentos carotenóides consistem de xantofilas, éster de xantofilas, carotenos, flavanas, e produtos de decomposição de clorofila, sendo que a xantofila representa o composto predominante destes grupos e os carotenos constituem em menos que 1,0% dos pigmentos (71). Estas substâncias coloridas contêm cadeia de carbono longas e insaturadas que prontamente absorvem oxigênio ou cloro na ligação dupla para produzir compostos menos coloridos.

3. Principais agentes branqueadores

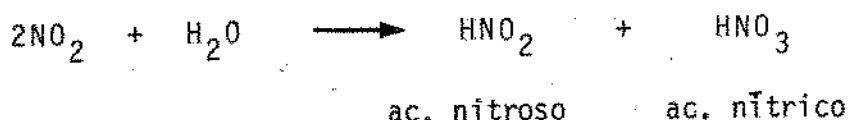
Entre os oxidantes químicos permitidos para adição à farinha de trigo (35) como agentes branqueadores, estão o peróxido de nitrogênio (gás) e o peróxido de benzoila (sólido). O peróxido de hidrogênio (líquido) é também atualmente muito utilizado nos processos de branqueamento industriais.

a. Peróxido de nitrogênio

O peróxido de nitrogênio foi o primeiro agente branqueador usado comercialmente com sucesso, em um processo patenteado em 1901, sendo introduzido pela primeira vez em um moinho nos Estados Unidos em 1904. O gás foi no início preparado

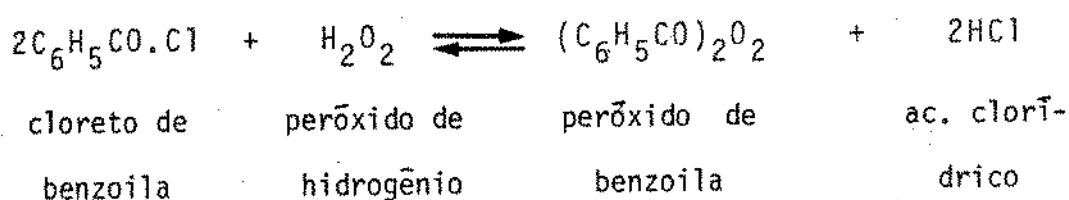
quimicamente, porém, posteriormente, o peróxido de nitrogênio, foi obtido eletricamente injetando-se ar através de um arco elétrico (07,08). O peróxido de nitrogênio é o nome comumente aplicado a mistura de dióxido de nitrogênio (NO_2) e tetraóxido de dinitrogênio (N_2O_4) encontrando-se em equilíbrio nas temperaturas elevadas.

O peróxido de nitrogênio pode reagir com o caroteno ($\text{C}_{40}\text{H}_{56}$) formando um componente sem cor de composição desconhecida (35). Quando o peróxido de nitrogênio é aplicado à farinha este atua não somente no caroteno, mas também na água presente na farinha. Esta reação é apresentada pela equação seguinte:

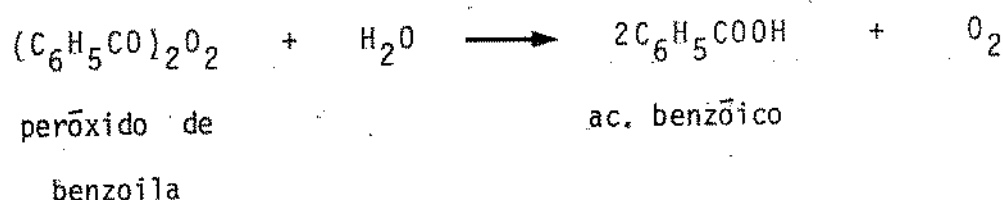


b. Peróxido de benzoila

O peróxido de benzoila é um produto cristalino, branco que foi usado pela primeira vez em 1917, como branqueador de farinhas, porém, já fora usado anteriormente como agente branqueador de gorduras e óleos (08). É um produto insolúvel em água mas solúvel em gordura e solventes apolares. O peróxido de benzoila é produzido pela ação do peróxido de hidrogênio e do cloreto de benzoila em solução alcalina e sendo uma substância instável, ele é misturado com um material inerte (fosfato de cálcio) antes da secagem. A equação para a reação é a seguinte:



O peróxido de benzoila transforma-se facilmente em ácido benzóico liberando oxigênio que reage com os pigmentos naturais da farinha. Uma propriedade conveniente desse reagente branqueador é sua solubilidade em gorduras, pois o caroteno é lipossolúvel e provavelmente está presente no trigo associado às gorduras favorecendo portanto sua oxidação pelo peróxido de benzoila (35). A reação de peróxido de benzoila com água é:



A ação de oxidação do peróxido de benzoila é dependente da interação com a fração oleosa da farinha. Portanto, deve haver um contato íntimo entre o óleo e o agente branqueador e, desde que não é solúvel em água, a presença de umidade tende a inibir a interação (09).

A reação de peróxido de benzoila com a farinha é complexa porque várias substâncias na farinha podem reagir com oxigênio, competindo com a ação branqueadora do mesmo nos pigmentos carotenóides. Em temperaturas elevadas, a eficiência do branqueamento é mínima, uma vez que outros componentes reagem

rapidamente com o oxigênio do que os pigmentos carotenóides. Abaixo de 10°C, a taxa de branqueamento torna-se tão lenta que não é viável economicamente, enquanto que a temperatura de 30°C o branqueamento é reduzido. Em temperaturas normais (15-20°C), a taxa e a eficiência do branqueamento são altas e portanto, estas são as faixas de trabalhos economicos e mais convenientes. Em trabalhos usando estes intervalos de temperaturas, observou-se que 95 a 100% do branqueamento ocorreu em 24 horas não havendo mudanças significantes após 48 horas (09).

Segundo normas recentes do governo Americano (08), ficou limitado o uso de peróxido de benzoila em quantidades de até 50 ppm. O principal problema para o uso indiscriminado do peróxido de benzoila é que em consequência da ação de branqueamento, ocorre a formação de ácido benzóico, que permanecem na farinha e no pão. A adição desse branqueador em níveis de até 50 ppm, não causa prejuízo a saúde, uma vez que outros regulamentos permitem maiores quantidades de ácidos benzóicos em bebidas e certos pickles e molhos (09).

c. Peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio é um excelente solvente ionizante, mas seu uso é limitado pela sua natureza fortemente oxidante e pela facilidade de decompor-se na presença de traços de íons de metais pesados (12). Entretanto, em soluções diluídas, com 30% de peróxido de hidrogênio é largamente usado como oxi-

dante, encontrando várias aplicações em diversas áreas da indústria de alimentos como no enlatamento de produtos e na fabricação de pão (88).

Sim et al. (80), estudaram o efeito da adição de peróxido de hidrogênio (40, 200 e 600 ppm) no branqueamento, para o preparo de marinagem de arenque. Os resultados mostraram que o efeito do branqueamento do produto foi maior com o uso de concentrações mais altas. Além disso, o produto tratado aumentou sua vida de prateleira comparado com o produto não tratado.

Além do seu emprego na área de alimento, o peróxido de hidrogênio é muito utilizado nos branqueamentos das fibras sintéticas e naturais, sabão, gorduras, pêlos e outros.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. MATERIAIS

1. Matéria-prima

Foi usada a variedade do arroz IAC-120, desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas, na Estação Experimental de Pindamonhangaba. O híbrido inicial proveio de um cruzamento artificial entre as variedades Iguape Agulha e Americana Nina (20).

2. Reagentes

Para os tratamentos, foram utilizados reagentes de grau de pureza exigida pelos métodos para determinação química.

3. Equipamentos

Além dos aparelhos e equipamentos comuns de laboratório foram também utilizados os seguintes:

- Máquina D'Andrea modelo compacto junior tipo 2C/R.
- Moinho Quadromatic Senior Brabender
- Espectrofotômetro Filterfarbmessgerät RFC-3 Computer HP 2100A.
- Forno de microondas (modelo: Kenmore, Potência: 1,5 Kw, frequência: 2.450 Mhz)

- Branqueador Brabender (produtor de peróxido de nitrogênio)
- Potenciômetro acoplado ao titulador automático (Metrohm-Herisau)
- Centrifuga automática refrigerada (SORVALL: RC2-B)
- "Semi-Automatic Moisture Tester Brabender"
- Evaporador rotatório do "flash" Buchler
- Estufa marca FANEM com circulação forçada de ar.
- Espectrofotômetro Coleman Junior III
- Analisador de aminoácidos BECKMAN, modelo 120C
- Agitador com controle de temperatura (PSYCROTHERM)
- Refrigerador com equipamento para controle de temperatura
- Banho-maria com controle de temperatura
- Espectrofotoflorômetro Aminco-Bowman

B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

1. Beneficiamento do arroz

a. Obtenção de arroz integral

Foram beneficiados 10 Kg de arroz com casca usando a máquina D'Andrea. Na operação de descascamento, os roletes de borracha foram ajustados a uma distância de 1 mm. Para evitar posterior polimento de arroz, as três unidades de borracha que circundam a pedra carborundum foram afastadas totalmente.

b. Obtenção de arroz polido

Foram beneficiados 10 Kg de arroz com casca para se obter o arroz polido. A distância dos roletes de borracha permaneceu constante a 1 mm como no processo anterior, entretanto, o espaço entre o cilindro carbôndum e o conjunto de borracha foi ajustado manualmente a uma posição especificada para polir o arroz a um grau desejado.

2. Processos utilizados para o melhoramento da cor do arroz integral

a. Tratamento com peróxido de nitrogênio

Vários lotes de 100 g de arroz integral foram colocados em erlenmeyer de 500 mL conectados a um tubo de entrada de gás proveniente do branqueador Brabender. Esse aparelho foi previamente fixado usando-se corrente elétrica e vazão de fluxo de ar baixo durante toda a operação para se obter uma quantidade constante de gás. Nestas condições, as amostras em duplicatas foram expostas ao gás durante 10, 20, 40, 60 e 180 segundos.

Durante o tratamento as amostras foram agitadas manualmente. Esse método experimental foi baseado no trabalho apresentado por Alexander (07).

b. Tratamento com peróxido de benzoila

Foram introduzidas 60 g de arroz integral em erlenmeyer de 500 mL contendo as seguintes quantidades de peróxido de benzoila calculadas em relação ao peso da amostra: 50, 500, 10.000, 20.000 e 30.000 ppm. As amostras foram agitadas a 250 rpm em um agitador horizontal durante 90 minutos. Em intervalos de 15 minutos as amostras foram agitadas manualmente a fim de propiciar uma melhor mistura entre o arroz e o reagente. Após o tempo especificado, estas misturas foram colocadas em dessecadores previamente condicionados a várias umidades relativas controladas, durante 60 horas. Os parâmetros utilizados neste experimento foram baseados nos métodos utilizados por Houston (38) e Alexander (09).

A relação entre as diversas soluções salinas saturadas e as respectivas umidades relativas a 20°C (34) são:

Soluções salinas saturadas a 20°C	Umidade relativa (%)
NaBr	59,2
NaCl	75,5
K ₂ SO ₄	97,4

c. Tratamento com peróxido de hidrogênio, a 76°C e 100°C

Foram preparadas 35 mL de soluções em quadruplicata,

com as seguintes concentrações de peróxido de hidrogênio: 2,5; 5,0; 10,0; 12,5; 15,0; 20,0; 30,0; 36,0%. Estas soluções, inicialmente, foram aquecidas a temperatura de 76°C sendo adicionado 20 g de arroz integral em cada uma delas.

A metade das amostras em solução foram mantidas à temperatura de 76°C e a outra foi aquecida até atingir a temperatura de 100°C. As amostras nas duas temperaturas foram mantidas por 1, 2 e 4 minutos. Após o tratamento térmico, as amostras foram drenadas e submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 40°C, até atingir umidades inferiores a 14%.

3. Processo utilizado para o melhoramento da estabilidade do arroz integral

a. Controle de umidade inicial

Foram feitas pulverização de água destilada no arroz integral, para elevar seu teores de umidade a níveis de 13,4; 14,6; 17,3%. As amostras condicionadas foram colocadas separadamente dentro de sacos plásticos hermêticamente fechados e deixados a temperatura ambiente durante 1 hora.

A quantidade de água adicionada a amostra foi calculada usando-se a seguinte fórmula:

$$Q = \left(1 - \frac{100 - U_f}{100 - U_o} \right) P$$

onde

Q - quantidade de água a ser adicionada para atingir a umidade final desejada (mL)

U_f - umidade final da amostra (%)

U_o - umidade inicial da amostra (%)

P - peso da amostra (g)

b. Tratamento do arroz integral por microondas

Em todos os experimentos foram usadas 80 g de amostra em uma placa de petri ($\phi = 9,4$ cm; $h = 1,4$ cm; $e = 0,2$ cm), colocada no centro de forno de microondas.

As amostras com teores de umidade de 13,4; 14,6; 17,3%, foram expostas a potência máxima e média por um período de tempo de 20 a 100 e 40 a 120 segundos, respectivamente. Na metade do tempo de exposição usado, as amostras contidas no interior da placa foram invertidas para possibilitar uma melhor distribuição da energia (73).

c. Secagem

O arroz tratado com microondas foi espalhado sobre peneira em camadas de aproximadamente 2 cm de espessura e levado a estufa com circulação de ar forçada à temperatura de 40°C, onde permaneceu o tempo necessário para secar a amostra a um teor de umidade próximo a 13,5%.

d. Moagem

Foi feita a moagem do arroz polido, integral e integral tratado na seção da quebra e redução do moinho Brabender Quadromatic Senior para a obtenção da farinha com granulometria uniforme. No processo de quebra as amostras passaram por um conjunto de 4 cilindros corrugados e no processo de redução por um conjunto de 4 cilindros praticamente lisos.

e. Extração da enzima lipase

Foi feita a extração da enzima lipase na farinha de arroz integral desengordurada. Primeiramente para a extração do óleo presente, 40 gramas de amostras moídas foram lavadas com éter de petróleo durante 5 minutos usando-se um agitador (47 ciclos/min., com ângulo de inclinação de 30°). O solvente foi drenado e a operação foi repetida 5 vezes. Após este tratamento, as amostras foram deixadas a temperatura ambiente cerca de três horas para evaporação do solvente. Após a obtenção da farinha desengordurada e seca, as amostras foram misturadas com cloreto de cálcio 0,01 M na proporção de 1:5. O pH da mistura foi ajustado para 6,0 com álcali (NaOH 0,1 N). A suspensão obtida foi agitada durante 3 horas a 59°C em agitador (PSYCROTHERM) em seguida centrifugada a 12.000 x g, durante 20 minutos a 59°C. O sobrenadante obtido foi designado como extrato bruto e utilizado na determinação da atividade da lipase.

C. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Determinação da cor do arroz

Foram colocadas 12 g de amostras em cápsulas de vidro para a determinação da sua coloração usando o Espectrofotômetro Filterfarbmessegerat RFC-3 Computer HP 2100 A. Hewlett Packard, com disco de 7900 Å e lâmpada de xenon XB 250W. O espectrofotômetro foi calibrado previamente com sulfato de Bário (BaSO_4).

A determinação da refletância (em percentagem) foi feita na faixa de espectro visível (400-700 nm). A tonalidade e a cor apresentadas pelas amostras podem ser localizadas no diagrama de cromaticidade da Comissão Internacional de Iluminação (Figura 3), usando os valores das coordenadas de cromaticidade K_x e K_y . A diferença total de cor (DE) foi calculada de acordo com a fórmula de Adams/Nickerson/Stults, DIN 5033 (92):

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

onde

DAC é a diferença de cromaticidade

DAL é a diferença de luminosidade

2. Propriedades físicas do arroz

a. Determinação da viscosidade

A determinação da viscosidade foi feita com o uso do

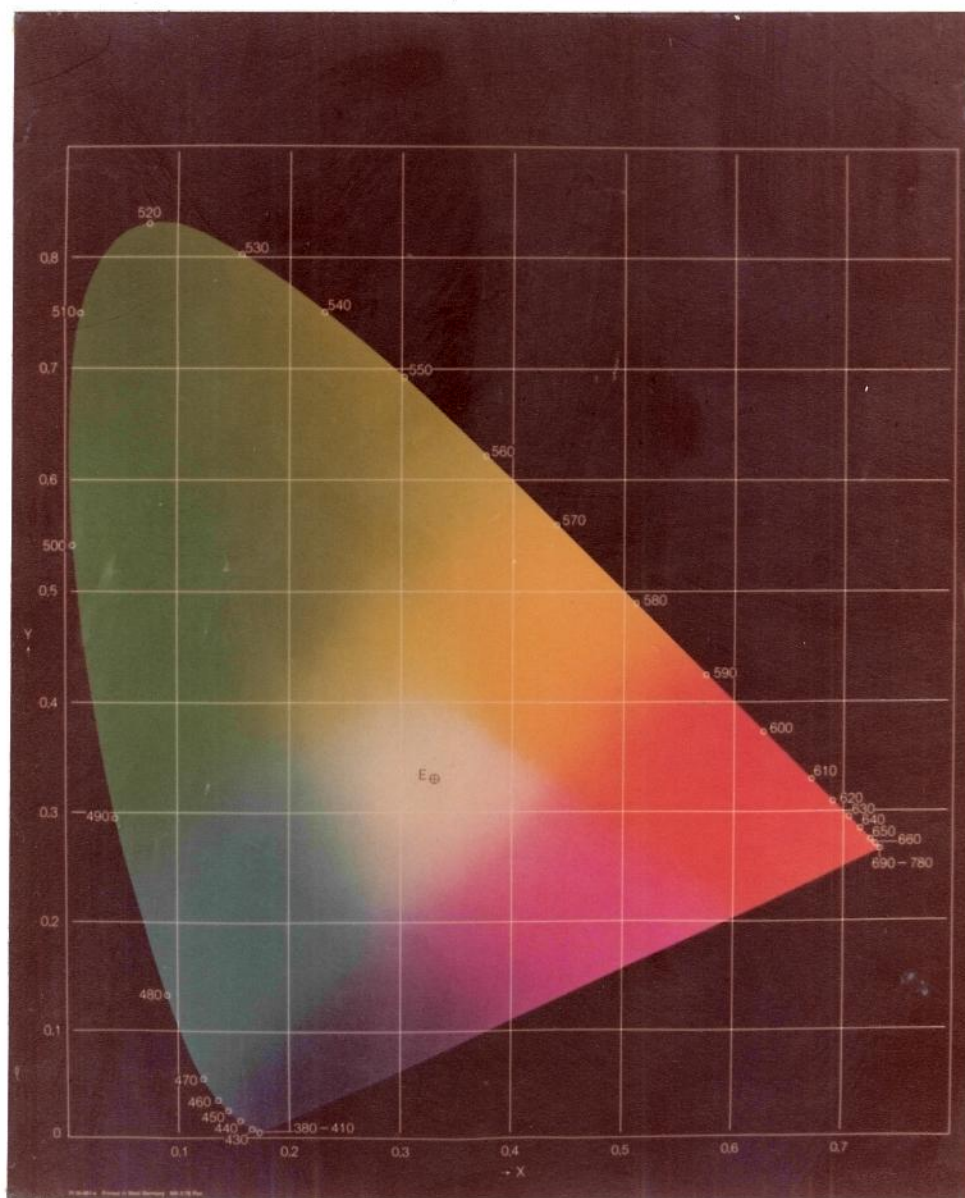


FIGURA 3. Diagrama de cromaticidade da Comissão Internacional de Iluminação

viscoamilógrafo Brabender. Todas as amostras foram moídas no sistema de quebra e redução do moinho Brabender Quadrumat Senior para obtenção das farinhas com granulometria uniforme.

Foi usado uma concentração de 54 g de farinha (14% umidade) em 450 mL de água destilada. Esta suspensão foi colocada no copo do amilógrafo e a temperatura inicial foi ajustada a 25°C. A velocidade de aumento da temperatura foi 1,5°C por minuto até atingir a máxima de 95°C permanecendo constante a esta temperatura durante 20 minutos. A seguir foi ligado o ciclo de resfriamento, com abaixamento da temperatura de 15°C por minuto, até a temperatura final de 50°C. A velocidade da agitação em todo o ciclo foi mantida constante a 75 rpm. Os seguintes parâmetros foram tomados para a interpretação do viscoamilograma [viscosidade em unidades amilográficas (U.A.) X tempo em minuto (min.)] :

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

- viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento;
- iv. Viscosidade máxima: corresponde ao valor da viscosidade máxima da curva em U.A. durante o ciclo de aquecimento;
- v. Viscosidade a 95°C: o valor da viscosidade em U.A. quando a suspensão atinge 95°C durante o ciclo de aquecimento;
- vi. Viscosidade mínima a temperatura constante: o valor mínimo de viscosidade da suspensão em U.A., durante o ciclo de temperatura constante a 95°C;
- vii. Viscosidade final a 50°C: corresponde o valor da viscosidade em U.A., quando a temperatura atinge a 50°C, no ciclo de resfriamento.

b. Teste de cozimento

As amostras de arroz foram cozidas de acordo com o método utilizado por El-Dash (30).

Foram adicionadas 16 g de amostra a 320 mL de água destilada em ebulição. O tempo de cozimento foi considerado desde a adição da água até a completa gelatinização do amido de arroz. A determinação do tempo ótimo para o cozimento é verificada, pressionando-se os grãos de arroz entre duas placas de vidro. Quando as amostras prensadas não apresentarem pontos opacos considera-se completa a gelatinização.

A determinação da absorção de água foi baseada no método

do anterior. O arroz cozido foi espalhado sobre um papel de filtro, onde permaneceu durante 5 minutos para remoção de água superficial do grão. Após isso foi transferido para uma placa de petri tarada e feita a pesagem imediata da amostra. Os grãos entumescidos, após sua pesagem foram secos em estufa com circulação de ar forçada à pressão atmosférica, a 115°C durante 16 horas. Após este período, a amostra foi colocada em dessecador durante meia hora e pesada novamente. A diferença de peso do grão antes e após a secagem foi usada para o cálculo da absorção da água por meio da seguinte fórmula:

$$P_a = \left(\frac{P_c - P_f}{P_f} \right) \cdot 100$$

onde

P_a = percentagem de absorção (%)

P_c = peso de arroz cozido antes da secagem (g)

P_f = peso de arroz cozido após secagem.

3. Umidade

Para determinação da umidade do grão do arroz usou-se o método nº 44-18 da A.A.C.C. (01). Para as farinhas de arroz usou-se o "Semi-Automatic Moisture Tester Brabender" à 130°C durante 1 hora.

4. Proteína

Determinou-se o conteúdo de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl nº 46-10 da A.A.C.C. (01). O conteúdo de proteína total do arroz foi calculado usando o fator 5,95 (45).

5. Gordura

Determinou-se de acordo com o método nº 30-20 da A.A.C.C. (01), utilizando-se a extração contínua com éter de petróleo, P.E. 30-60°C, em aparelho Goldfish.

6. Fibra

Determinou-se segundo o método utilizado pelo Van De Kamer e Van Ginkel (87).

7. Cinzas

Foi determinado pela calcinação da amostra durante 2 horas a 600°C, segundo o método nº 08-03 da A.A.C.C. (01).

8. Aminoácidos

a. Determinação de triptofano

Foi determinado pelo método colorímetro usando a solu-

ção cloreto fêrrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) em ácido acético glacial e ácido sulfúrico, segundo Coucon (23).

b. Outros aminoácidos

Os outros aminoácidos foram analisados por cromatografia de troca iônica de acordo com Moore et al. (63), usando o analisador Beckam Model 120 C.

Uma quantidade da farinha equivalente a 15 mg de proteína, foi colocada em uma ampola de pirex juntamente com 10 mL de ácido clorídrico (HCl) 5 N. As ampolas foram desaeradas com bomba de vácuo, fechadas com bico de bunsen e o conteúdo foi hidrolisado a 110°C por 22 horas. O hidrolisado foi resfriado e o volume completado com 25 mL de água destilada. Em seguida foi filtrado usando papel de filtro Whatman nº 12. Os filtrados foram evaporados no evaporador rotatório "Flash" a 55°C . Os cristais residuais foram dissolvidos três vezes em 10 mL de água destilada e re-evaporados para eliminação completa de ácido clorídrico. Para os cristais residuais foram adicionados 10 mL de solução tampão de citrato de sódio (pH 2,2) e finalmente filtrados. Uma alíquota do filtrado equivalente a 0,6 mg de proteína foi injetada no analisador.

9. Vitaminas

a. Tiamina (vitamina B_1)

Foi determinada por métodos comprovados de "Análises

de Vitaminas" (83).

b. Riboflavina (vitamina B_2)

Determinou-se por métodos comprovados de "Análises de Vitaminas" (83).

c. Niacina

Foi determinada segundo o método nº 43.045, 43.046-b da A.O.A.C. (11).

10. Determinação da atividade enzimática

Para 1,0 mL de extrato bruto de enzima foram adicionados 0,1 mL de KCl (0,5 M) e 1,0 mL de $CaCl_2$ (0,005 M) e o volume final foi completado a 9,8 mL com água destilada deionizada. Esta solução foi ajustada a pH 7,5 com adição de aproximadamente 0,1 mL de NaOH (0,01 N). Após isso, foi adicionado 0,2 mL do substrato tributirato de glicerila (tributirina) 99%.

Os ensaios foram realizados a $35 \pm 0,5^\circ C$ sob agitação constante. A produção dos ácidos graxos livres (AGL) em consequência da reação enzimática foi neutralizada por titulação automática usando-se a solução de NaOH (0,01 N) nos tempos de 5 e 10 minutos (05).

11. Estabilidade do arroz durante o armazenamento

O arroz polido, integral e integral tratado foram colo

cados separadamente em frascos de vidro, hermeticamente fechados, de aproximadamente 2 litros de capacidade, a fim de se estudar a estabilidade destas amostras durante o armazenamento por seis meses.

a. Ácidos graxos livres

O conteúdo de ácidos graxos livres foi determinado usando o método modificado de nº 02-04 da A.A.C.C. (01).

Foram adicionados 30 g de farinha de arroz em 70 mL de benzeno. A mistura foi agitada a 200 rpm em agitador rotatório durante 5 minutos. A suspensão foi filtrada e em 25 mL do filtrado foram adicionados 25 mL de álcool etílico (previamente neutralizado com hidróxido de sódio). A solução foi titulada com hidróxido de potássio 0,01 N, usando-se fenolftaleína como indicador.

b Índice de peróxido

Foi determinado usando 100 g de farinha de arroz de acordo com o método de Mehlenbacher (61).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. CARACTERÍSTICAS DO ARROZ INTEGRAL E DO ARROZ POLIDO

Por sua própria natureza, o arroz não pode ser utilizado em sua forma natural. Devido a isso, antes de transformá-lo em produto aceitável para o consumo é necessário que seja submetido ao processo de beneficiamento. Entretanto, o arroz integral requer menos etapas de beneficiamento que o arroz polido, o que resulta em certas diferenças nas propriedades destes produtos.

1. Rendimento total

Os resultados do rendimento dos processos de obtenção do arroz integral e do polido estão na Tabela I.

Os resultados obtidos mostram que o arroz integral apresentou 17,2% a mais grãos inteiros do que arroz polido. Este aumento se deve a eliminação da etapa de polimento, que além de diminuir a quebra dos grãos, remove o farelo. Pode-se também observar que houve uma extração de farelo do arroz integral de 0,75%, enquanto que no arroz polido esta extração foi de 11,47%, estando esses resultados de acordo com dados da literatura (46, 75). Em consequência disto o rendimento do arroz integral foi maior que o do polido. Observa-se que a quantidade de arroz quebrado foi aumentada no processo de polimento, variando de 5,72%

TABELA I

Rendimento total do arroz integral e polido

Componentes	Porcentagem (%)	
	Arroz integral	Arroz polido
Grão inteiro	71,55	54,34
Arroz de segunda classe ¹	3,76	6,55
Arroz de terceira classe ²	1,96	5,89
Farelo	0,75	11,47
Casca	17,88	17,58
Perda	4,11	4,17
Rendimento total ³	77,27	66,71

¹Arroz de segunda classe (20): $1/2$ a $3/4$ do grão integral²Arroz de terceira classe (20): $> 1/2$ do grão integral³Rendimento total (89) = grão inteiro + arroz de segunda classe + arroz de terceira classe

no arroz integral para 12,44%, no arroz polido.

O arroz integral, requer menor uso de equipamento o que reduz o consumo de energia e resulta em menor custo de operação (74).

2. Propriedades químicas

Devido a distribuição heterogênea dos constituintes químicos no grão de arroz, a intensidade do polimento altera consideravelmente a composição química do mesmo.

a. Composição química

A composição química do arroz integral e polido é apresentada na Tabela II. Os resultados obtidos estão dentro das faixas de valores encontrados na literatura (52).

O arroz integral apresentou maior conteúdo da proteína, gordura, cinza e fibra do que o arroz polido, mostrando assim, que o aumento destes componentes foi devido a presença da camada externa (farelo) e germe não removida.

b. Vitaminas

A presença de vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina) no arroz integral e no polido é observada na Tabela III.

Os teores de vitaminas, mesmo presentes em pequenas quantidades, foram maiores no arroz integral. O arroz integral

TABELA II

Composição química do arroz integral e polido

Componentes	Porcentagem (%)			
	Arroz integral	Arroz polido	Diferença ¹	Diferença baseada no rendimento ²
Umidade	13,43	13,43	0,0	0,1
Proteína (Nx5,95)	8,99	7,97	12,8	27,9
Gordura	2,50	0,65	284,6	336,0
Fibra	1,06	0,26	307,7	362,1
Cinza	1,34	0,34	294,1	346,8
Carboidrato ³	73,68	77,35	-4,8	10,3

Cálculos

$$^1\text{Diferença (\%)} = \left(\frac{\text{Arroz integral} - \text{Arroz polido}}{\text{Arroz polido}} \right) \times 100$$

$$^2\text{Diferença baseada no rendimento total (\%)} = \left(\frac{\text{teor de arroz integral} \times \text{rend. do arroz integral} - \text{Teor de arroz polido} \times \text{Rendimento do arroz polido}}{\text{teor do arroz polido} \times \text{rendimento do arroz polido}} \right) \times 100$$

³Excetuando fibras, determinado por diferença

TABELA III

Conteúdo de vitaminas do arroz integral e polido

Componentes	Porcentagem (%)			
	Arroz integral	Arroz polido	Diferença*	Diferença baseada no rendimento total*
Tiamina (B ₁)	0,366	0,064	471,9	548,3
Riboflavina (B ₂)	0,057	0,029	96,6	122,8
Niacina	7,733	1,333	480,1	557,6

* Mesma fórmula aplicada na TABELA II

apresentou mais vitaminas do complexo B do que o arroz polido. A percentagem de tiamina, riboflavina e niacina no arroz integral foi superior em níveis de 548,3; 122,8 e 557,6, respectivamente baseado no rendimento total. Isto mostra que o processo de polimento resulta em eliminação destas vitaminas que se encontram, principalmente, nas camadas externas do grão.

c. Aminoácidos

Os valores do conteúdo de aminoácidos (aa) indispensáveis e dispensáveis do arroz integral e do arroz polido são apresentados na Tabela IV.

Baseando-se no rendimento total, houve um aumento pronunciado de aminoácidos no arroz integral que variou de 22,4 a 34,0% para os aminoácidos indispensáveis, principalmente, metionina, triptofano e lisina e de 17,6 a 198,7% para os aminoácidos dispensáveis, notadamente sobre tirosina e cistina.

3. Propriedades físicas

a. Viscosidade

As características de viscosidade das suspensões de arroz integral e polido, determinadas através do Viscoamilógrafo Brabender, estão apresentadas na Tabela V e Figura 4.

Observa-se que as duas curvas tem formas semelhantes em todo seu perfil, entretanto com magnitudes de viscosidade diferentes. O arroz integral apresentou menor viscosidade em to-

TABELA IV

Conteúdo de aminoácidos em arroz integral e polido

Aminoácidos (aa)	(g/16 g N)		(g/100 g arroz)		Diferença baseada no rendimento ² (%)
	Arroz in- tegral	Arroz po- lido	Arroz inte- gral	arroz po- lido	
<u>Indispensáveis</u>					
Lisina	3,41	3,34	0,323	0,178	+ 30,3
Treonina	4,00	4,11	0,272	0,219	+ 24,2
Valina	5,80	5,78	0,394	0,307	+ 28,3
Metionina	2,09	2,00	0,142	0,106	+ 34,0
Isoleucina	4,12	4,17	0,280	0,222	+ 26,1
Leucina	8,75	9,15	0,595	0,486	+ 22,4
Fenilalanina	5,56	5,58	0,378	0,297	+ 27,3
Triptofano	1,81	1,77	0,126	0,094	+ 34,0
<u>Dispensáveis</u>					
Histidina	2,00	1,85	0,136	0,098	+ 38,8
Arginina	8,01	6,60	0,545	0,351	+ 55,3
Ac. aspártico	9,51	10,24	0,647	0,544	+ 18,9
Serina	5,58	5,75	0,379	0,306	+ 28,9
Ac. glutâmico	19,26	20,94	1,309	1,113	+ 17,6
Prolina	4,54	4,82	0,309	0,256	+ 20,7
Glicina	4,66	4,76	0,317	0,253	+ 25,3
Alanina	5,98	6,14	0,407	0,326	+ 24,9
Cistina (1/2)	1,51	1,12	0,103	0,060	+ 71,7
Tirosina	3,42	1,46	0,233	0,078	+ 198,7
Amonia	1,80	2,20	0,122	0,117	+ 4,3

Cálculos¹ Teor de aa baseado no rendimento de 100 g de arroz com casca: (g/16gN) x teor de prot. x rend. total² diferença de aa baseada no rendimento de 100g de arroz com casca:

$$\left(\frac{\text{Teor de arroz integral} - \text{Teor de arroz polido}}{\text{Teor de arroz polido}} \right) \times 100$$

TABELA V

Características viscoamilográficas do arroz integral e polido

Características	Arroz integral	Arroz polido
Temperatura inicial de ge latinização (°C)	71,5	70,0
Temperatura de viscosida de máxima (°C)	90,0	89,0
Viscosidade máxima (U.A.) ¹	630	740
Viscosidade mínima a tem- peratura constante de 95°C (U.A.)	330	430
Viscosidade máxima no ci- clo de resfriamento (U.A.)	690	980

¹U.A. - Unidade amilográfica

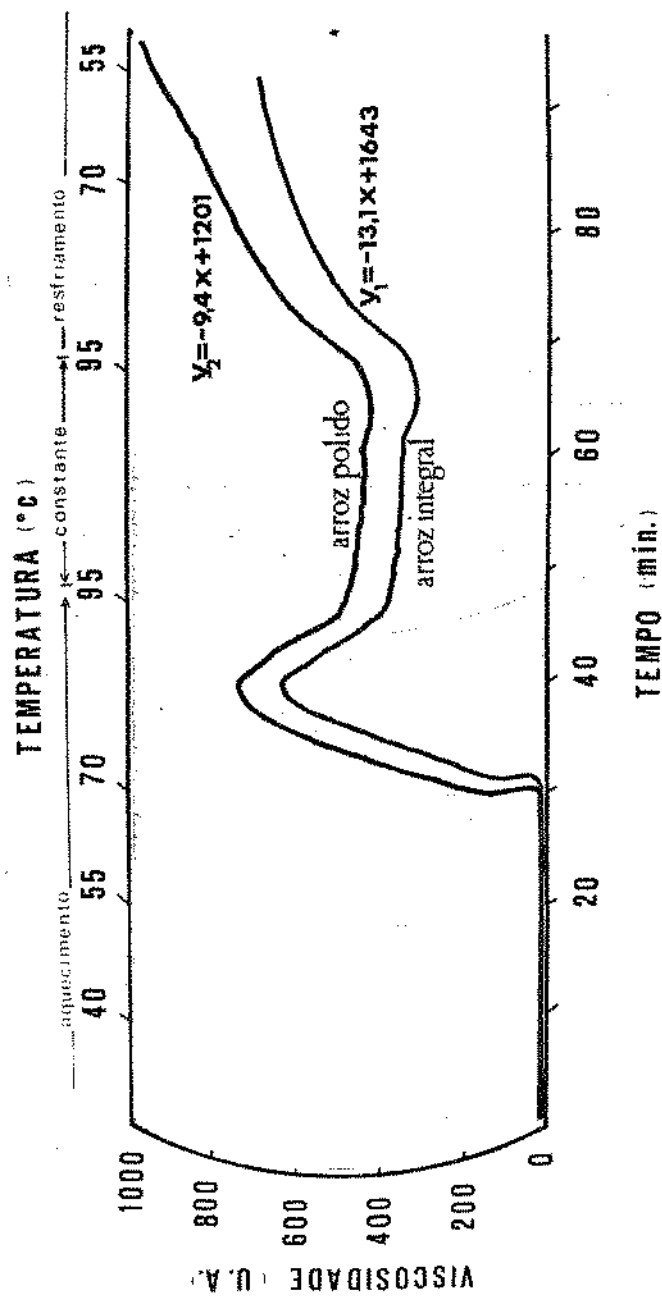


FIGURA 4. Amilogramas do arroz integral e polido (x - temperatura em °C; y - viscosidade em U.A.)

da extensão e a temperatura inicial de gelatinização foi ligeiramente maior em relação ao arroz polido. Isto pode ser explicado pelo menor teor de amido presente no arroz integral.

No ciclo de resfriamento, a tendência à retrogradação das amostras é mostrado na Tabela VI, pela equação da reta $y_1 = -13,1x + 1643$ e $y_2 = -9,4x + 1201$, para o arroz integral e arroz polido respectivamente. A diferença do coeficiente angular entre as amostras na retrogradação não foi somente devida as diferenças na concentração de amido. O comportamento do arroz integral na retrogradação pode ser provavelmente causado pela presença de ácidos graxos livres e de outros lípidos que podem provocar uma complexação com a amilose, resultando uma tendência a diminuir a taxa de retrogradação.

b. Teste de cozimento

Os resultados do teste de cozimento do arroz são apresentados na Tabela VII.

O tempo necessário para o cozimento do arroz integral foi de cerca de 15 minutos a mais do que o do arroz polido. Isto foi atribuído a presença da camada externa do arroz integral que dificultou a penetração de água no interior do grão.

Durante o cozimento, as amostras absorveram grandes quantidades de água, entretanto no arroz integral a absorção foi inferior à do arroz polido. O arroz integral cozido, apesar de mostrar os grãos abertos longitudinalmente nas camadas superficiais, apresentou grãos soltos, que são preferidos por grande par

TABELA VI

Parâmetros da equação da reta e coeficiente de correlação de retrogradação do arroz integral e polido

Parâmetros ¹	Arroz integral	Arroz polido
Coeficiente angular	-13,1	-9,4
Ponto de intersecção	1643	1201
Coeficiente de correlação	0,9938	0,9803

¹Foram obtidos no ciclo de resfriamento (95 a 50°C), num intervalo de 3 em 3°.

TABELA VII

Teste de cozimento do arroz integral e polido

Características	Arroz integral	Arroz polido
Tempo de cozimento (min.)	37,0	22,0
Absorção de água (%)	202,8	243,7

te da população ocidental (89).

c. Características de cor do arroz

Os pigmentos presentes no farelo dão ao arroz integral uma coloração marrom escuro, enquanto o arroz polido, onde foram removidas as camadas externas, por meio do polimento, apresenta uma coloração branca e translúcida. A diferença em cor das amostras, medida por espectrofotômetro é apresentado na Tabela VIII e na Figura 5.

Por meio desta Figura pode-se verificar que a presença de farelo no arroz integral produz uma coloração indesejável aos hábitos da população. Além disso, pelos valores da diferença de cromaticidade (DAC), diferença de luminosidade (DAL) e diferença total de cor (DE), ilustrados na Tabela VIII, pode-se verificar as características de cor distintas entre o arroz integral e o arroz polido.

4. Estabilidade do arroz integral e do arroz polido durante o armazenamento

A acidez, devido a produção de ácidos graxos livres, provocado pela ação da enzima lipase, e o índice de peróxidos, desenvolvido durante o armazenamento, tem sido apontado como fatores que refletem a estabilidade e a qualidade do arroz.

TABELA VIII

Características de cor do arroz integral e polido

Amostras	Leitura Espectrofotométricas				
	Kx ¹	Ky ²	DAC ³	DAL ⁴	DE ⁵
Arroz integral	0,3804	0,3849	-	-	-
Arroz polido	0,3491	0,3689	7,2	9,8	12,2

¹Kx - valor da abscissa no diagrama de cromaticidade²Ky - valor da ordenada no diagrama de cromaticidade³DAC - diferença de cromaticidade⁴DAL - diferença de luminosidade⁵DE - diferença total de cor

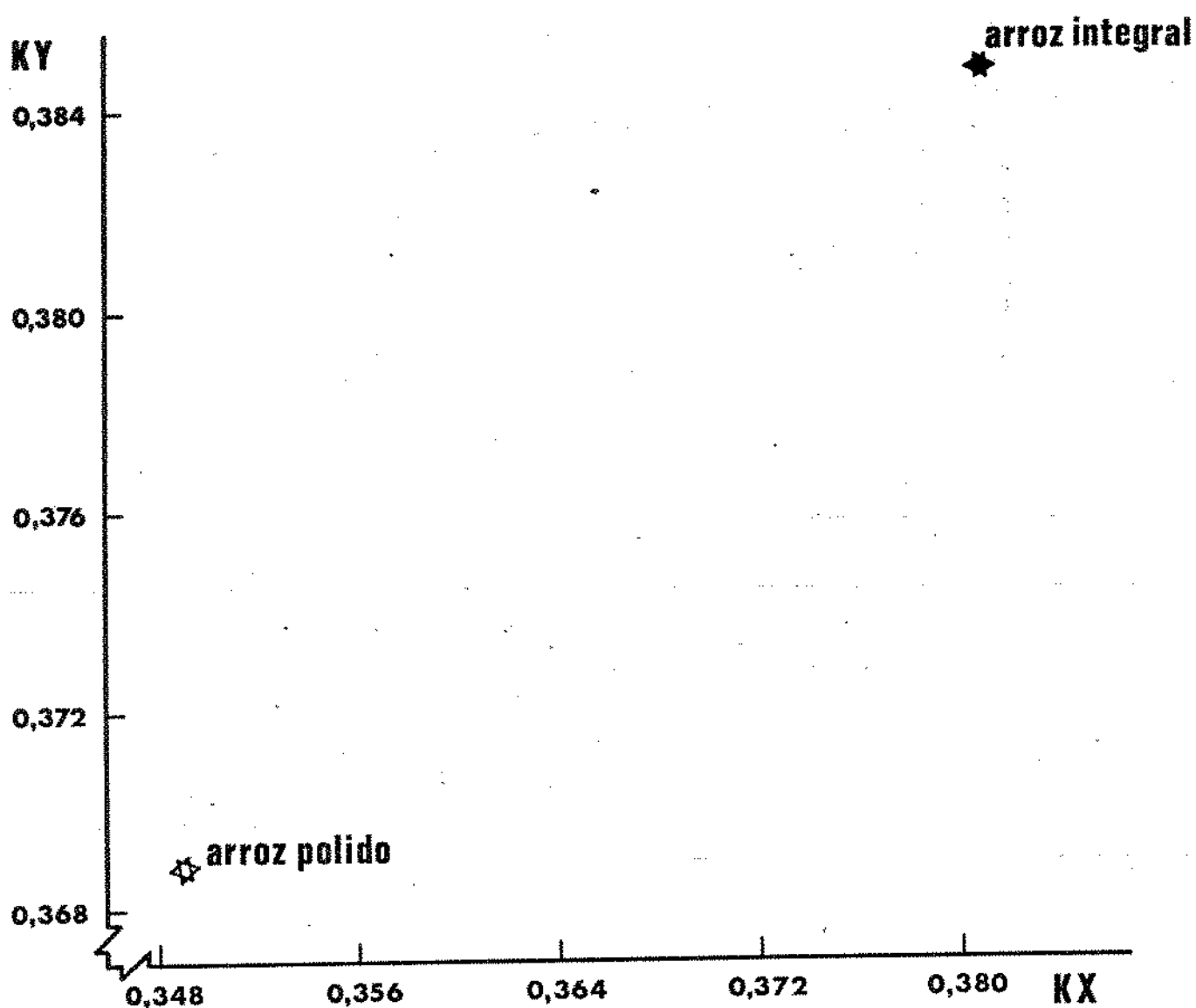


FIGURA 5. Diagrama de cromaticidade do arroz integral

a. Atividade da enzima lipase do arroz integral

A atividade da enzima lipase na produção de ácidos graxos livres é mostrado na Tabela IX.

Analisando os resultados, verificou-se que a atividade da enzima lipase na produção de ácidos graxos livres foi mais rápida e efetiva nos primeiros cinco minutos de reação, tendendo a estabilizar a medida que se aumentou o tempo da reação enzimática.

b. Desenvolvimento de ácidos graxos livres

A Tabela X mostra o desenvolvimento de ácidos graxos livres do arroz integral e polido durante o armazenamento. No início, o conteúdo de ácidos graxos livres do arroz integral foi de 18,8 mg KOH/100 g, enquanto que o arroz polido apresentou um valor de 4,6 mg KOH/100 g. A partir deste período, o conteúdo de ácidos graxos livres do arroz integral aumentou bruscamente, atingindo um valor máximo de 53,5 mg KOH/100 g na 13^a semana de armazenamento, enquanto o valor máximo apresentado pelo arroz polido foi de 7,7 mg KOH/100 g após 19^a semanas. Os valores apresentados pelo arroz polido estão bem abaixo do limite aceitável que é de 25 mg KOH/100 g para arroz de boa qualidade (15, 16). O ligeiro declínio nos valores de ácidos graxos livres após atingirem o seu máximo desenvolvimento pode provavelmente ser atribuído a decomposição dos ácidos graxos livres.

A Figura 6 ilustra que o processo de polimento que remove o farelo e o germe onde estão concentrados os lipídeos e enzi-

TABELA IX

Atividade da enzima lipase na produção de ácidos graxos livres (AGL), após 5 e 10 minutos da reação enzimática

Número de repetições	Produção de A.G.L. ($\mu\text{mol}/\Delta t/\text{mL}$)	
	$\Delta t = 5 \text{ min.}$	$\Delta t = 10 \text{ min.}$
1	0,31	0,43
2	0,34	0,36
3	0,29	0,39
4	0,30	0,30
Média	0,31	0,32
Desvio padrão	0,02	0,03

TABELA X

Desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) e peróxidos do arroz integral e polido durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (semanas)	Arroz integral		Arroz polido	
	AGL (mgKOH/100g)	Índice de peróxido (m Eq./1000g)	AGL (mgKOH/100g)	Índice de peróxido (m Eq./1000g)
0	18,8	0,00	4,6	0,00
1	26,1	0,00	5,7	0,00
4	33,2	0,02	5,8	0,00
7	37,4	0,12	5,9	0,00
10	44,7	0,64	4,5	0,00
13	53,5	0,16	6,8	0,00
16	48,1	0,02	7,6	0,00
19	47,0	0,00	7,7	0,00
22	42,5	0,00	5,9	0,00

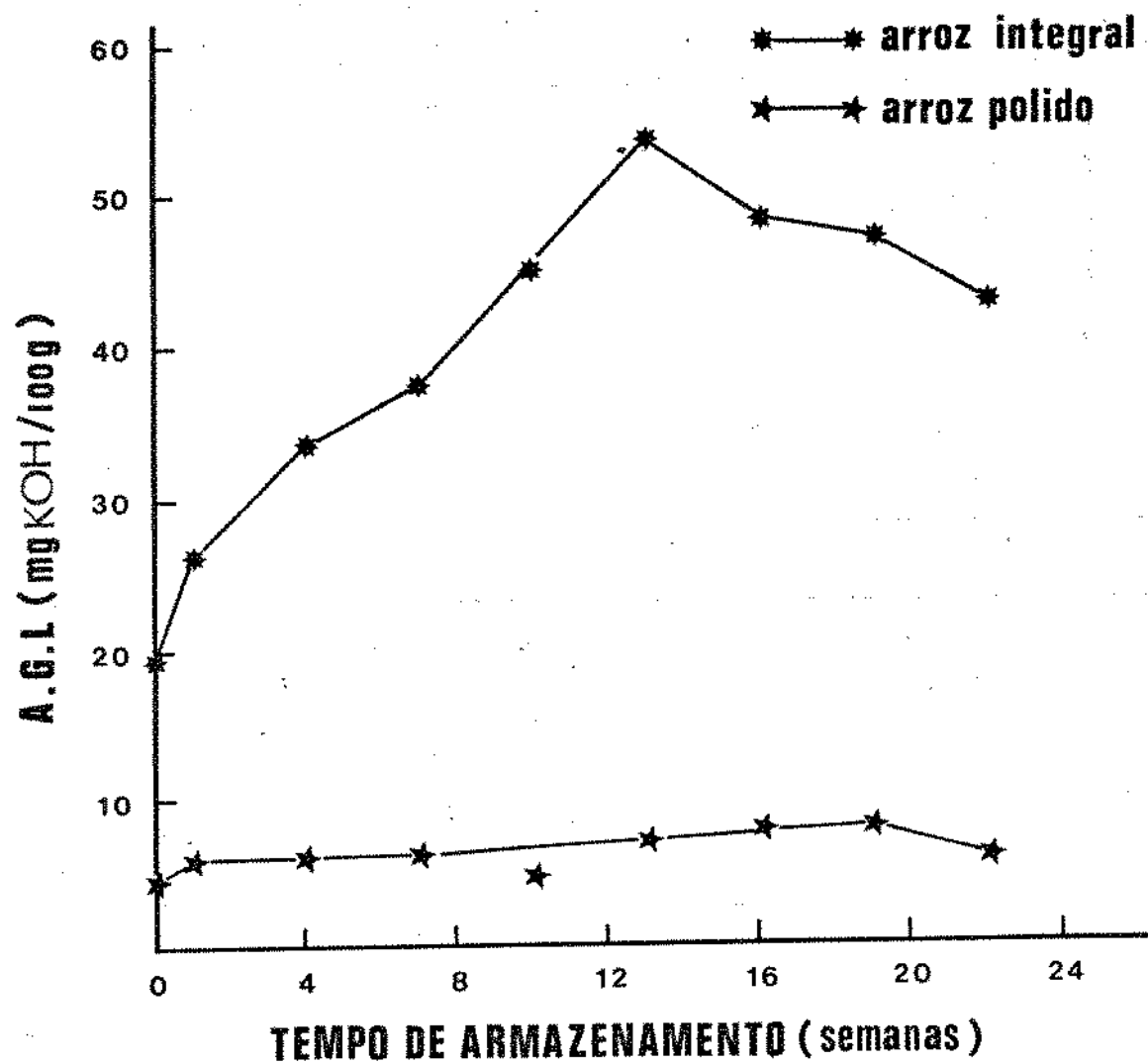


FIGURA 6. Desenvolvimento de ácidos graxos livres no arroz integral e polido durante o armazenamento

mas lipolíticas, pode ser um meio efetivo de prevenção da deterioração do arroz.

c. Desenvolvimento de peróxidos

Tanto os ácidos graxos livres insaturados como os glicérides que apresentam ligações insaturadas, na presença de elementos tais como oxigênio, íons metálicos (Cu^{++} , Co^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} e Ni^{++}), da enzima lipoxigenase, de luz e de temperaturas elevadas, são sensíveis a deteriorações oxidativas (43,51,85). Os peróxidos em geral, são produtos intermediários dessas reações, que devido a sua instabilidade se decompõem, produzindo compostos carbonílicos voláteis (50,57).

Por meio da Tabela X e Figura 7 observa-se que a produção de peróxido no arroz integral se iniciou na 4ª semana de armazenamento atingindo um valor máximo na 10ª semana de estocagem. A partir deste período foi observado uma brusca queda de seu valor que foi atribuída a decomposição dos peróxidos durante reação (50). O arroz polido não apresentou formação de peróxidos, mostrando que o processo de polimento mantém a qualidade do produto durante armazenamento.

B. EFEITO DE AGENTES BRANQUEADORES NAS CARACTERÍSTICAS DE COR DO ARROZ INTEGRAL

O arroz integral embora tenha valor nutricional supe-

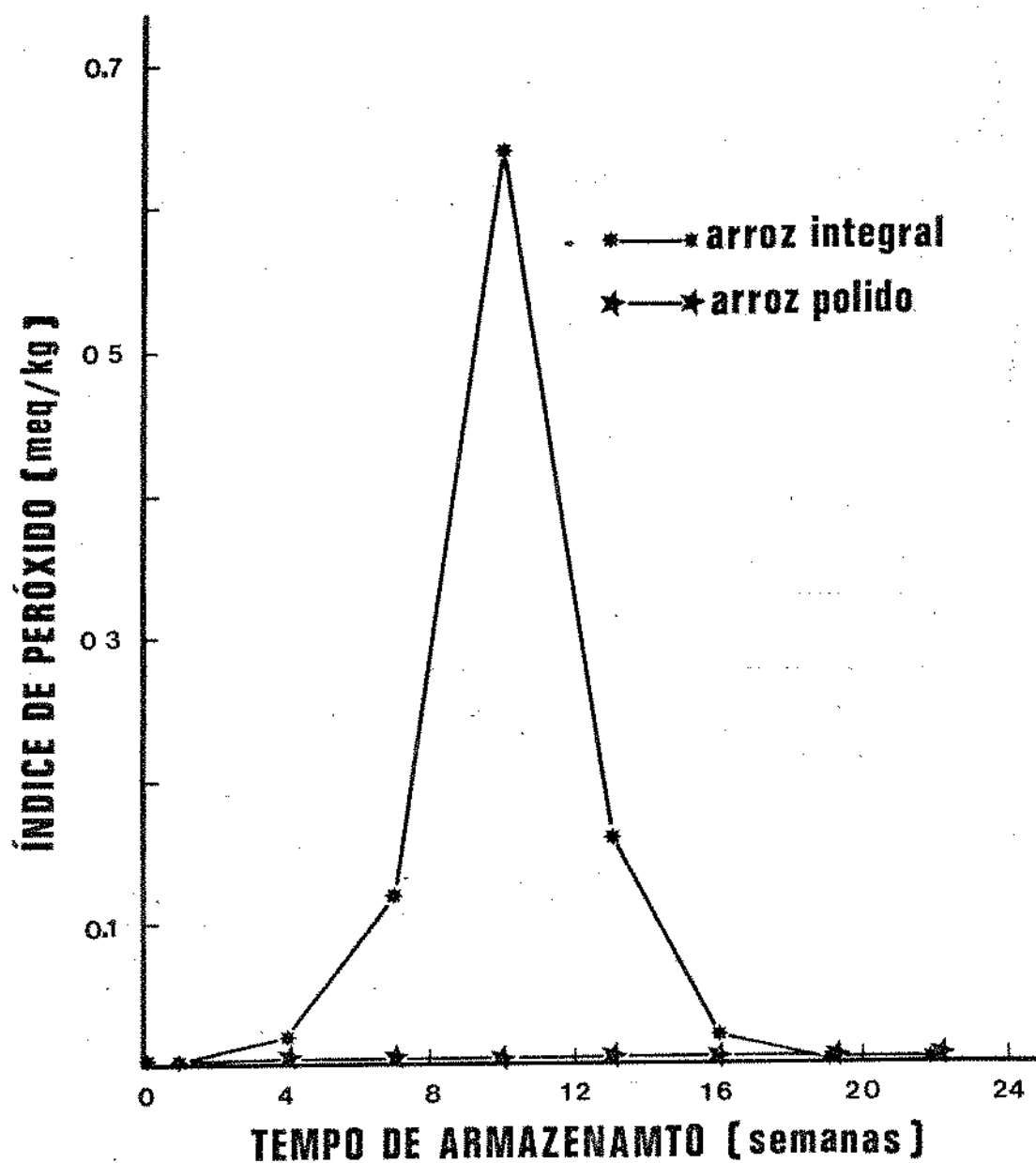


FIGURA 7. Desenvolvimento de peróxidos no arroz integral e polido durante o armazenamento

rior ao polido, não é bem aceito pela maioria dos consumidores, devido principalmente a sua coloração marrom escura. Algumas tentativas foram feitas para superar esta característica indesejável do arroz integral, utilizando-se certos reagentes chamados branqueadores como por exemplo, peróxido de nitrogênio, peróxido de benzoíla e peróxido de hidrogênio.

As características de cor de uma amostra tratada com branqueadores são mostradas nas regiões ampliadas do diagrama de cromaticidade, como o da Figura 3.

1. Tratamento com peróxido de nitrogênio

Neste experimento foi investigado o efeito do peróxido de nitrogênio no branqueamento do arroz integral.

a. Efeito na cromaticidade

O resultado do efeito do tratamento com peróxido de nitrogênio na coloração de arroz integral, nos diversos tempos de exposição, está apresentado na Tabela XI e na Figura 8.

O efeito deste tratamento mostrou que a medida que se aumentou o tempo de exposição da amostra ao gás, a cor do arroz tornou-se gradativamente mais intensa, contrariamente ao que foi observado em farinha de trigo (08).

b. Efeito nas diferenças de cromaticidade, diferença de luminosidade e diferença total de cor

Os resultados mostraram que a medida que se elevou o

TABELA XI

Efeito do peróxido de nitrogênio em diferentes tempos de exposição, nas características de cor do arroz integral

Tempo de exposição (seg.)	Leitura Espectrofotomét.				
	Kx	Ky	DAC	DAL	DE
0	0,3783	0,3844	-	-	-
10	0,3857	0,3895	-1,4	1,8	2,3
20	0,3940	0,3935	-2,7	3,7	4,6
40	0,3985	0,3948	-3,0	4,7	5,6
60	0,4016	0,3952	-3,8	5,3	6,5
120	0,4058	0,3973	-4,5	6,1	7,6
180	0,4086	0,3977	-5,6	6,3	8,5

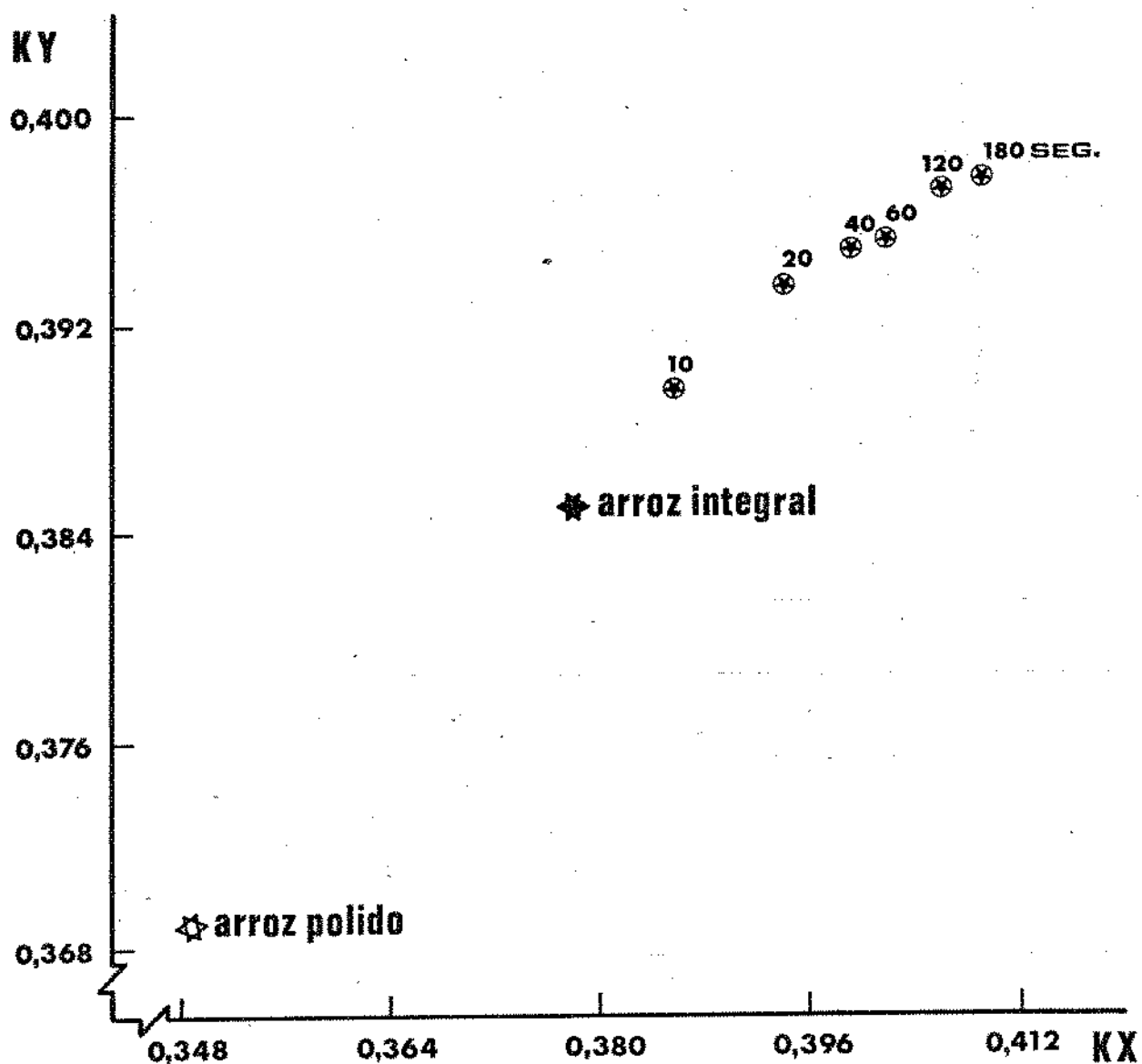


FIGURA 8. Efeito do peróxido de nitrogênio em diferentes tempos de tratamentos no diagrama de cromaticidade do arroz integral

tempo de exposição das amostras ao peróxido de nitrogênio, aumentaram os valores de diferença de cromaticidade (DAC), da luminosidade (DAL) e da diferença total de cor (DE) em relação ao arroz integral não tratado.

2. Tratamento com peróxido de benzoila

O peróxido de benzoila é um oxidante químico de uso permitido em farinha de trigo como agente branqueador.

a. Efeito na cromaticidade

Os efeitos da concentração de peróxido de benzoila em diversas umidades relativas (59,2; 75,5; 97,4%) a 20°C na coloração do arroz integral são apresentados na Tabela XII e nas Figuras 9, 10 e 11. Todas as amostras armazenadas nestas condições melhoraram sua cor a medida que se aumentou a concentração de peróxido de benzoila. Entretanto, estas amostras apresentaram uma coloração desuniforme na superfície do grão. O maior efeito foi verificado no arroz integral armazenado a 97,4% de umidade relativa.

As umidades relativas (u.r.) acima de 75% que correspondem a umidades do arroz superiores a 14-15% são consideradas favoráveis ao desenvolvimento de fungos do gênero *Aspergillus* e *Penicillium* (41,53). O tratamento nestas condições requer cerca de 60 horas, que devido a umidade relativa elevada, favorece a deterioração. Portanto, para se prosseguir o trabalho

TABELA XII

Efeito da concentração de peróxido de benzoila sobre as características da cor do arroz integral, em diferentes umidade relativas a 20°C

Umidade relativa (%)	Peróx. de benzoila (p.p.m.)	Leituras Espectrofotomēt.				
		Kx	Ky	DAC	DAL	DE
59,2	0	0,3772	0,3835	-	-	-
	50	0,3778	0,3836	0,1	0,4	0,4
	500	0,3762	0,3824	0,0	0,1	0,1
	5.000	0,3732	0,3807	2,0	0,5	2,1
	10.000	0,3699	0,3774	3,3	1,2	3,5
	20.000	0,3657	0,3741	4,5	2,2	5,0
	30.000	0,3646	0,3729	4,8	2,6	5,5
75,5	0	0,3787	0,3835	-	-	-
	50	0,3785	0,3846	-0,5	0,2	0,6
	500	0,3782	0,3841	0,2	0,1	0,2
	5.000	0,3732	0,3801	1,5	1,4	2,1
	10.000	0,3697	0,3773	3,2	2,0	3,8
	20.000	0,3629	0,3718	4,6	3,9	6,1
	30.000	0,3620	0,3708	5,5	4,1	6,8
97,2	0	0,3762	0,3832	-	-	-
	50	0,3762	0,3825	-0,5	0,4	0,6
	500	0,3754	0,3815	-0,6	0,7	1,0
	5.000	0,3744	0,3809	0,7	0,6	0,9
	10.000	0,3681	0,3760	3,0	1,9	3,5
	20.000	0,3614	0,3704	4,5	3,7	6,2
	30.000	0,3582	0,3681	5,7	4,4	7,3

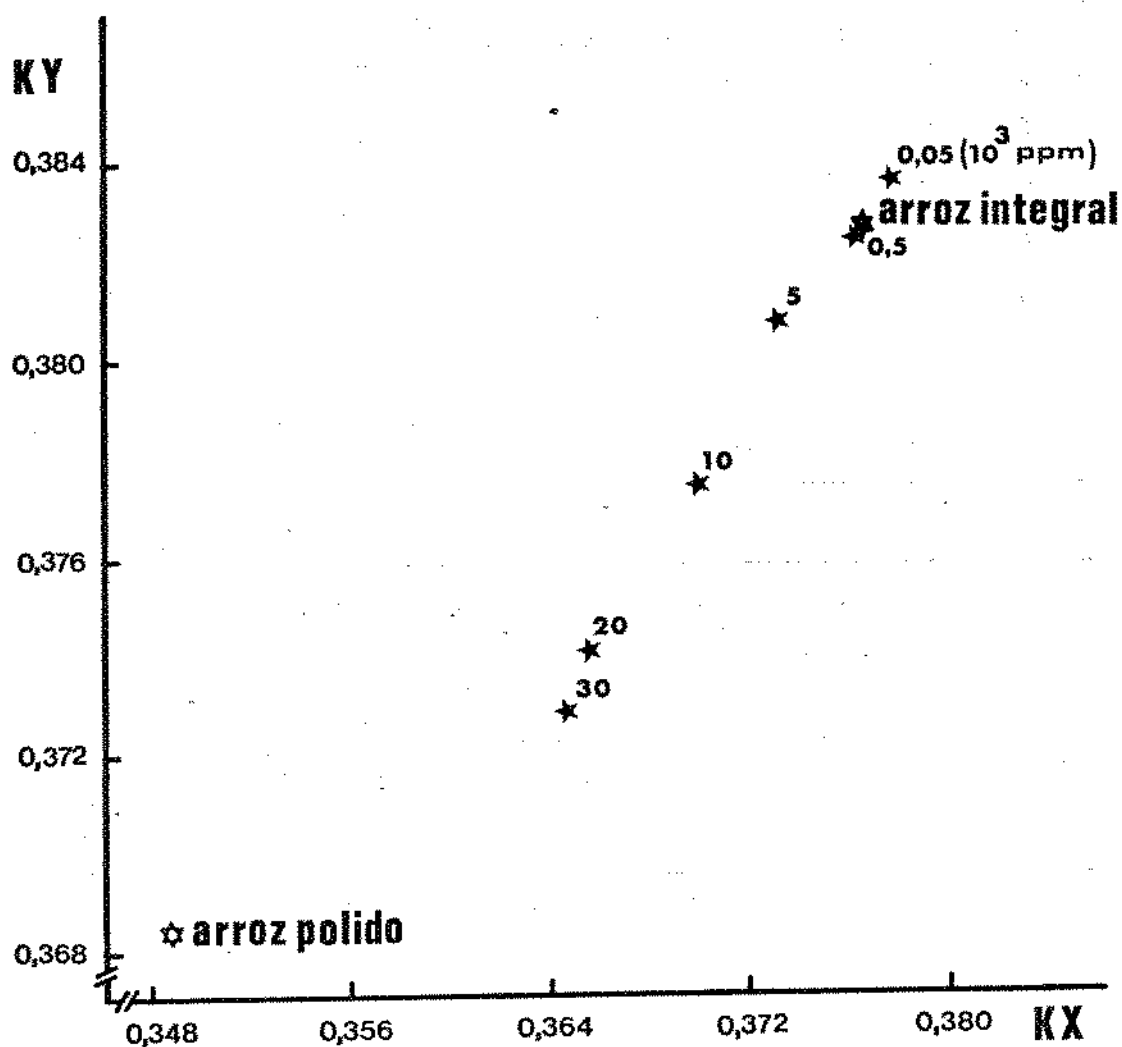


FIGURA 9. Efeito da concentração de peróxido de benzoila, no diagrama de cromaticidade do arroz integral armazenado por 60 horas a 59,2% de umidade relativa a 20°C

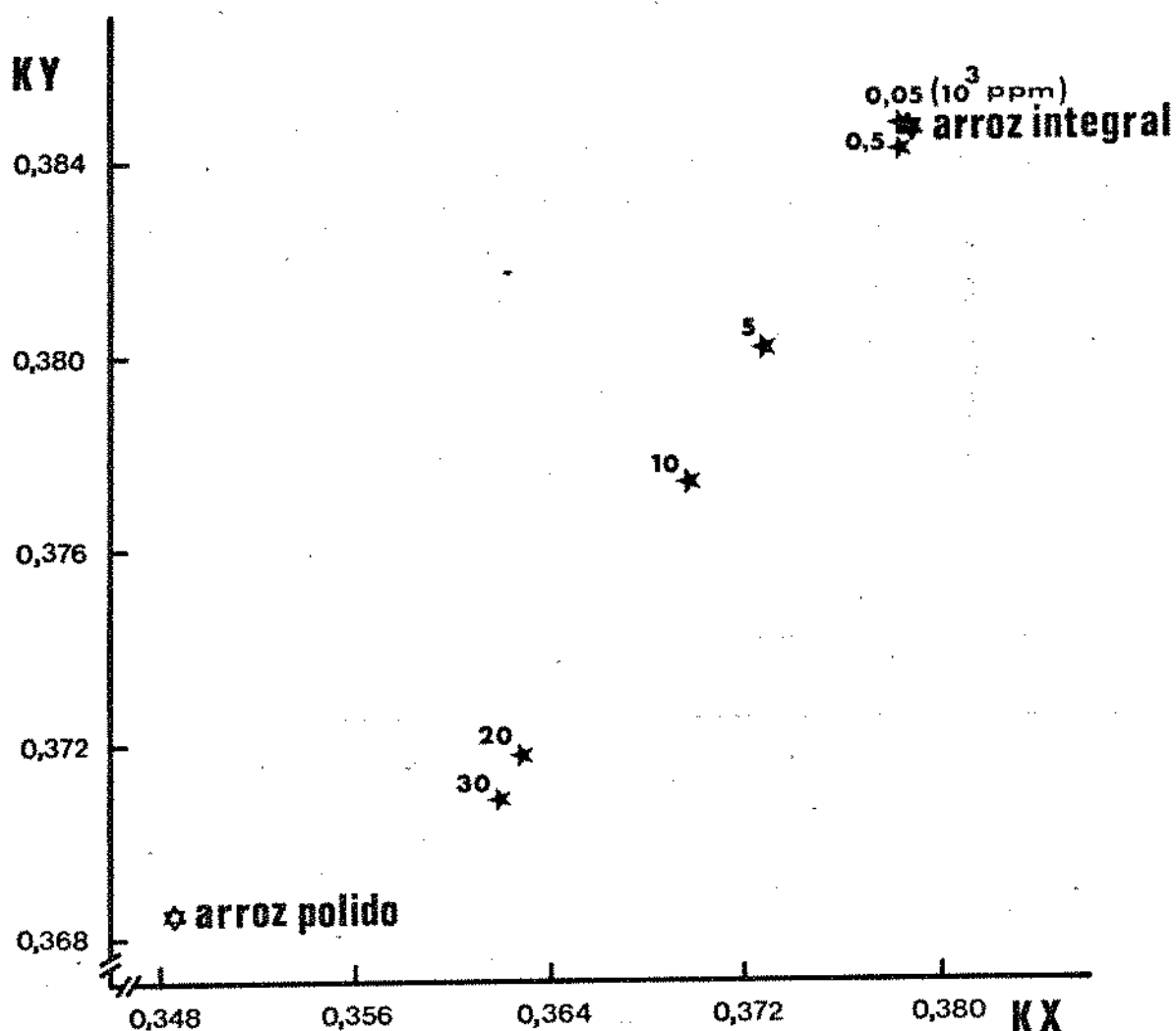


FIGURA 10. Efeito da concentração de peróxido de benzoila, no desenvolvimento de cromatocidade do arroz integral armazenado por 60 horas a 75,5% de umidade relativa a 20°C

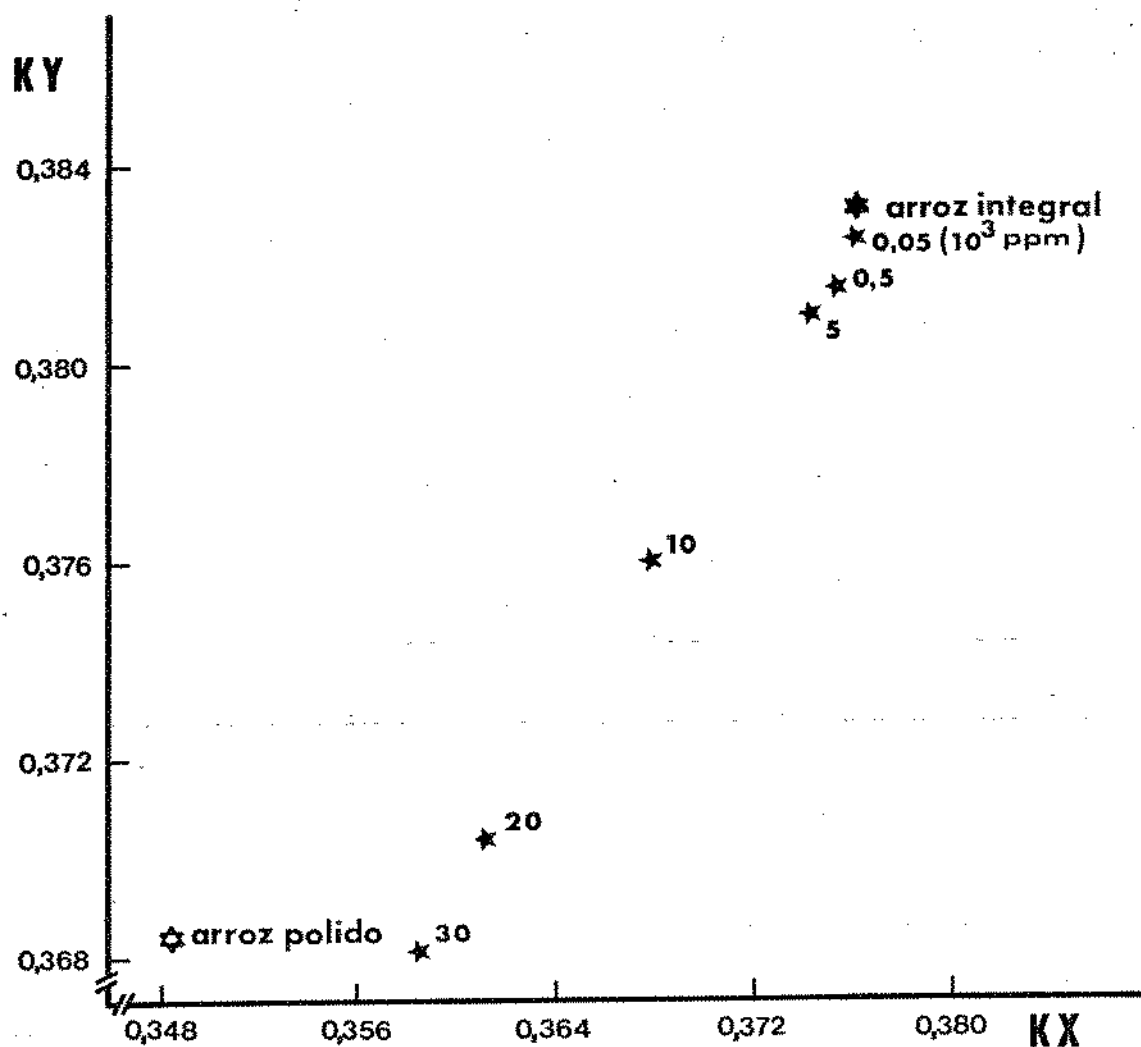


FIGURA 11. Efeito da concentração de peróxido de benzoila, no diagrama de cromaticidade do arroz integral armazenado por 60 horas a 97,2% de umidade relativa à 20°C

foram adotadas condições mais adequadas, com uma concentração de reagente de 20.000 ppm (2%) e umidade relativa de 75,5%.

b. Efeito nas diferenças de cromaticidade, diferença de luminosidade e diferença total de cor

Os resultados mostraram que a medida que se aumentou a concentração de peróxido de benzoila foram também maiores os valores das diferenças de cromaticidade (DAC), e de luminosidade (DAL) e da diferença total de cor (DE), independentemente das umidades relativas. Entretanto, o efeito foi maior usando umidades relativas superiores.

c. Efeito nas características físicas do arroz integral

i. Viscosidade

Os resultados das características de viscosidade do arroz integral tratado com 20.000 ppm de peróxido de benzoila e a de 75,5% de umidade relativa são apresentados na Tabela XIII e Figura 12.

Verificando os resultados, observou-se que a viscosidade máxima da amostra tratada com o peróxido de benzoila foi 24% inferior ao valor da viscosidade do arroz integral não tratado. Entretanto, a temperatura inicial e a viscosidade a 50°C no ciclo de resfriamento não foram alterados. Estes resultados podem ser atribuídos possivelmente, ao enfraquecimento da estruturas que mantem a integridade do grânulo de amido, pelo peróxido de benzoila.

TABELA XIII

Efeito do peróxido de benzoila nas características viscoamilográfica do arroz integral

Características	Arroz integral		Arroz integral tratado
	não	tratado	(2% peróx. benz.)
Temperatura inicial de gelatinização (°C)		71,5	71,5
Temperatura de viscosidade máxima (°C)		90,0	89,5
Viscosidade máxima (U.A.)		630	480
Viscosidade mínima a temperatura constante (U.A.)		330	290
Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento (U.A.)		690	690

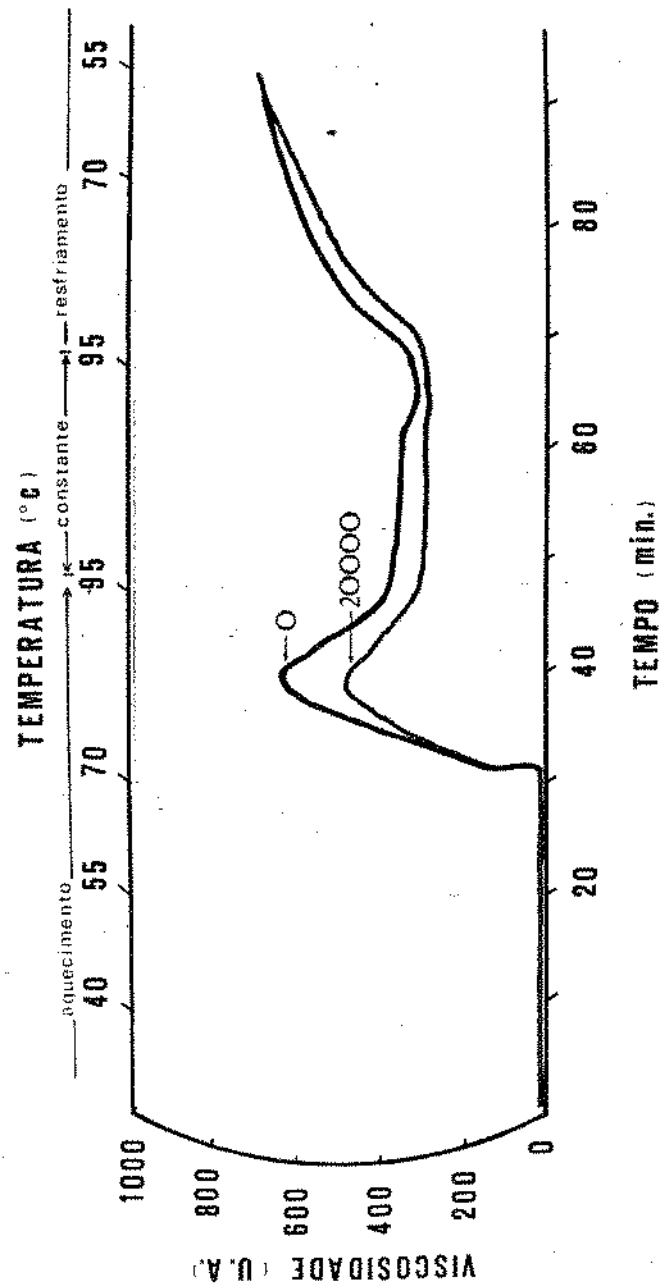


FIGURA 12. Efeito do peróxido de benzoila nos amilogramas do arroz integral, armazenado por 60 horas a 75,5% de umidade relativa à 20°C

ii. Teste de cozimento

Os resultados do efeito do tempo de cozimento e absorção de água no arroz integral tratado são apresentados na Tabela XIV.

O arroz integral tratado com 20.000 ppm de peróxido de benzoila não mostrou uma diferença considerável nos tempos de cozimento e na absorção de água, entretanto, foi verificado um efeito negativo na cor do grão após cozimento. Este efeito pode ser observado na Tabela XV e na Figura 13, onde o arroz integral cozido após o tratamento, mostrou uma coloração mais intensa do que o arroz integral não tratado e cozido.

3. Tratamento com peróxido de hidrogênio

O efeito do peróxido de hidrogênio na coloração do arroz integral foi quantificado através da região ampliada do diagrama de cromaticidade (0,300 a 0,400 de K_x e K_y). A Legenda I ilustra as concentrações de H_2O_2 e os símbolos correspondentes a estas.

a. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 76°C, nas características de cor do arroz integral

i. Efeito na cromaticidade

O efeito das concentrações de H_2O_2 e dos tempos de tra

TABELA XIV

Efeito do peróxido de benzoila no teste de cozimento do arroz in
tegral

Peróx. de benzoila (p.p.m.)	Tempo de cozimento (min.)	Absorção de água (%)
0	37	202,8
20.000	36	210,4

TABELA XV

Efeito do peróxido de benzoila nas características de cor do arroz integral, armazenado por 60 horas em 75,5% de umidade relativa a 20°C

Amostra	Peróx. de benzoila (p.p.m.)	Leituras Espectrofotomét. ¹				
		KX	KY	DAL	DAC	DE
Arroz polido	0	0,3320	0,3543	8,8	10,1	13,4
Arroz integral	0	0,3669	0,3811	-	-	-
	20.000	0,3767	0,3804	2,5	1,8	3,1

¹As medições foram feitas após cozimento

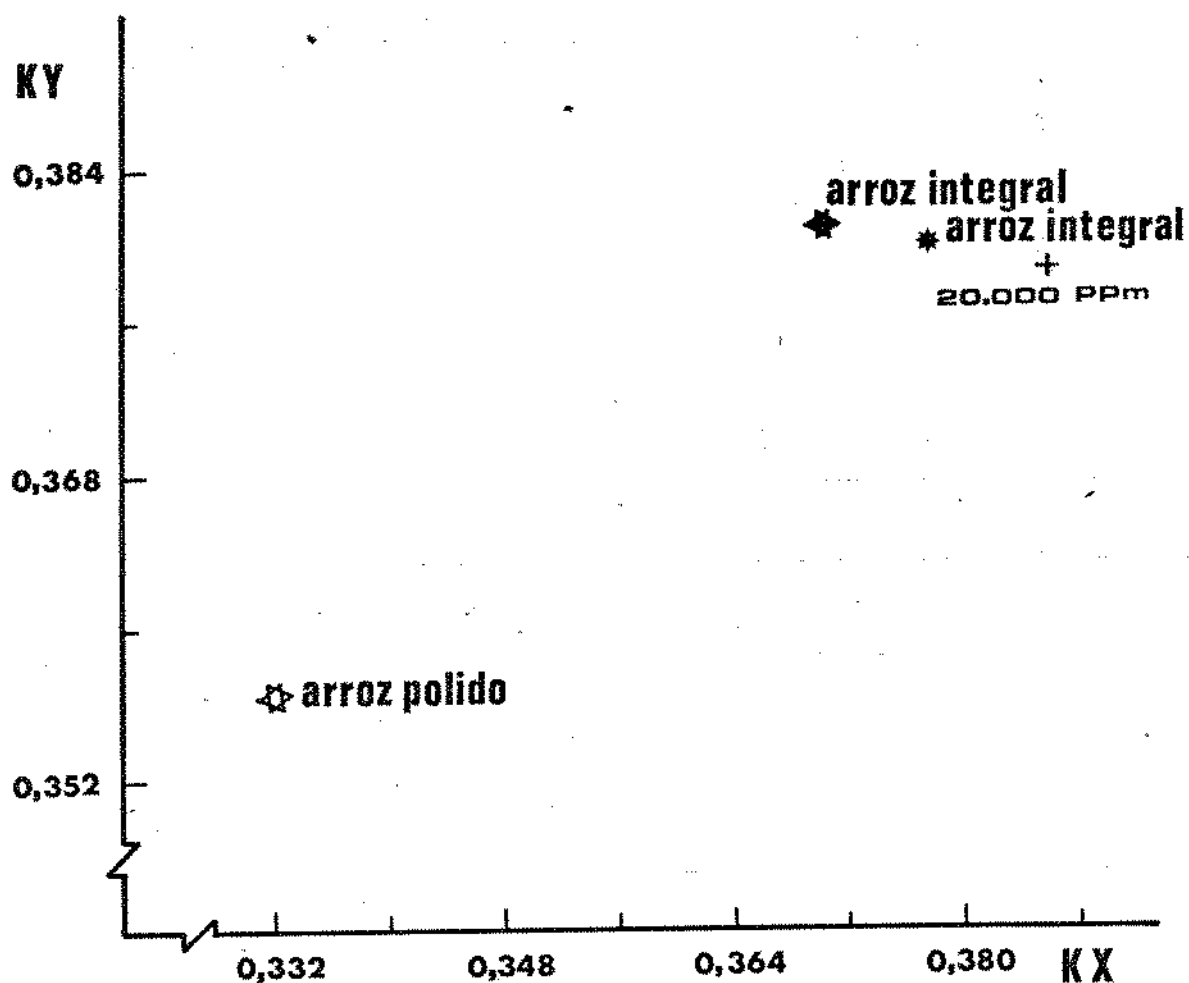


FIGURA 13. Efeito do peróxido de benzoila no diagrama de cromaticidade do arroz integral, armazenado por 60 horas a 75,5% de umidade relativa, após cozimento

LEGENDA I**SÍMBOLOS USADOS NOS DIAGRAMAS DE CROMATICIDADE****ARROZ INTEGRAL****ARROZ POLIDO****ARROZ INTEGRAL COM TRATAMENTO
PEROX. DE HIDROGÊNIO: CONC. (%)****2.5****5.0****7.5****10.0****12.5****15.0****20.0****25.0****30.0****36.0**

tamento são apresentados na Tabela XVI e nas Figuras 14, 15 e 16 correspondente a 1, 2 e 4 minutos de tratamento, respectivamente.

A medida que se aumentou a concentração e o tempo de tratamento, a coloração do arroz integral mostrou tendência de se aproximar, gradativamente, da cor do arroz polido. Entretanto, os resultados mostraram que concentrações de H_2O_2 maiores que 20 e 25%, nos respectivos tempos de tratamento de 4 e 2 minutos, não produziram efeito notável na variação da cor.

A medida que se aumentou o tempo de tratamento foi possível diminuir a concentração de peróxido de hidrogênio. Assim, combinando-se os dois parâmetros (concentração e tempo de tratamento) até uma certa faixa de concentração de H_2O_2 foi possível obter uma coloração desejada para o arroz integral.

ii. Efeito nas diferenças de cromaticidade, diferença de luminosidade e diferença total de cor

Os resultados obtidos nos "DAC" "DAL" e "DE" são apresentados na Tabela XVII.

Observou-se a níveis crescentes de concentração de H_2O_2 e do tempo de tratamento, um aumento gradual destes valores, em relação ao arroz integral não tratado.

A Figura 17, mostra que as amostras tratadas não chegaram a atingir o valor de "DAC", apresentado pelo arroz polido. Entretanto, observando a Figura 18, nestas amostras, a medida que foram aumentadas a concentração e o tempo de tratamento, o

TABELA XVI

Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento à 76°C na cromaticidade do arroz integral

Amostras	Condições de tratamento		Leit. Espectrofotomet.	
	Peróx. hidrog. (%)	Tempo (min.)	Kx	Ky
Arroz polido	0,0	0,0	0,3491	0,3689
Arroz integral	0,0	0,0	0,3804	0,3849
		1,0	0,3708	0,3810
		2,0	0,3694	0,3808
	2,5	4,0	0,3694	0,3813
		1,0	0,3690	0,3806
		2,0	0,3681	0,3805
	5,0	4,0	0,3665	0,3799
		1,0	0,3665	0,3799
		2,0	0,3656	0,3798
	7,5	4,0	0,3632	0,3789
		1,0	0,3667	0,3800
		2,0	0,3632	0,3786
	10,0	4,0	0,3627	0,3784
		1,0	0,3651	0,3790
		2,0	0,3642	0,3793
	12,5	4,0	0,3612	0,3778
		1,0	0,3634	0,3784
		2,0	0,3631	0,3785
	15,0	4,0	0,3611	0,3780
		1,0	0,3623	0,3783
		2,0	0,3609	0,3776
	20,0	4,0	0,3587	0,3773
		1,0	0,3583	0,3761
		2,0	0,3572	0,3764
	25,0	4,0	0,3557	0,3765
		1,0	0,3582	0,3774
		2,0	0,3569	0,3772
	30,0	4,0	0,3559	0,3771
		1,0	0,3569	0,3759
		2,0	0,3569	0,3768
	36,0	4,0	0,3548	0,3763

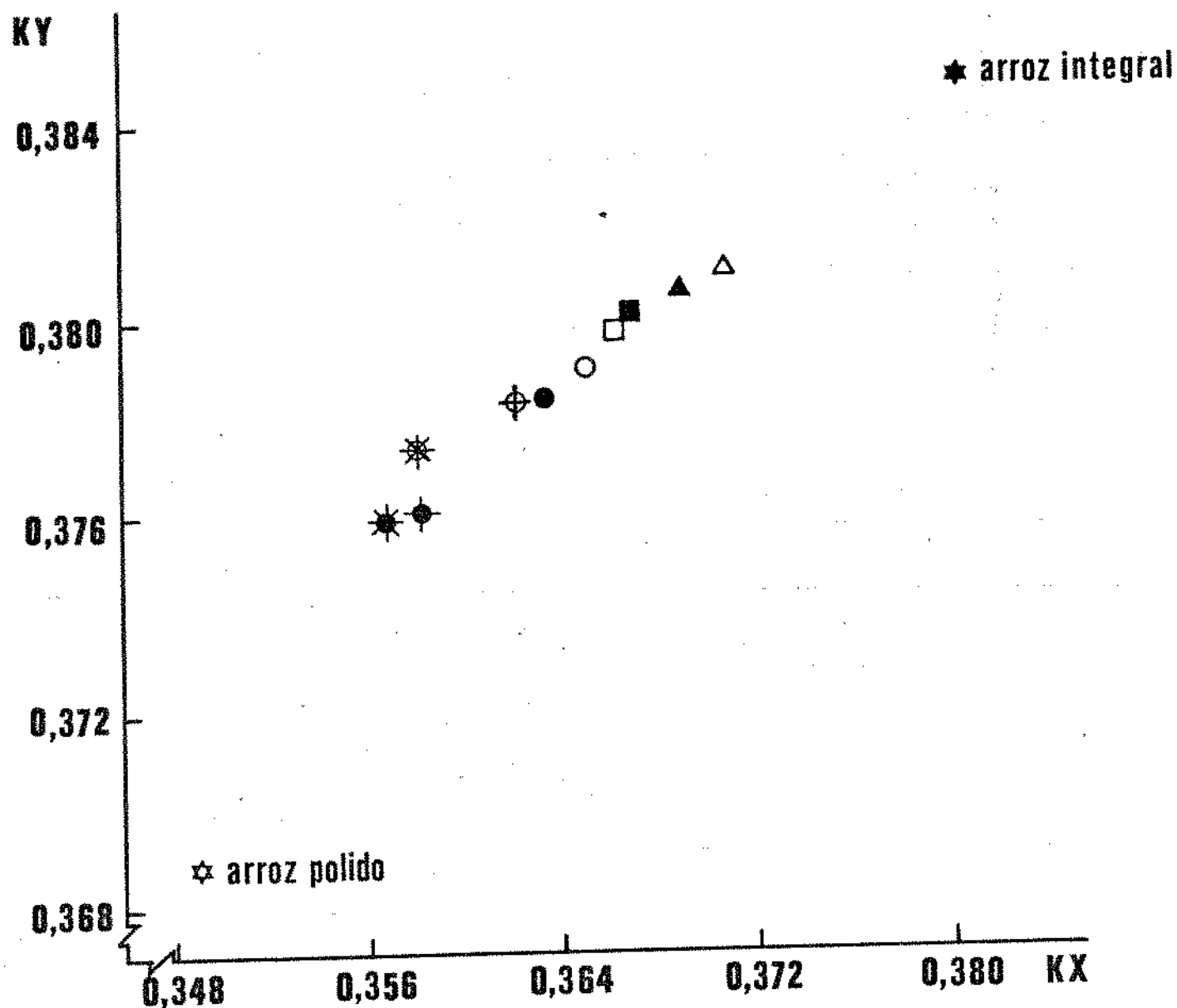


FIGURA 14. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio a 76°C por 1 minuto de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral

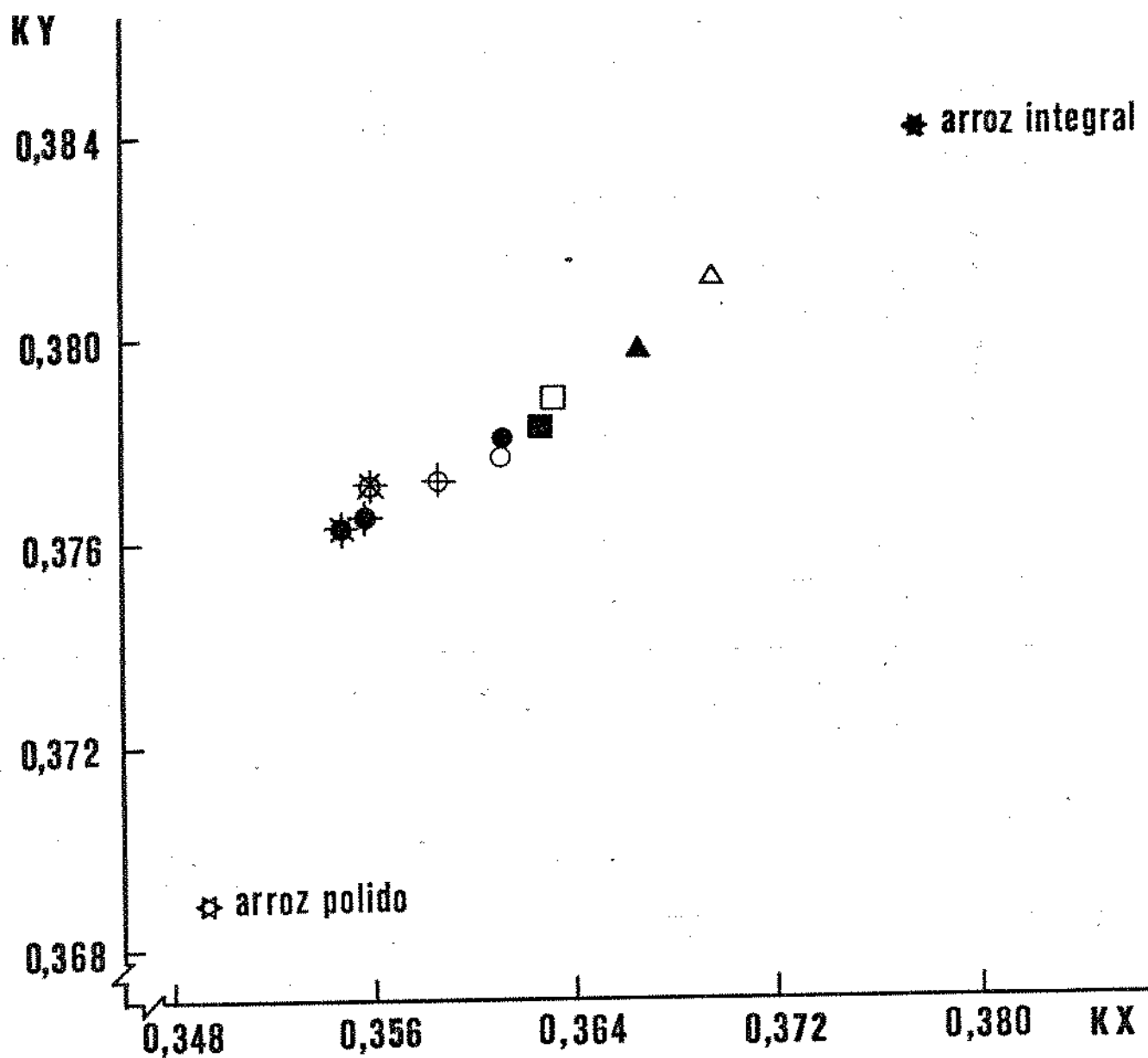


FIGURA 16. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 76°C por 4 minutos de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral

TABELA XVII

Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento à 76°C, nos valores da diferença de cromaticidade (DAC), diferença de luminosidade (DAL) e diferença total de cor (DE) do arroz integral

Amostras	Condições de tratamento		Leit. Espectrofotomet.		
	Peróx.hidrog. (%)	Tempo (min.)	DAC	DAL	DE
Arroz polido	0,0	0,0	7,2	9,8	12,2
Arroz integral	0,0	0,0	-	-	-
		1,0	1,3	7,4	7,5
		2,0	1,6	8,2	8,4
	2,5	4,0	1,8	9,3	9,5
		1,0	1,7	9,5	9,7
		2,0	1,9	10,1	10,3
	5,0	4,0	2,2	11,4	11,6
		1,0	2,2	10,1	10,3
		2,0	2,4	11,3	11,6
	7,5	4,0	2,9	12,6	12,9
		1,0	2,2	10,5	10,7
		2,0	2,8	12,3	12,6
	10,0	4,0	2,9	13,3	13,6
		1,0	2,3	11,8	12,0
		2,0	2,7	12,4	12,7
	12,5	4,0	3,3	13,6	14,0
		1,0	2,7	12,3	12,6
		2,0	2,8	12,5	12,8
	15,0	4,0	3,3	13,8	14,2
		1,0	3,0	12,9	13,2
		2,0	3,3	13,8	14,2
	20,0	4,0	3,9	15,1	15,6
		1,0	3,2	14,3	14,7
		2,0	3,7	14,6	15,0
	25,0	4,0	4,2	15,9	16,5
		1,0	3,6	15,0	15,4
		2,0	4,0	15,4	15,9
	30,0	4,0	4,3	15,6	16,1
		1,0	3,6	15,1	15,5
		2,0	3,9	15,5	15,9
	36,0	4,0	4,5	16,5	17,1

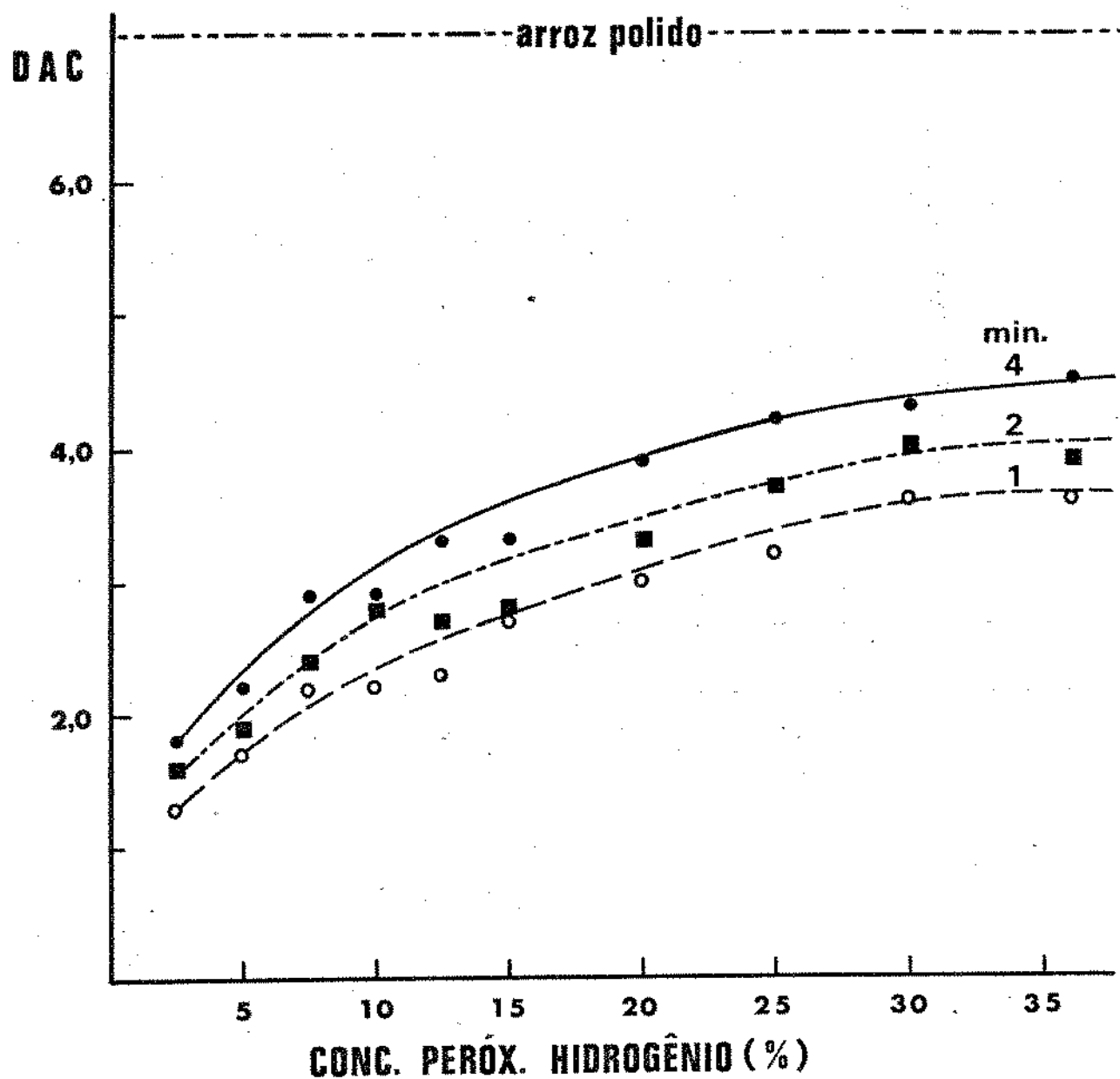


FIGURA 17. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio a 76°C por 1, 2 e 4 minutos de tratamento na diferença de cromaticidade (DAC) do arroz integral

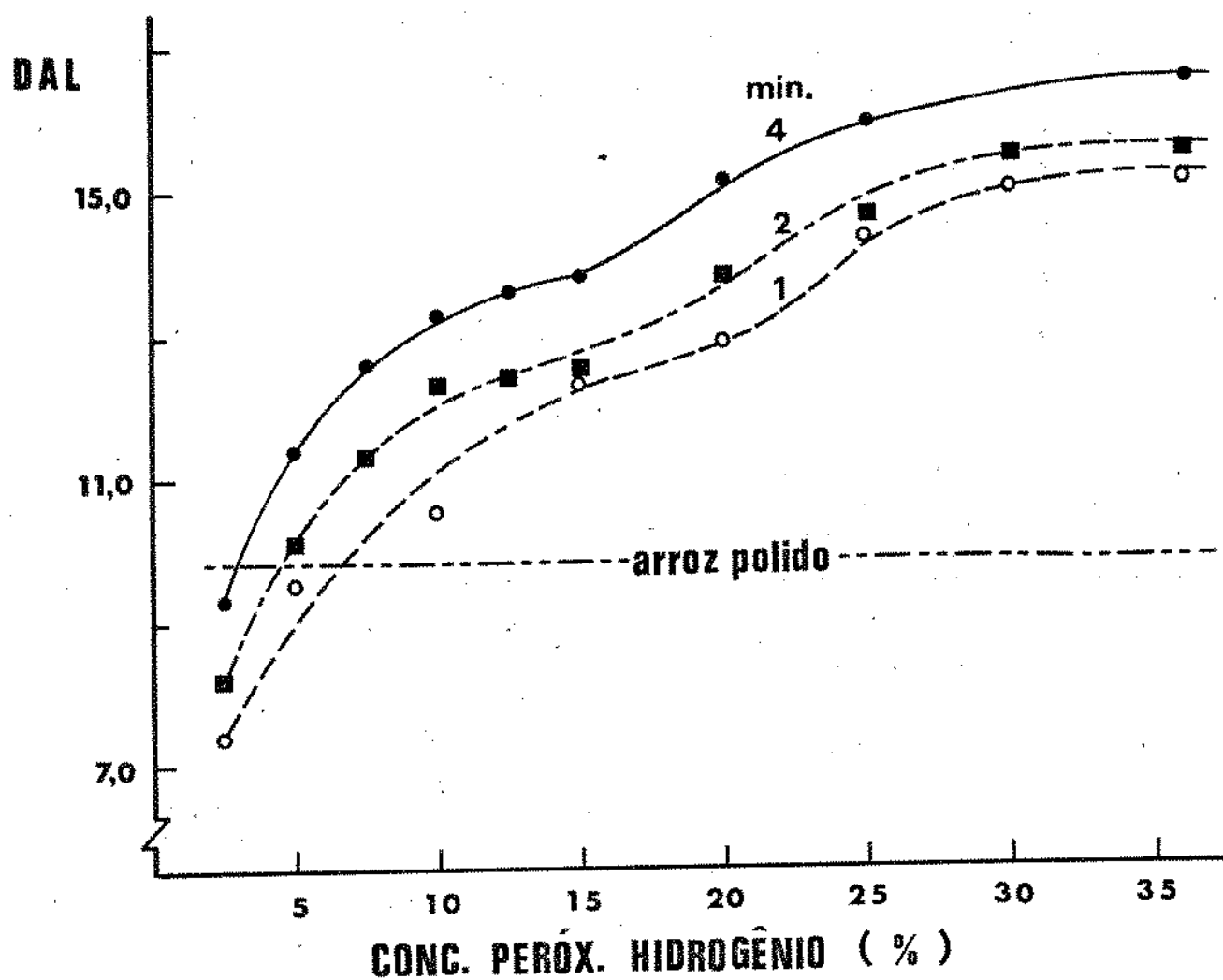


FIGURA 18. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio a 76°C por 1, 2 e 4 minutos de tratamento, na diferença de luminosidade (DAL) do arroz integral

valor de "DAL" se distanciou cada vez mais acentuadamente daquele apresentado pelo arroz polido. À baixas concentrações como: 2,5% por 4 minutos, 5,0% por 1 e 2 minutos e 7,5% por 1 minuto de tratamentos observou-se um valor de "DAL" mais próximo do "DAL" do arroz polido.

Os efeitos nos valores de "DAC" e "DAL" foram mais intensos à baixas concentrações, diminuindo a medida que as concentrações foram aumentadas e alcançando uma maior estabilidade em concentrações superiores a 30%. Por outro lado, o valor de "DE" aumentou gradativamente a medida que se aumentou a concentração do branqueador e o tempo de tratamento. À baixas concentrações como: 5,0% por 4 minutos e 7,5% por 2 minutos observou-se um valor de "DE" mais próximo do "DE" do arroz polido, conforme pode ser observado na Tabela XVII.

b. Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 100°C, nas características de cor do arroz integral

i. Efeito na cromaticidade

Os valores apresentados na Tabela XVIII e ilustrados nas Figuras 19, 20 e 21 mostraram que todas as amostras tratadas tiveram uma modificação acentuada de cor em relação ao arroz integral, a medida que se aumentou a concentração de H_2O_2 e o tempo de tratamento.

Nos tratamentos por 1, 2 e 4 minutos, o aumento da con

TABELA XVIII

Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 100°C na cromaticidade do arroz integral

Amostras	Condições de tratamento		Leit. Espectrofotomét.	
	Peróx. Hidrog. (%)	Tempo (min.)	Kx	Ky
Arroz polido	0,0	0,0	0,3483	0,3683
Arroz integral	0,0	0,0	0,3822	0,3863
		1,0	0,3699	0,3827
		2,0	0,3683	0,3818
	2,5	4,0	0,3686	0,3830
		1,0	0,3659	0,3815
		2,0	0,3654	0,3820
	5,0	4,0	0,3637	0,3816
		1,0	0,3644	0,3816
		2,0	0,3622	0,3806
	7,5	4,0	0,3619	0,3816
		1,0	0,3618	0,3800
		2,0	0,3599	0,3789
	10,0	4,0	0,3614	0,3817
		1,0	0,3618	0,3810
		2,0	0,3615	0,3831
	12,5	4,0	0,3608	0,3816
		1,0	0,3607	0,3807
		2,0	0,3594	0,3802
	15,0	4,0	0,3600	0,3828
		1,0	0,3592	0,3799
		2,0	0,3595	0,3812
	20,0	4,0	0,3590	0,3837
		1,0	0,3597	0,3821
		2,0	0,3595	0,3828
	25,0	4,0	0,3626	0,3869
		1,0	0,3583	0,3809
		2,0	0,3589	0,3826
	30,0	4,0	0,3597	0,3843
		1,0	0,3584	0,3816
		2,0	0,3598	0,3840
	36,0	4,0	0,3586	0,3837

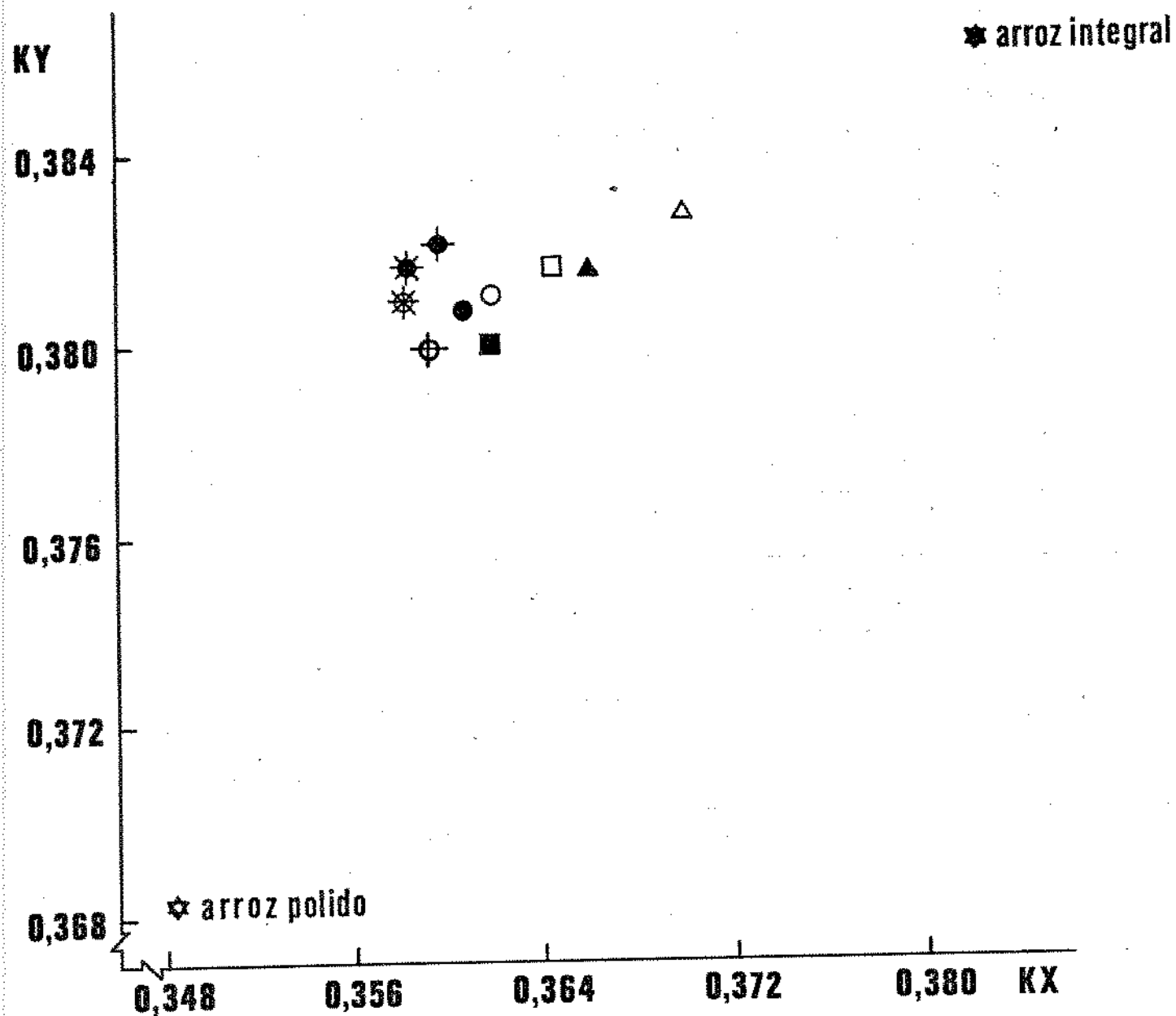


FIGURA 19. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 1 minuto de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral

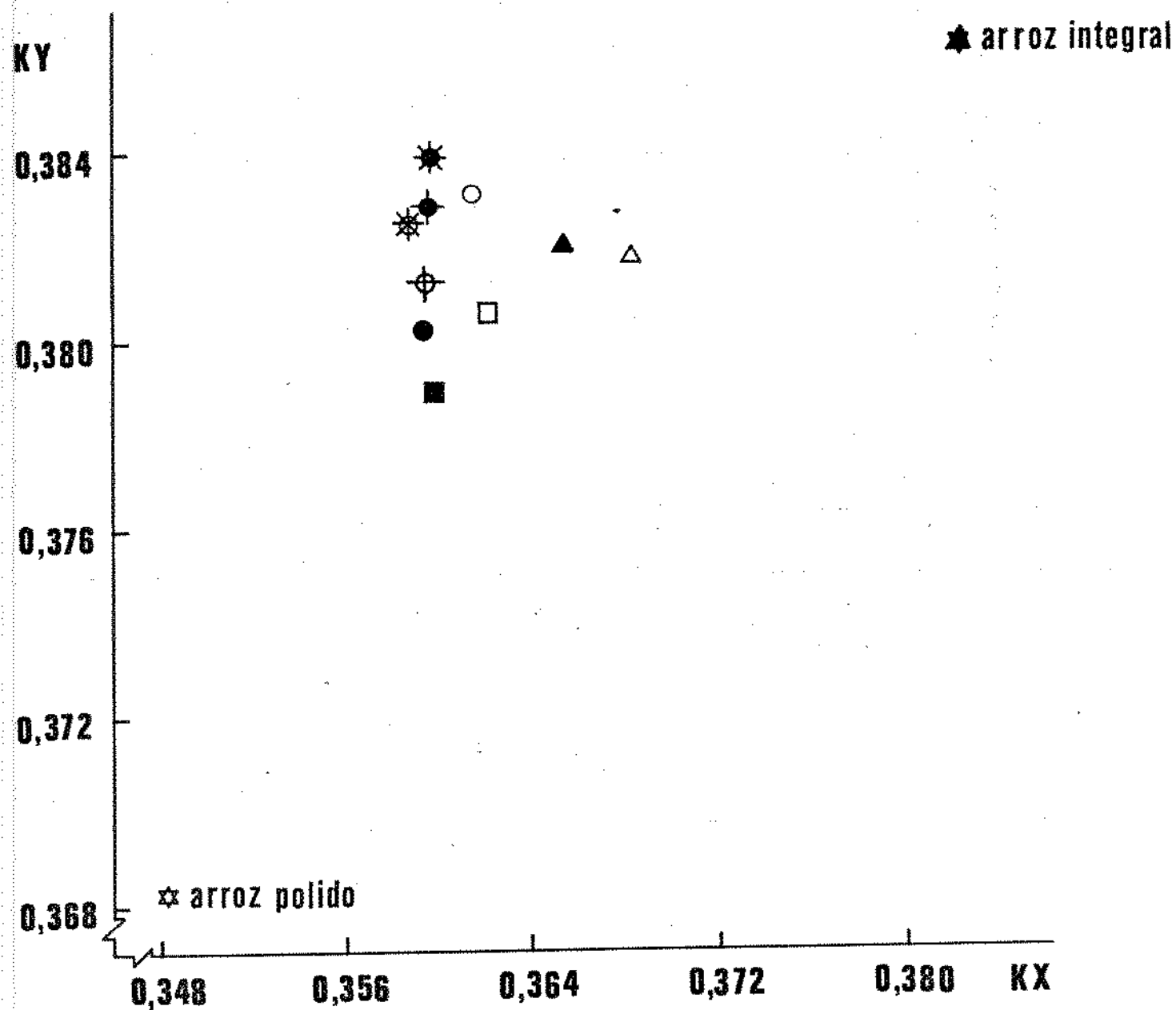


FIGURA 20. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 2 minutos de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral

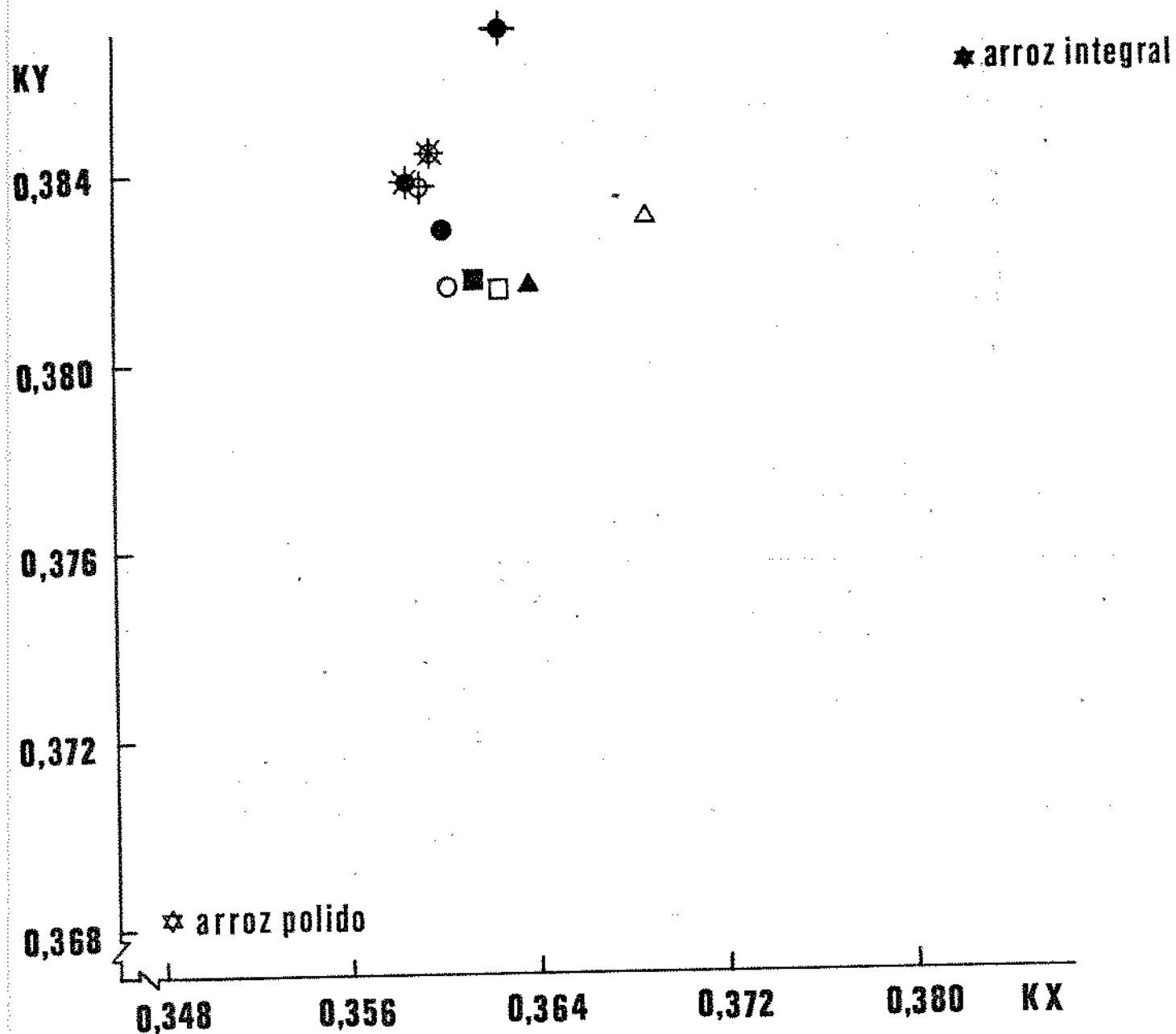


FIGURA 21. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 4 minutos de tratamento no diagrama de cromaticidade do arroz integral

centração de H_2O_2 resultou em uma coloração mais desejada, observando-se um maior efeito nas amostras tratadas a 20, 10 e 7,5% de H_2O_2 , respectivamente. As amostras tratadas em concentrações superiores a estas, nos respectivos tempos de tratamentos, apresentaram uma tendência de se afastar da cor característica do arroz polido.

ii. Efeito nas diferenças de cromaticidade, diferença de luminosidade e diferença de cor

O efeito da concentração e do tempo de tratamento nos valores de "DAC", "DAL" e "DE" é mostrado na Tabela XIX. Os resultados mostram que a medida que se aumentou a concentração e o tempo de tratamento, houve um aumento nestes valores.

A Figura 22, mostra que os valores de "DAC" aumentaram com o aumento do tempo de tratamento e concentração de H_2O_2 . Entretanto, apesar deste aumento, os valores do "DAC" não chegaram a atingir aqueles observados com arroz polido.

Através da Figura 23, pode-se observar que a amostra tratada por 2,5% de H_2O_2 , por 1 minuto, apresentou um valor de "DAL" próximo daquele apresentado pelo arroz polido. Entretanto, com o aumento da concentração de H_2O_2 , o "DAL" da amostra afastou-se acentuadamente do valor encontrado para o arroz polido. Analisando-se os valores de "DAC" e "DAL", em relação a concentração, o efeito foi maior às baixas concentrações enquanto às concentrações maiores este efeito foi menor.

A Figura 24, mostra as amostras tratadas com diferen-

TABELA XIX

Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio e do tempo de tratamento a 100°C nos valores da diferença de cromaticidade (DAC), diferença de luminosidade (DAL) e diferença total de cor (DE) do arroz integral

Amostras	Condições de tratamento		Leit. Espectrofotomêt.		
	Peróx. hidrog. (%)	Tempo (min.)	DAC	DAL	DE
Arroz polido	0,0	0,0	7,8	10,6	13,2
Arroz integral	0,0	0,0	-	-	-
		1,0	2,2	10,8	11,0
		2,0	2,4	11,9	12,1
	2,5	4,0	2,8	12,2	12,5
		1,0	3,0	13,3	13,6
		2,0	3,3	13,3	13,7
	5,0	4,0	3,8	14,1	14,6
		1,0	3,5	12,9	13,4
		2,0	3,9	14,2	14,7
	7,5	4,0	4,4	14,3	15,0
		1,0	3,8	14,6	15,1
		2,0	4,1	15,3	15,8
	10,0	4,0	4,6	15,0	15,7
		1,0	4,1	14,6	15,2
		2,0	5,1	15,7	16,5
	12,5	4,0	4,7	15,3	16,0
		1,0	4,4	14,3	15,0
		2,0	4,7	15,1	15,8
	15,0	4,0	5,4	15,4	16,3
		1,0	4,7	14,2	15,0
		2,0	5,0	15,0	15,8
	20,0	4,0	5,6	14,6	15,6
		1,0	4,6	14,6	15,3
		2,0	5,1	15,4	16,2
	25,0	4,0	6,0	14,9	16,1
		1,0	4,7	15,8	16,5
		2,0	5,2	16,2	17,0
	30,0	4,0	4,0	15,5	16,5
		1,0	4,9	15,8	16,5
		2,0	5,5	15,6	16,5
	36,0	4,0	5,7	15,5	16,5

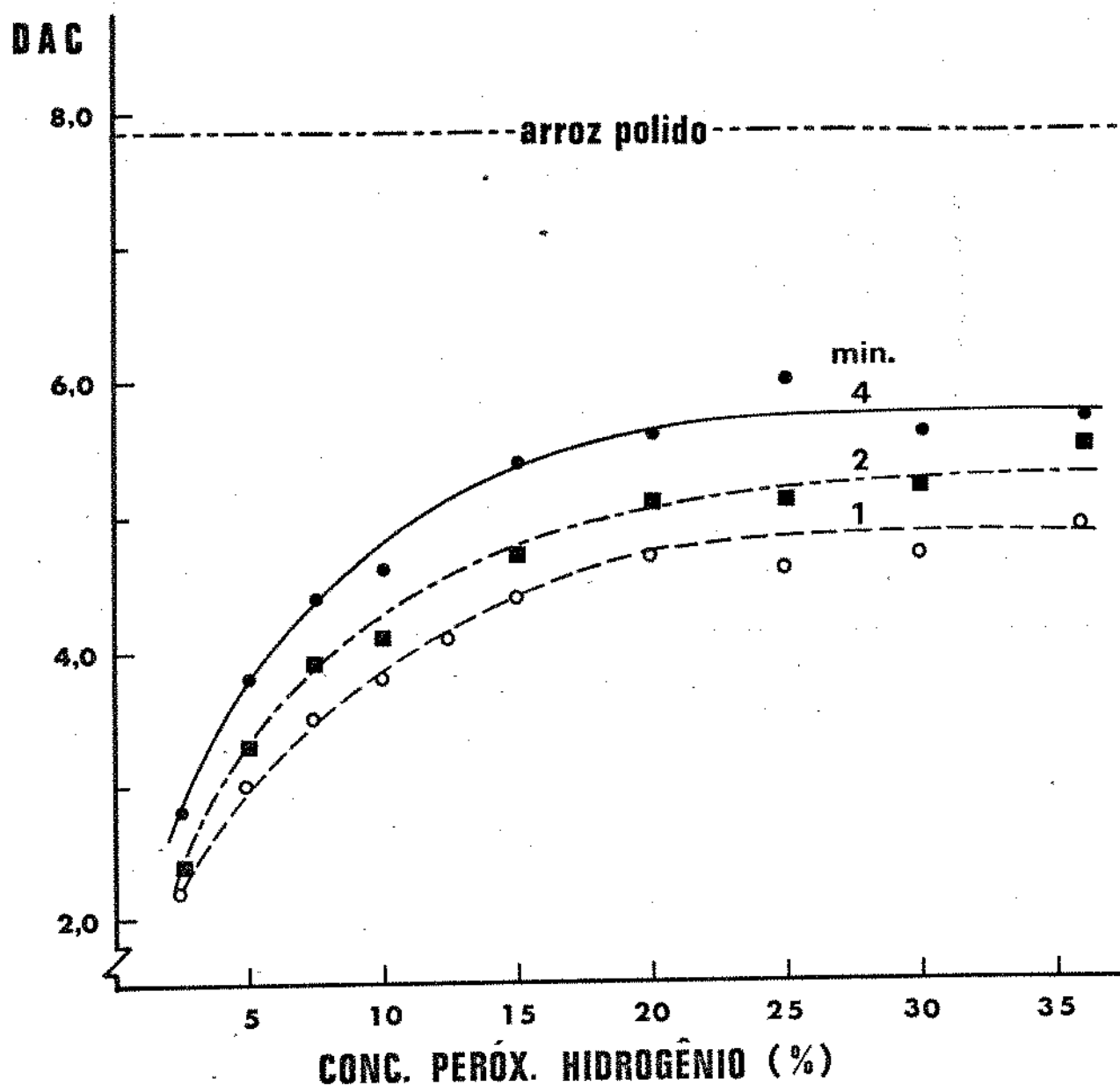


FIGURA 22. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio a 100°C por 1, 2 e 4 minutos de tratamento, na diferença de cromaticidade (DAC) do arroz integral

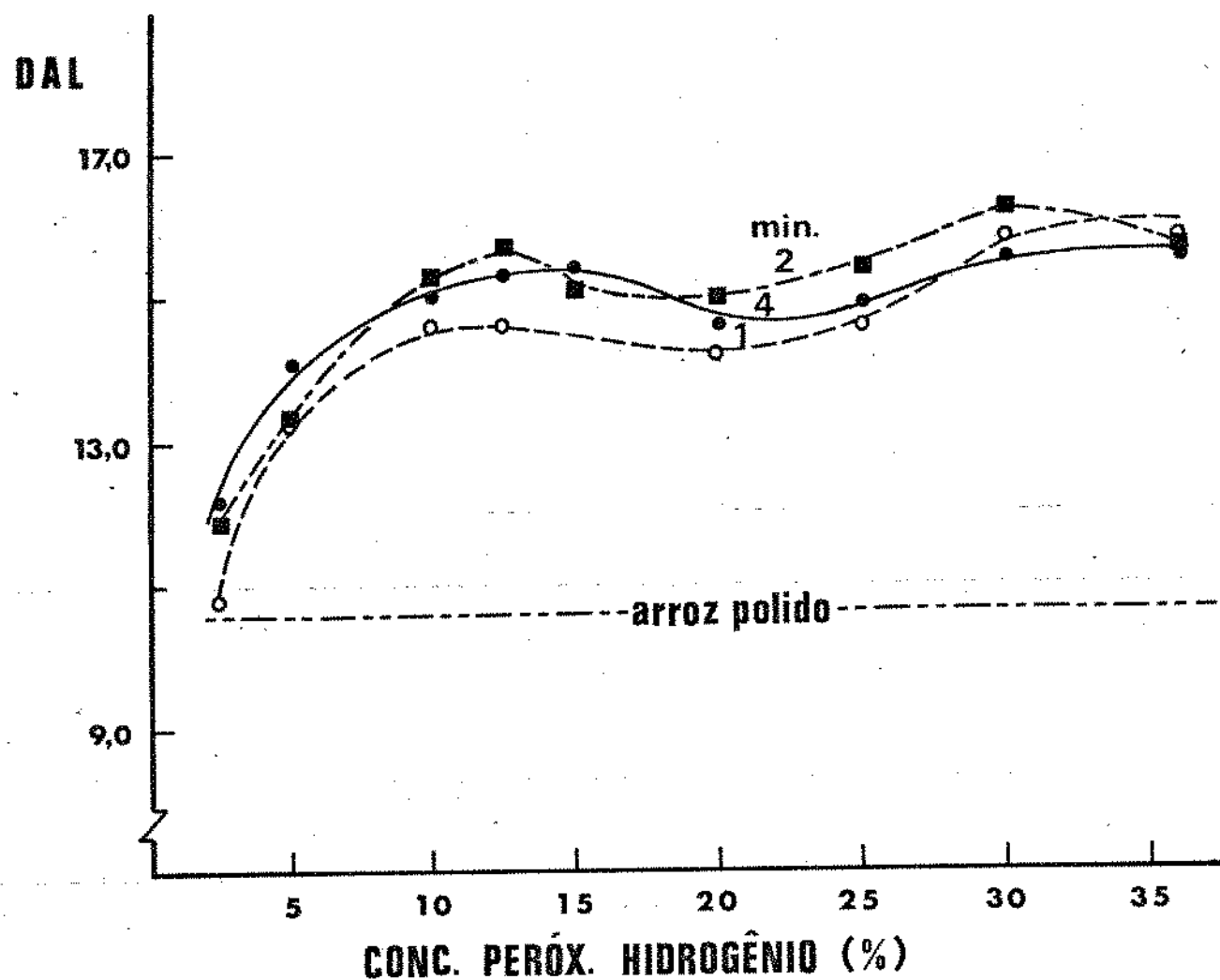


FIGURA 23. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 100°C por 1, 2 e 4 minutos de tratamento na diferença de luminosidade (DAL) do arroz integral

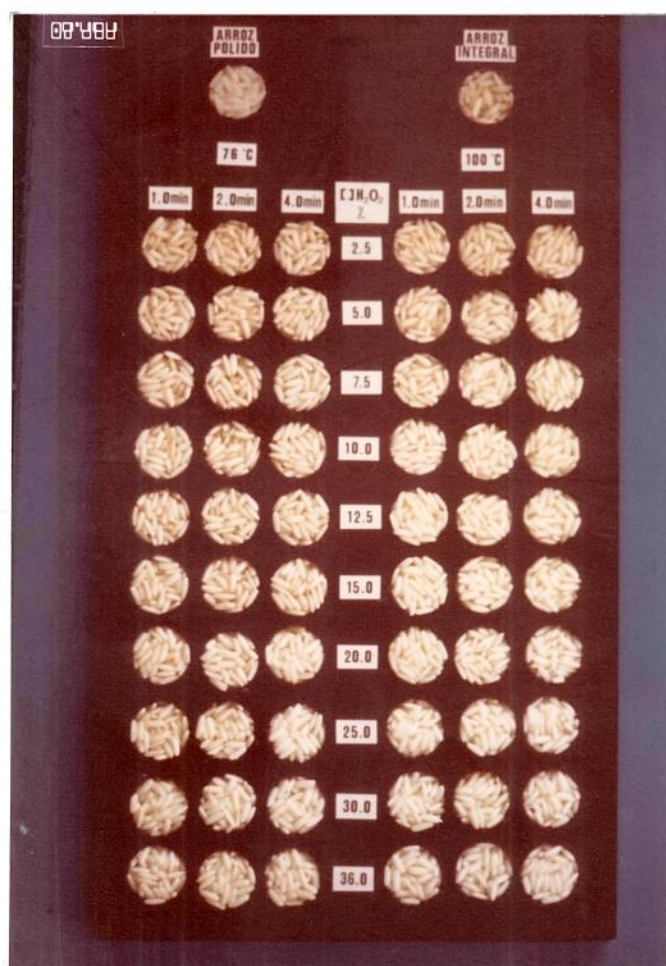


FIGURA 24. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio , temperatura e tempo de tratamento na cor do arroz integral

tes concentrações de peróxido de hidrogênio, temperaturas e tempo de tratamento. Através desta Figura pode-se avaliar, visualmente, as mudanças ocorridas na coloração do arroz integral tratado.

c. Efeito nas características físicas do arroz integral

Este estudo teve por objetivo determinar as características de viscosidade e de cozimento do arroz integral.

i. Viscosidade

O efeito de diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio a 76°C e 100°C nas características de viscosidade do arroz integral, está apresentado nas Tabelas XX e XXI e nas Figuras 25 e 26, respectivamente.

O tratamento acarretou uma redução na viscosidade máxima e na viscosidade a temperatura constante a medida que se aumentou a concentração do peróxido de hidrogênio. Entretanto, o efeito foi mais sensível no tratamento com 20% de H_2O_2 a 76°C. A 100°C a viscosidade de todas amostras foram afetadas drasticamente, porém foi observado que a 7,5% e 10,0%, as amostras apresentaram valores semelhantes de viscosidade.

O efeito do tratamento na viscosidade final a 50°C (retrogradação), foi notado em todas as concentrações, principalmente a 20% a 76°C por 4 minutos e a 7,5% e 10% a 100°C por 4 e 2 minutos, respectivamente. Comparando-se os resultados obtidos, observou-se que a maior temperatura de tratamento provo-

TABELA XX

Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio a 76°C, nas características viscoamilográficas do arroz integral

Características	arroz integral não tratado	Amostras com tratamento (76°C por 4 min.)		
		12,5%	15,0%	20,0%
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	71,0	71,0	72,0	71,0
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	91,0	90,0	91,5	89,5
Viscosidade máxima (U.A.)	600	580	560	500
Viscosidade mínima a temperatura constante de 95°C (U.A.)	340	330	320	200
Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento (U.A.)	760	690	660	400

TABELA XXI

Efeito da concentração de peróxido de hidrogênio a 100°C, nas características viscoamilográficas do arroz integral

Características	Arroz integral não tratado	Amostras com tratamento		
		5,0% (4 min.)	7,5% (4 min.)	10,0% (2 min.)
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	71,0	69,0	70,0	70,0
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	91,0	90,5	88,0	88,0
Viscosidade máxima (U.A.)	600	450	390	390
Viscosidade mínima a temperatura constante de 95°C (U.A.)	340	160	140	100
Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento (U.A.)	760	320	230	220

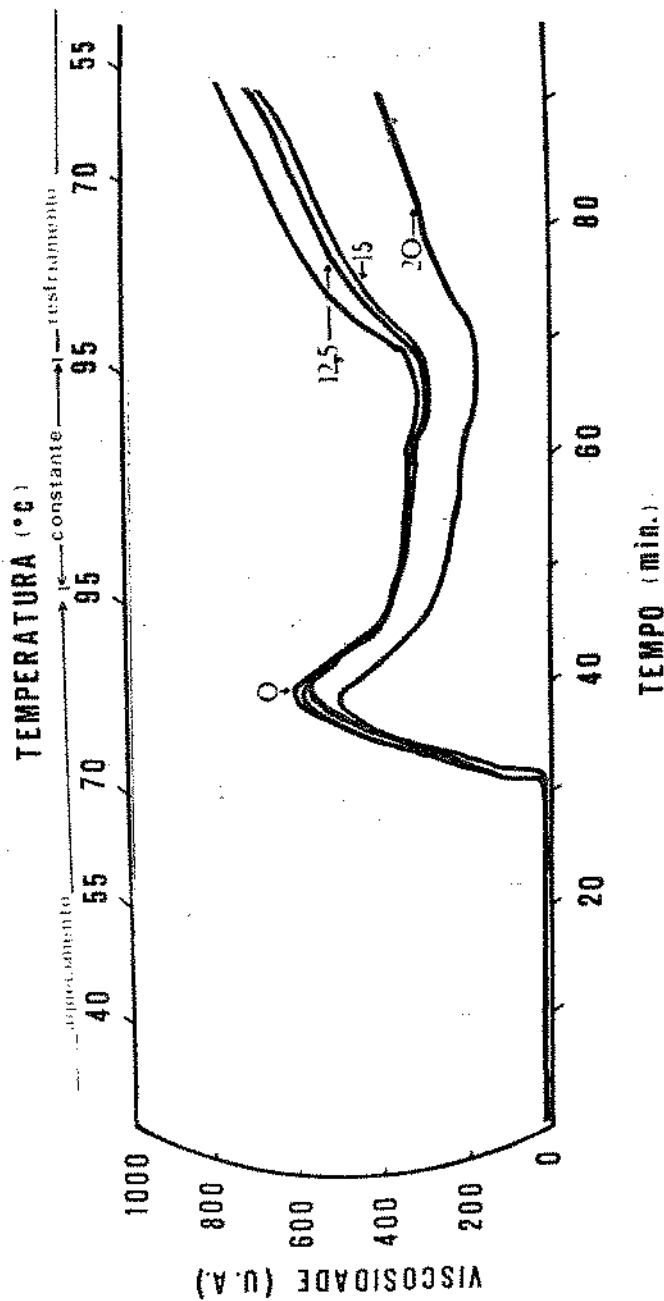


FIGURA 25. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio à 76°C por 4 minutos de tratamento nos amilogramas do arroz integral

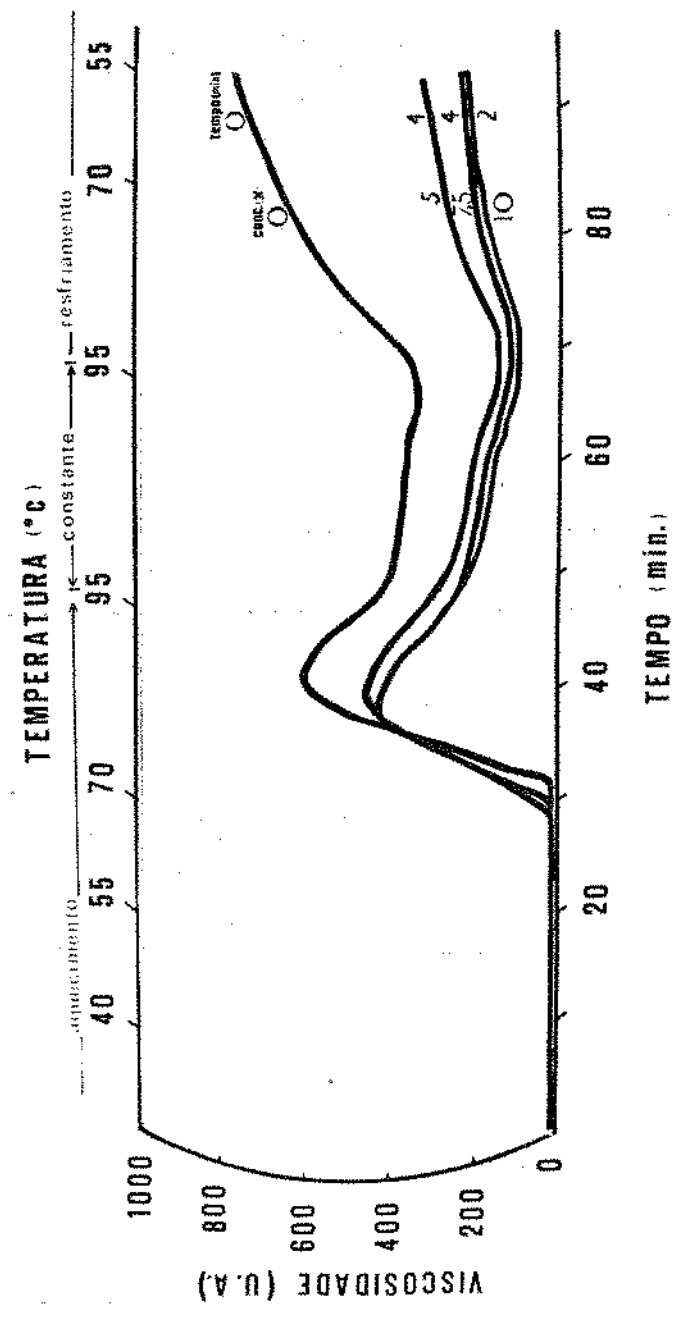


FIGURA 26. Efeito da concentração do peróxido de hidrogênio a 100°C por 2 e 4 minutos de tratamentos nos anilogramas do arroz integral

cou o maior efeito nas características de viscosidade,

ii. Teste de cozimento

Os resultados do efeito do tempo de cozimento e da absorção da água nas amostras de arroz integral tratados são apresentados na Tabela XXII.

As amostras tratadas a 76°C e 100°C, necessitaram de aproximadamente 30 minutos para o cozimento completo. Este valor foi inferior àqueles observados no arroz integral não tratado. Esta diminuição no tempo de cocção foi atribuída, possivelmente, ao tratamento térmico feito previamente.

Durante o cozimento, as amostras tratadas a 100°C absorveram maior quantidade de água que o arroz integral não tratado, enquanto que as amostras tratadas a 76°C apresentaram valores de absorção de água semelhante ao arroz integral não tratado.

d. Características tecnológicas

No presente trabalho foi feita a avaliação sensorial de algumas amostras, tratadas com peróxido de hidrogênio: 7,5% de H_2O_2 a 76°C e 5,0% de H_2O_2 a 100°C por 4 minutos.

i. Avaliação sensorial do arroz integral tratado com peróxido de hidrogênio em relação ao arroz integral não tratado, após cozimento

Os valores médios obtidos na avaliação sensorial das amostras tratadas estão apresentados na Tabela XXIII. Os resul

TABELA XXII

Efeito de tratamento de peróxido de hidrogênio a 76 e 100°C no teste de cozimento do arroz integral

Condições de tratamento			Características	
Temperatura (°C)	Peróx. hidrog. (%)	Tempo (min.)	Tempo de cozimento (min.)	Absorção de água (%)
-	0,0	0,0	37,0	202,8
100	5,0	4,0	30,0	233,3
	7,5	4,0	30,0	233,9
	10,0	2,0	30,0	228,6
76	12,5	4,0	31,0	206,4
	15,0	4,0	30,0	203,0
	20,0	4,0	29,0	203,9

TABELA XXIII

Avaliação sensorial do arroz integral e do arroz integral tratado por peróxido de hidrogênio, após cozimento

Testes	Arroz integral	Condições de tratamento	
		Tempo (min.)	4
		Temperat. (°C)	76 100
		Concentr. (%)	7,5 5,0
Cor	5,87		5,20 6,29
Odor	6,12		5,91 4,04
Sabor	5,89		5,80 3,54
Preferência	5,67		5,59 3,61

tados mostraram que as amostras tratadas com 7,5% de H_2O_2 a 76°C durante 4 minutos não apresentaram diferenças significativas nos testes sensoriais em relação ao arroz integral não tratado. As amostras tratadas com 5,0% de H_2O_2 a 100°C por 4 minutos apresentaram diferenças significativas ao nível de 1% nos testes em relação ao arroz integral não tratado.

ii. Avaliação sensorial do arroz integral tratado com peróxido de hidrogênio em relação ao arroz polido após cozimento

Os resultados da avaliação sensorial das amostras são apresentados na Tabela XXIV.

Os resultados mostraram que as amostras tratadas com 7,5 e 5,0% de H_2O_2 durante 4 minutos a 76°C e 100°C, respectivamente, apresentaram diferenças significativas ao nível de 1% nos testes sensoriais em relação ao arroz polido. Além disso, os resultados também mostraram que o arroz integral tratado com 7,5% a 76°C e 5,0% a 100°C, diferiram entre si a nível de 1%.

C. EFEITO DO TRATAMENTO DE MICROONDAS NA ESTABILIDADE DO ARROZ INTEGRAL

Tendo em vista a instabilidade do arroz integral durante o armazenamento foi investigado o efeito da energia de micro

TABELA XXIV

Avaliação sensorial do arroz polido e do arroz integral tratado por peróxido de hidrogênio, após cozimento

Testes	Arroz polido	Condições de tratamento	
		Tempo (min.)	4
		Temperat. (°C)	76 100
		Concentr. (%)	7,5 5,0
Cor	6,68		5,82 5,38
Odor	8,33		4,51 2,60
Sabor	8,42		4,85 2,82
Preferência	8,25		4,38 2,78

ondas na atividade da enzima lipase e nas características químicas e físicas do arroz integral.

1. Efeito na atividade da lipase no arroz integral

A radiação de microondas é usada como fonte de energia e através do seu emprego pela produção de aquecimento, pode-se desnaturar a lipase que é uma enzima termosensível. Baseado nisso, visamos a utilização da radiação de microondas para controlar o desenvolvimento de ácidos graxos livres provocado por esta enzima, presente no arroz integral.

Os efeitos da radiação de microondas na atividade da enzima lipase foram estudados em três níveis de umidade inicial do arroz integral (13,4; 14,6 e 17,3%). Estes tratamentos foram feitos com potência máxima e média de radiação e com diferentes tempos de exposição.

a. Efeito do tratamento de microondas no arroz integral com 13,4% de umidade

O efeito do tempo de exposição do arroz integral com umidade inicial de 13,4% à potência máxima e média sobre a produção de ácidos graxos livres, durante 5 e 10 minutos da reação enzimática está apresentada na Tabela XXV. De acordo com os resultados obtidos, foi verificado que a medida que se aumentou o tempo de exposição das amostras sob a potência máxima e média

TABELA XXV

Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na atividade da lipase do arroz integral com umidade inicial de 13.4% após 5 e 10 minutos da reação enzimática

Tratamentos		Produção de AGL	
Potência	Tempo (Seg.)	(μmol/Δt/mL)	
		Δt = 5 min.	Δt = 10 min.
Máxima	0	0,32	0,32
	20	0,31	0,31
	40	0,28	0,28
	50	0,26	0,26
	70	0,23	0,23
Média	40	0,26	0,26
	80	0,24	0,24

a atividade da lipase, medida pelos ácidos graxos livres, diminuiu gradativamente. Entretanto, comparando-se os valores do coeficiente angular, mostrado na Tabela XXVI e na Figura 27, o efeito da inativação da lipase foi maior para a amostra submetida a potência máxima. Foi observado também que a atividade da lipase no substrato para produção de ácidos graxos livres foi mais rápida e efetiva nos primeiros 5 minutos de reação, tendendo a se estabilizar a medida que se aumentou o tempo da reação enzimática.

Verificou-se também, que a aplicação de microondas nas amostras provocou uma diminuição gradativa do teor de umidade do grão conforme mostrado pela Tabela XXVII e Figura 28. Comparando-se os valores do coeficiente angular da Tabela XXVIII, pode-se observar que a utilização de microondas com potência máxima produziu um efeito maior na perda de umidade no grão. O tempo de exposição foi limitado a 70 e 80 segundos para potência máxima e média, respectivamente. Tempos de exposição superiores a estes, provocaram o aparecimento de grãos torrados, que são indesejáveis.

b. Efeito do tratamento de microondas no arroz integral com 14,6% de umidade

O efeito de diferentes tempos de exposição da amostra com umidade inicial de 14,6% a potência máxima e média sobre a produção de ácidos graxos livres pela atividade da lipase durante 5 e 10 minutos da reação enzimática está apresentada na Tabe

TABELA XXVI

Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a produção de ácidos graxos livres ($\mu\text{mol}/\Delta t/\text{mL}$) pela enzima lipase (após 5 minutos da reação enzimática), com o tempo de exposição (seg.) a microondas

Potência	Coeficiente angular	Ponto de interseção	Coeficiente de correlação
Máxima	-0,0012	0,309	0,9751
Média	-0,0008	0,305	0,9707

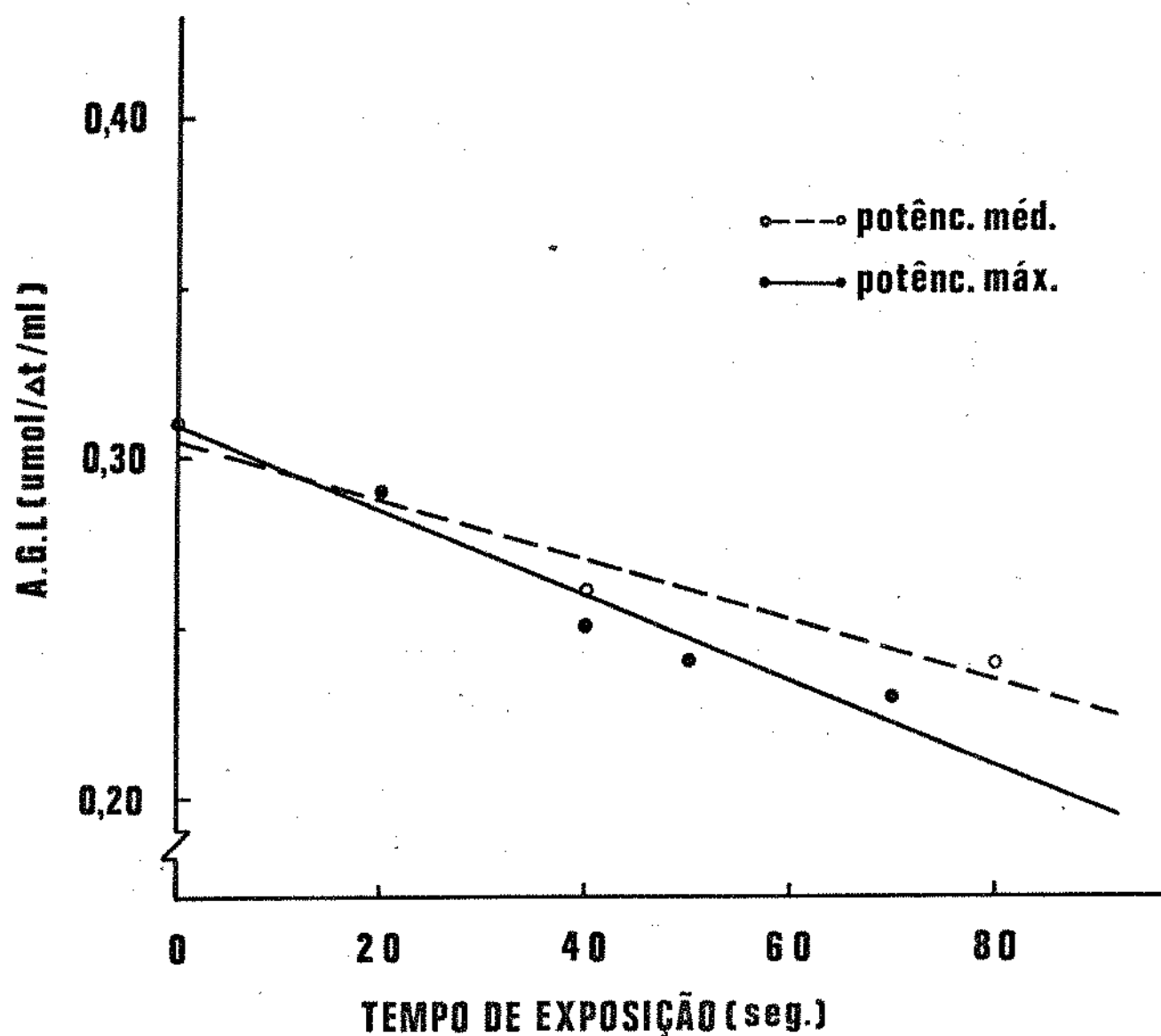


FIGURA 27. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na produção de ácidos graxos livres pela lipase do arroz integral com 13,4% de umidade inicial

TABELA XXVII

Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média)
no teor de umidade do arroz integral

Tratamento		Umidade
Potência	Tempo (seg.)	final (%)
Máxima	0	13,4
	20	12,9
	40	12,2
	50	12,0
	70	12,0
Média	40	12,4
	80	11,7

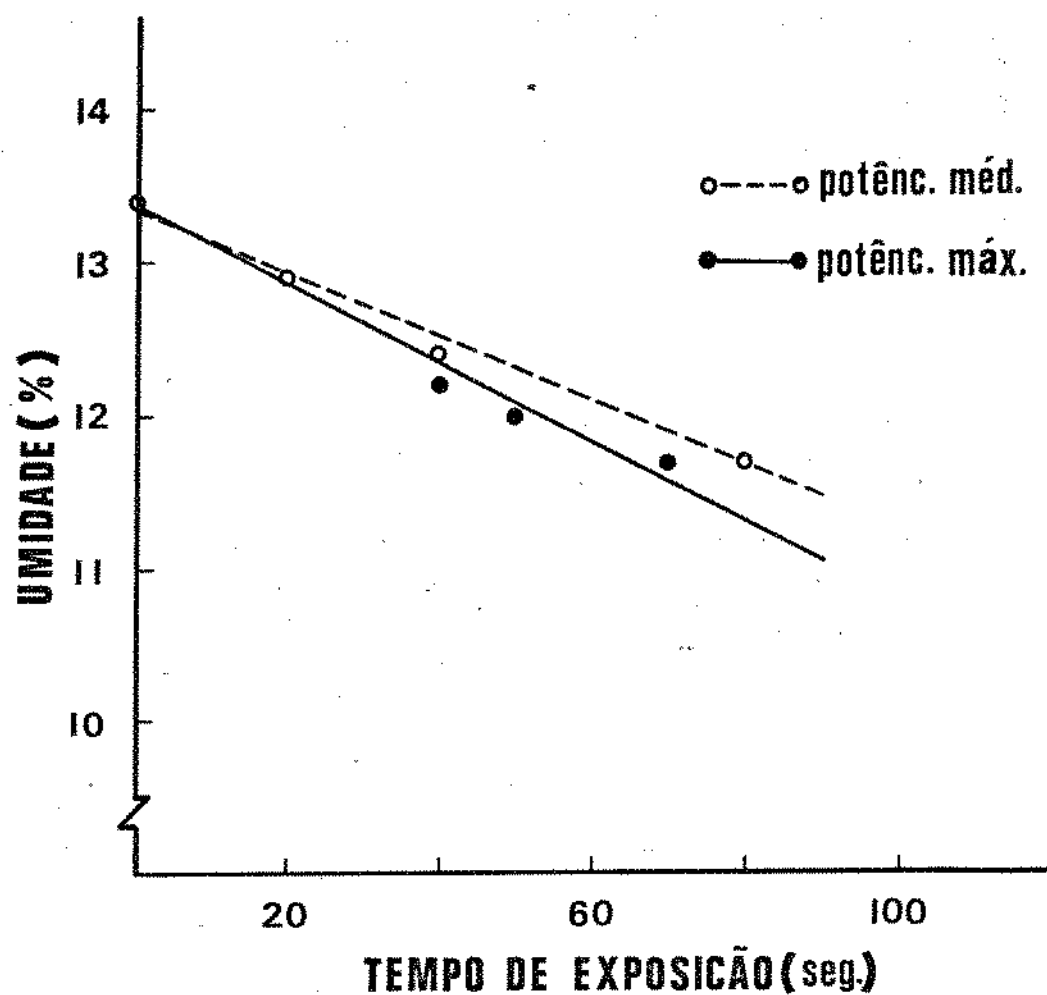


FIGURA 28. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) no teor de umidade do arroz integral (umidade inicial = 13,4%)

TABELA XXVIII

Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a perda de umidade (%) e o tempo de exposição (seg.) a microondas

Potência	Coeficiente angular	Ponto de interseção	Coeficiente de correlação
Máxima	-0,0254	13,4	0,9879
Média	-0,0213	13,4	0,9945

la XXIX e Figura 29.

Os resultados mostraram que a medida que se aumentou o tempo de exposição das amostras, com ambas as potências ocorreram uma diminuição gradativa na atividade da lipase. Os valores do coeficiente angular apresentados na Tabela XXX, confirmam que o efeito na inativação de enzima foi mais efetivo com o tratamento feito com a potência máxima. Comparando-se os tempos de reação enzimática de 5 e 10 minutos, na produção de ácidos graxos livres, pode-se verificar que a atuação da lipase na hidrólise do substrato foi mais intensa no início da reação, diminuindo a partir de 5 minutos. As amostras sujeitas ao tratamento de microondas mostraram uma diminuição gradativa no teor de umidade a medida que se elevou o tempo de exposição. Este efeito é mostrado na Tabela XXXI e Figura 30. Apesar de ambas as potências usadas terem diminuído o teor de umidade do grão, os valores do coeficiente angular apresentados na Tabela XXXII, mostraram que as amostras submetidas a potência máxima resultaram em um maior efeito na diminuição da umidade dos grãos.

O tempo de tratamento foi limitado a 80 e 120 segundos para a potência máxima e média, respectivamente, devido ao fato do aparecimento de grãos torrados quando foram usados tempos superiores a estes limites.

c. Efeito do tratamento de microondas no arroz integral com 17,3% de umidade

O efeito do tempo de exposição da amostra com umidade

TABELA XXIX

Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na atividade da lipase do arroz integral comunidade inicial de 14.6% após 5 e 10 minutos da reação enzimática

Tratamentos		Produção de AGL	
Potência	Tempo (seg.)	(μmol/Δt/mL)	
		Δt = 5 min.	Δt = 10 min.
Máxima	0	0,31	0,32
	20	0,26	0,26
	30	0,24	0,25
	40	0,22	0,22
	70	0,16	0,18
	80	0,13	0,14
Média	40	0,26	0,26
	80	0,19	0,21
	120	0,18	0,18

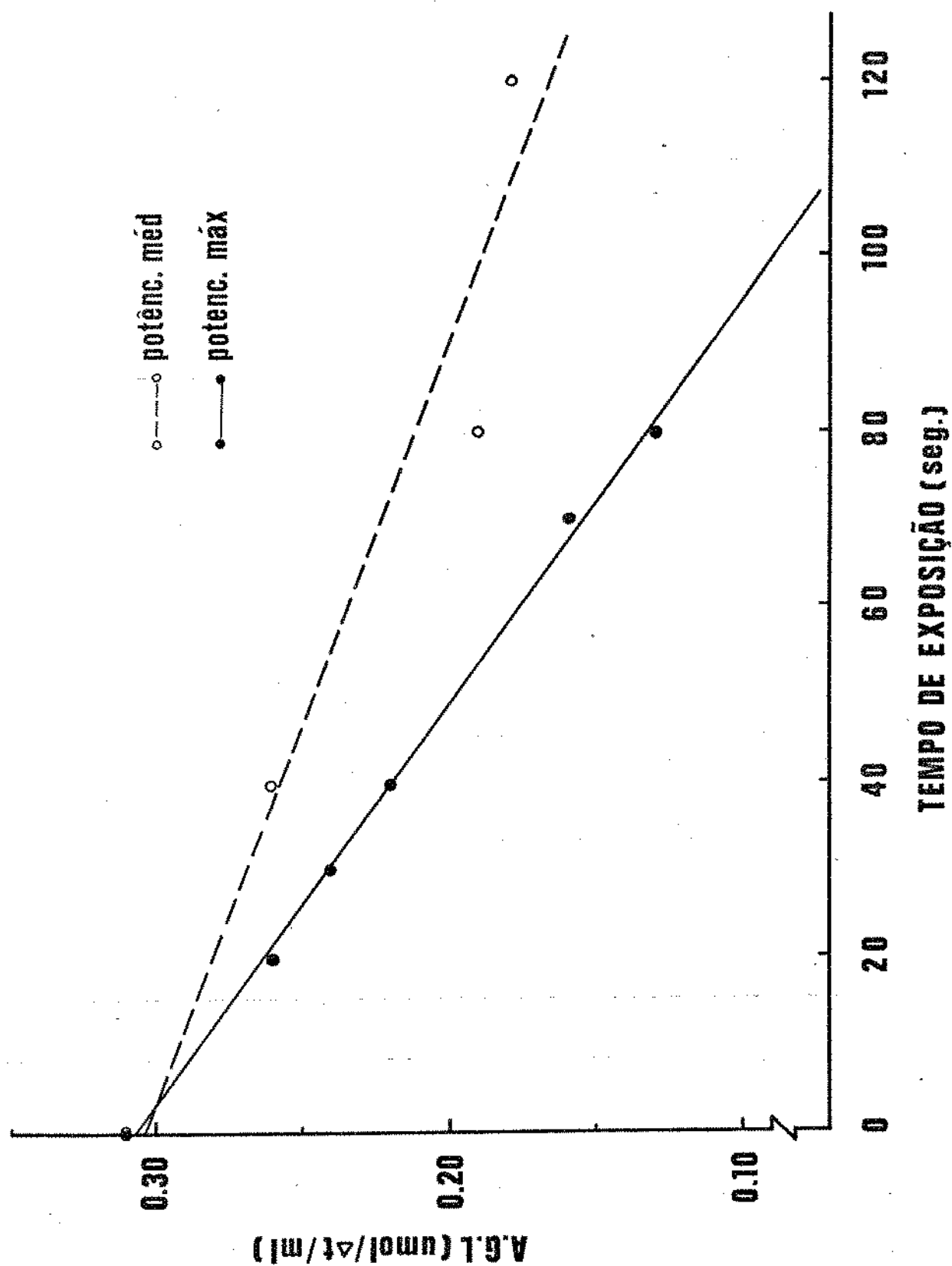


FIGURA 29. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na produção de ácidos graxos livres pela lipase do arroz integral com 14,6% de unidade inicial

TABELA XXX

Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a produção de ácidos graxos livres ($\mu\text{mol}/\Delta t/\text{mL}$) pela enzima lipase (após 5 minutos de reação enzimática), com o tempo de exposição (seg.) a microondas

Potência	Coeficiente angular	Ponto de interseção	Coeficiente de correlação
Máxima	-0,0022	0,207	0,9986
Média	-0,0012	0,304	0,9676

TABELA XXXI

Efeito do tempo de exposição a microondas no teor de umidade do arroz integral

Tratamentos		Umidade
Potência	Tempo (seg.)	final (%)
Máxima	0	14,6
	20	13,9
	30	13,5
	40	13,2
	70	12,0
	80	11,7
Média	40	13,6
	80	12,6
	120	11,9

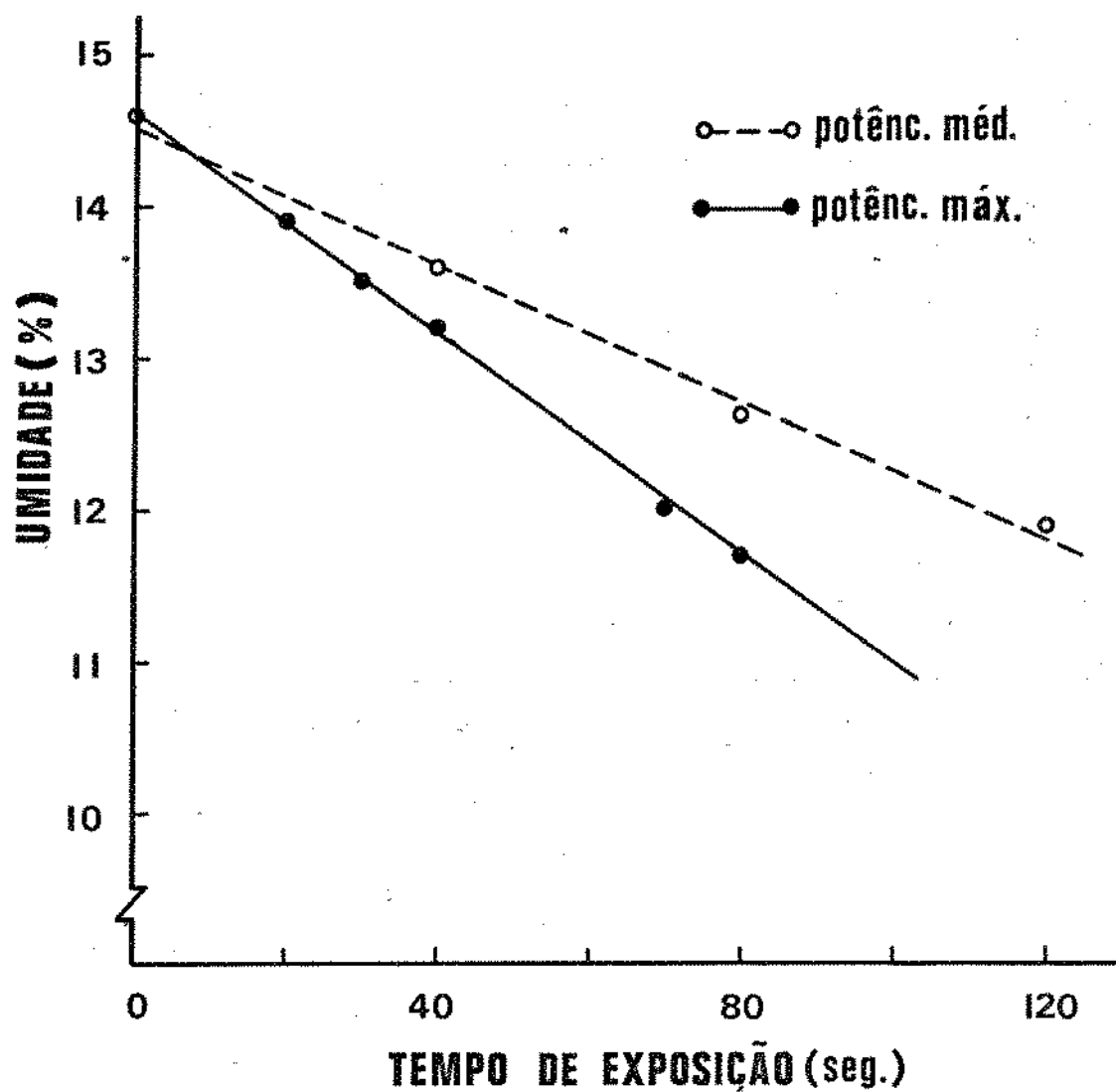


FIGURA 30. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) no teor de umidade do arroz integral (Umidade inicial = 14,6%)

TABELA XXXII

Parâmetros das equações da reta e coeficiente da correlação que relacionam a perda de umidade (%) e o tempo de exposição (seg.) a microondas

Potência	Coeficiente angular	Ponto de interseção	Coeficiente de correlação
Máxima	-0,0367	14,6	0,9995
Média	-0,0023	14,5	0,9968

inicial de 17,3%, exposta a energia de microondas com potência máxima e média sobre a atividade da lipase durante 5 e 10 minutos da reação enzimática está apresentada na Tabela XXXIII e Figura 31.

Conforme os resultados obtidos, verificou-se que as amostras submetidas a ambas as potências de microondas apresentaram uma diminuição gradativa na produção de ácidos graxos livres a medida que aumentou o tempo de exposição. De acordo com os valores do coeficiente angular mostrados na Tabela XXXIV, pode-se verificar que a inativação da enzima foi mais efetiva em amostras submetidas a potência máxima. Comparando-se a atividade da lipase durante 5 e 10 minutos de reação observou-se que não houve diferença marcante na produção de ácidos graxos livres.

Paralelamente, a aplicação de microonda com potência máxima e média provocou uma diminuição gradativa no teor de umidade a medida que aumentou o tempo da exposição. Este fato pode ser observado na Tabela XXXV e Figura 32. Entretanto, comparando os valores do coeficiente angular mostrados na Tabela XXXVI, pode-se verificar que as amostras submetidas a potência máxima sofreram uma maior diminuição no teor de umidade do grão.

2. Efeito do tratamento de microondas nas características físicas do arroz integral

TABELA XXXIII

Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na atividade da lipase do arroz integral com umidade inicial de 17.3% após 5 e 10 minutos da reação enzimática

Tratamentos		Produção de AGL	
Potência	Tempo (seg.)	(μmol/Δt/mL)	
		Δt = 5 min.	Δt = 10 min.
Máxima	0	0,31	0,32
	30	0,24	0,26
	50	0,21	0,21
	70	0,19	0,19
	90	0,14	0,14
	100	0,11	0,11
Média	40	0,25	0,25
	80	0,22	0,22
	120	0,19	0,19

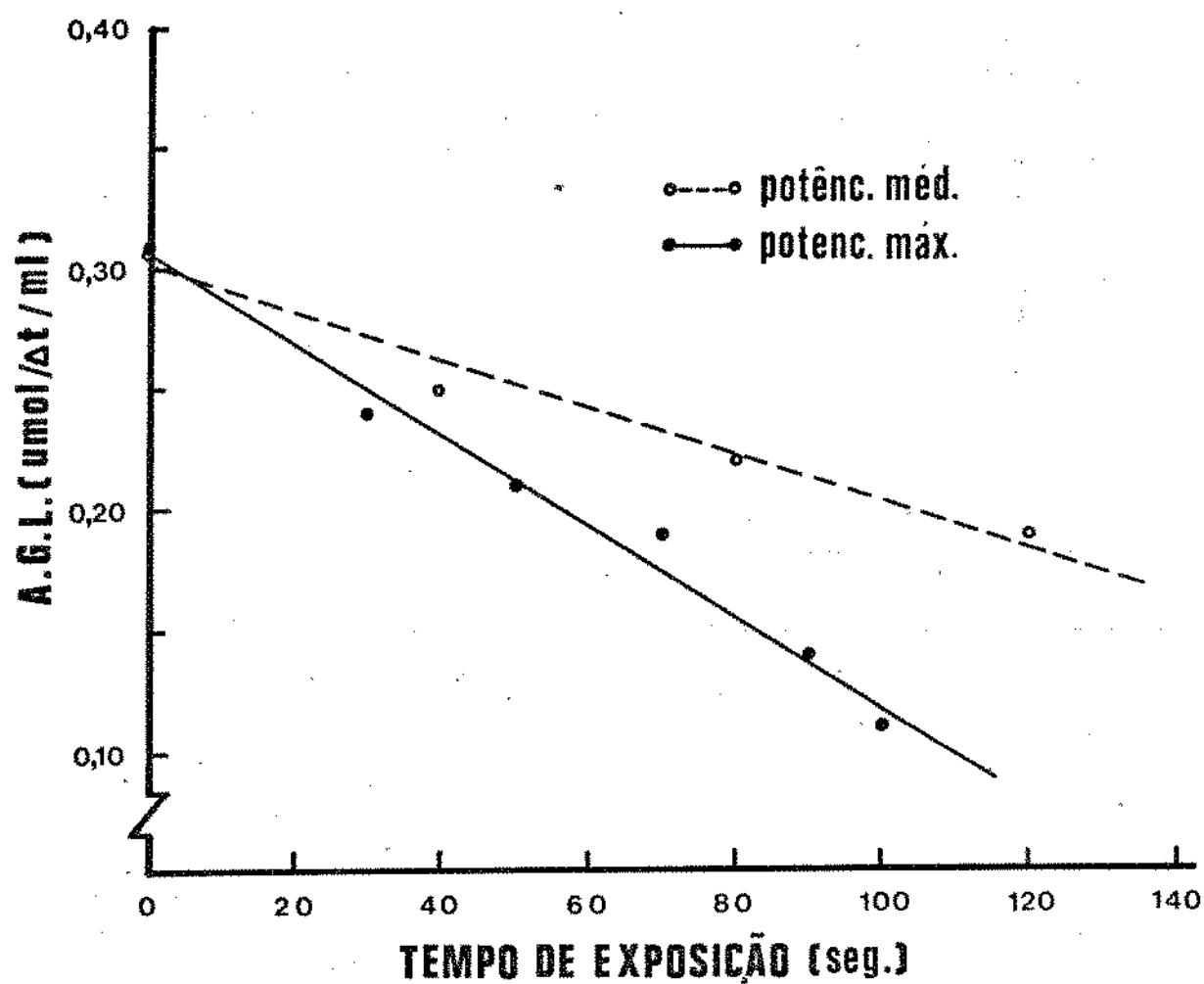


FIGURA 31. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) na produção de ácidos graxos livres pela lipase do arroz integral com 17,3% de umidade inicial

TABELA XXXIV

Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a produção de ácidos graxos livres ($\mu\text{mol}/\Delta t/\text{mL}$) pela enzima lipase (após 5 minutos de reação enzimática), com o tempo de exposição (seg.) a microondas

Potência	Coeficiente angular	Ponto de interseção	Coeficiente de correlação
Máxima	-0,0019	0,306	0,9916
Média	-0,0010	0,301	0,9827

TABELA XXXV

Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média)
no teor de umidade do arroz integral

Tratamentos		Umidade
Potência	Tempo (seg.)	final (%)
Máxima	0	17,3
	30	14,8
	50	13,4
	70	12,1
	90	11,8
	100	11,6
Média	40	16,0
	80	14,4
	120	12,7

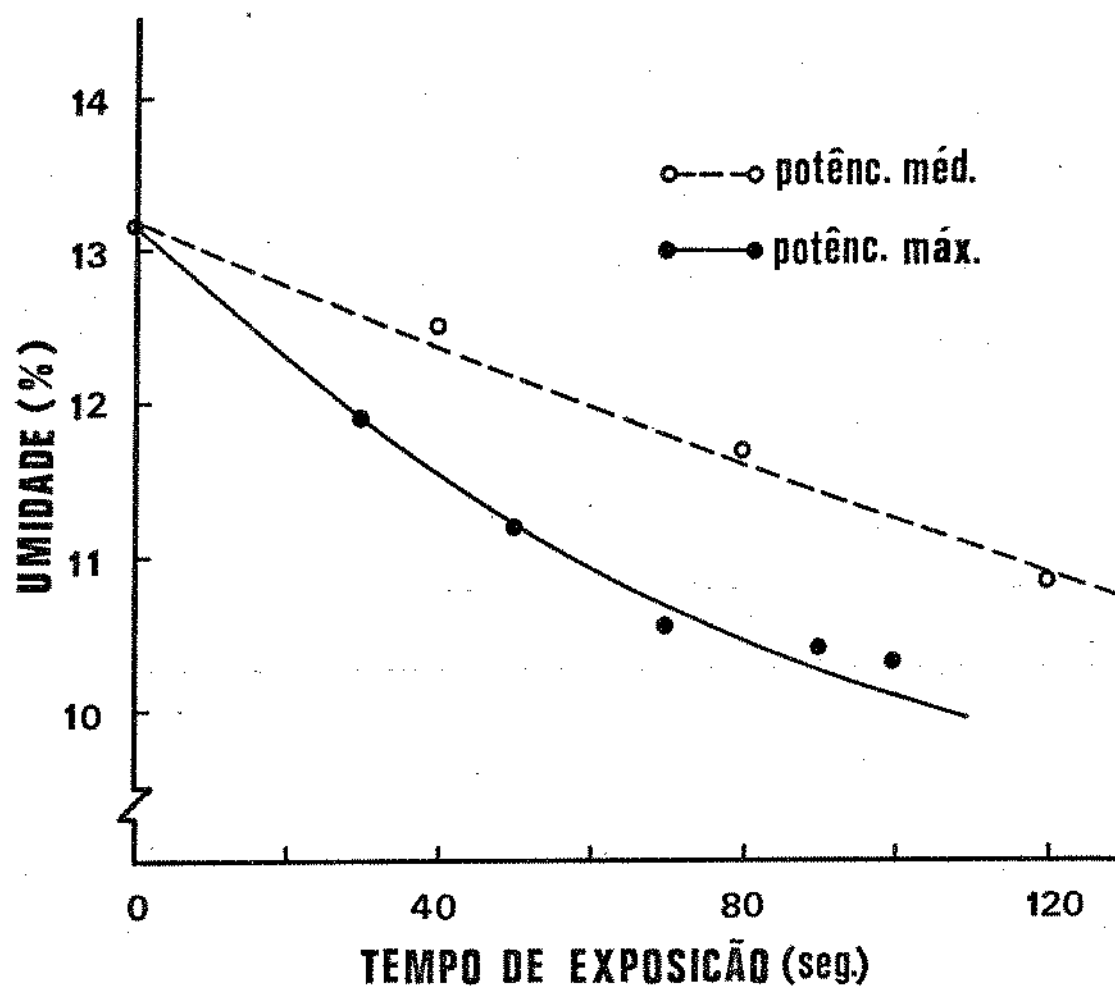


FIGURA 32. Efeito do tempo de exposição a microondas (potência máxima e média) no teor de umidade do arroz integral (Umidade inicial = 17,3%)

TABELA XXXVI

Parâmetros das equações da reta e coeficiente de correlação que relacionam a perda de umidade (%) e o tempo de exposição (seg.) a microondas

Potência	Coeficiente angular	Ponto de interseção	Coeficiente de correlação
Máxima	-0,0571	16,7	0,9716
Média	-0,0385	17,4	0,9982

Para estudar o efeito de microondas nas características físicas do arroz integral foram selecionados os seguintes tratamentos: 13,4% de umidade inicial por 40 e 70 segundos, 14,6% de umidade inicial por 40 e 80 segundos e 17,3% de umidade inicial por 50 e 100 segundos de exposição.

a. Viscosidade

O efeito de microondas nas características de viscosidade do arroz integral está apresentado na Tabela XXXVII e nas Figuras 33, 34 e 35.

Os resultados mostram que o tratamento com microondas teve pouca influência nas características de viscosidade do arroz integral independente das umidades iniciais.

b. Teste de cozimento

O efeito da potência máxima de microondas nos tempos de cozimento e na absorção de água das amostras são apresentadas na Tabela XXXVIII.

A maioria das amostras tratadas com potência máxima não apresentaram praticamente diferença quanto ao tempo de cozimento, em relação ao arroz integral. Entretanto, a amostra com 17,3% de umidade inicial e tratado durante 100 segundos apresentou uma ligeira queda no tempo de cozimento, sendo observado uma desintegração nos grãos cozidos.

A medida que se aumentou o tempo de exposição, observou-se uma maior absorção de água. A amostra com 17,3% de umi-

TABELA XXXVII

Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nas características viscoamilográficas do arroz integral com diferentes teores de umidades iniciais

Características	Condições de Tratamento					
	Umidade (%)	13,4	14,6	17,3		
	Tempo (seg.)	0	40	70	40	50
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	66,0	66,0	66,5	66,0	67,5	67,0
Viscosidade máxima (U.A.)	610	590	560	600	560	580
Temperatura de Viscosidade máxima (°C)	87,0	87,0	88,0	88,0	88,0	87,0
Viscosidade mínima a temperatura constante de 95°C (U.A.)	370	370	380	380	390	380
Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento (U.A.)	890	880	880	910	900	890

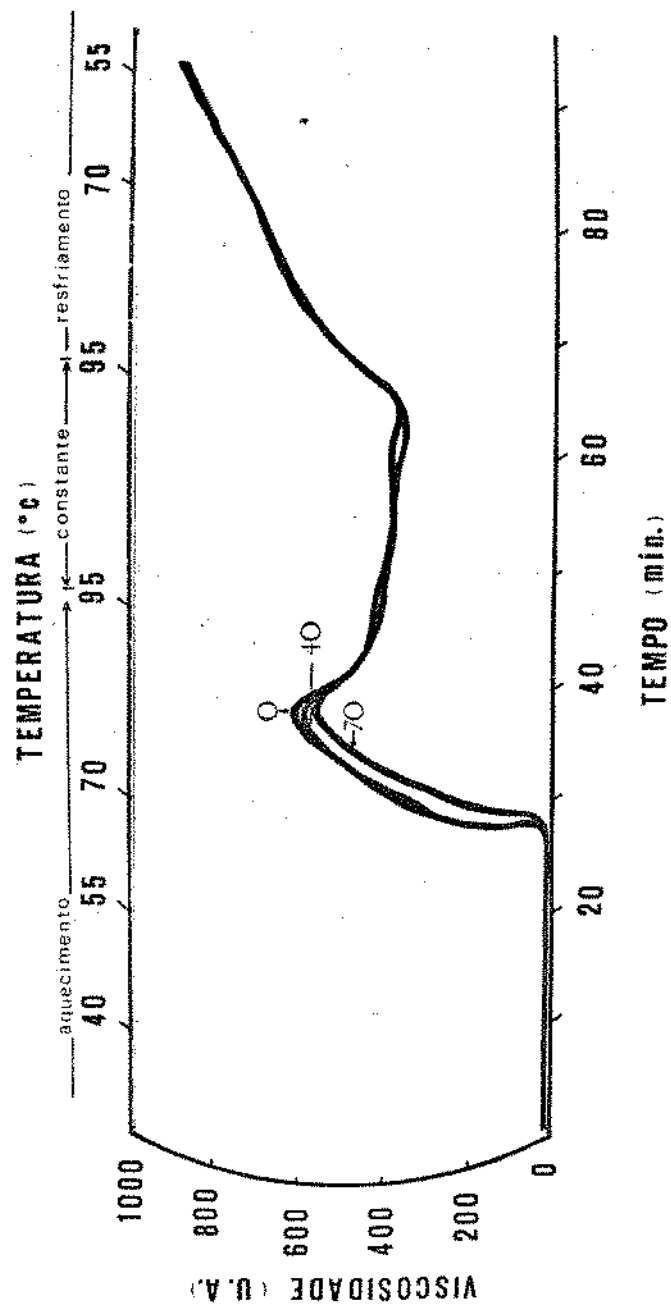


FIGURA 33. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nos amilo-gramas do arroz integral com unidade inicial de 13,4%

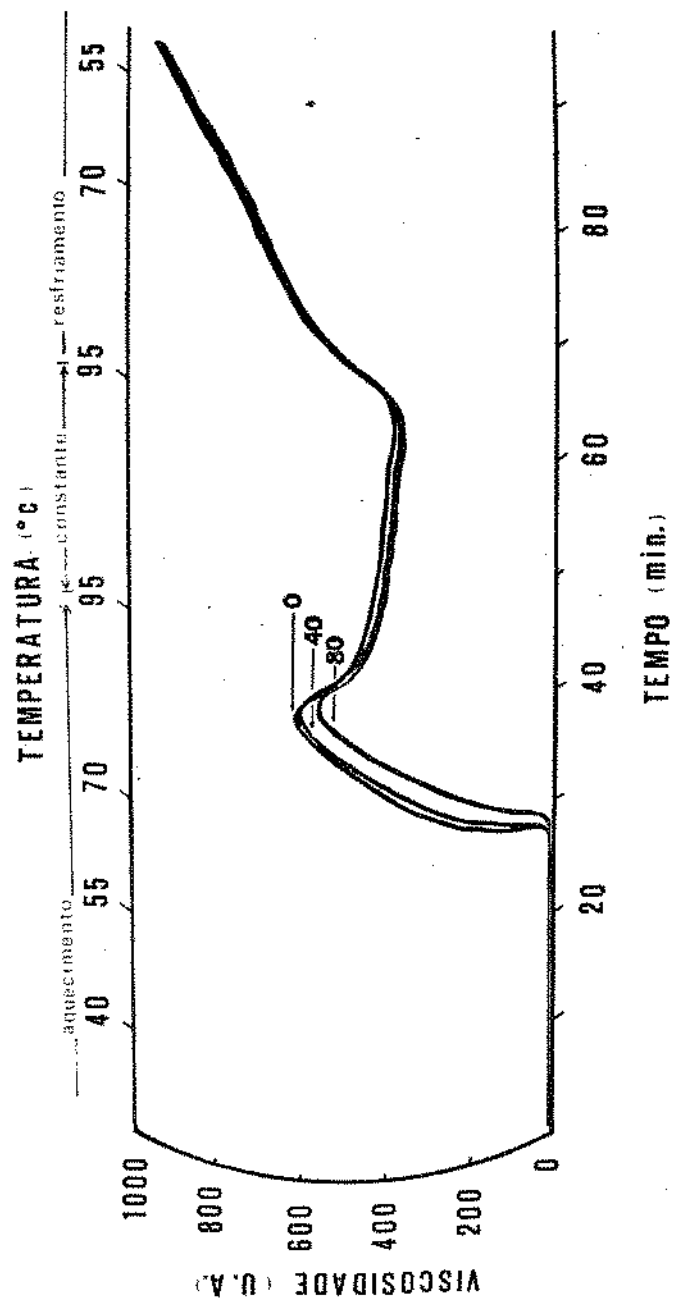


FIGURA 34. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nos amilogramas do arroz integral com umidade inicial de 14,6%

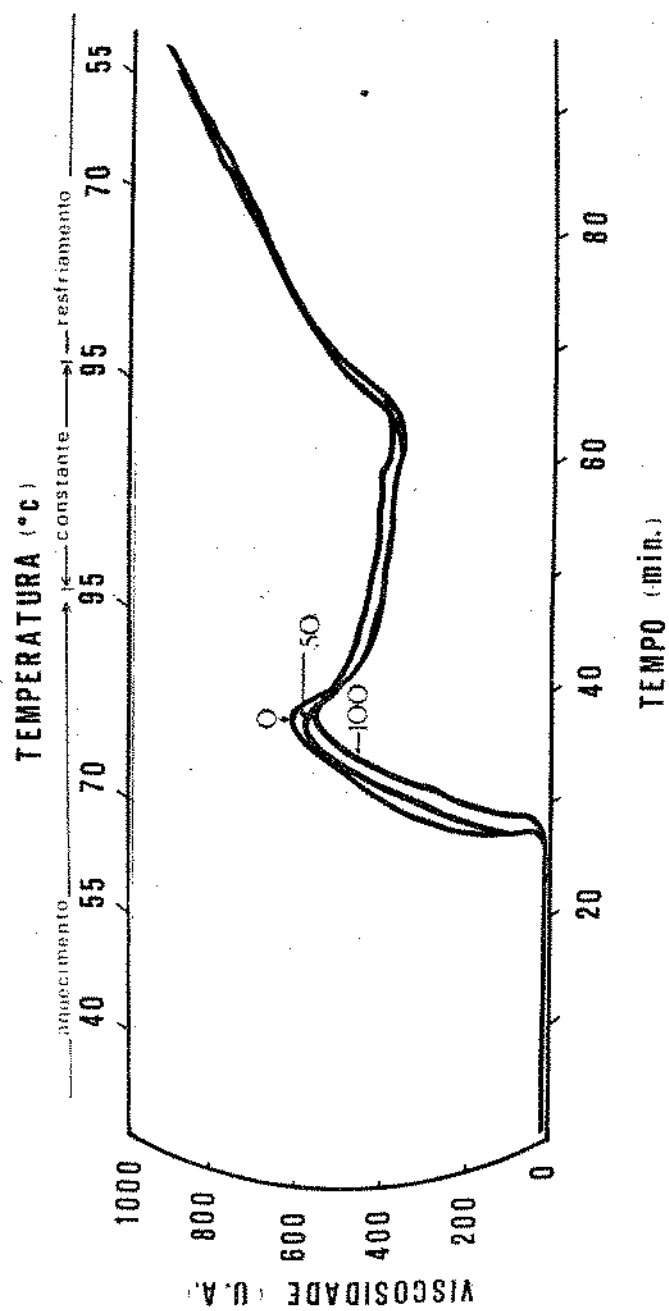


FIGURA 35. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nos amilogramas do arroz integral com umidade inicial de 17,3%

TABELA XXXVIII

Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no teste de cozimento do arroz integral

Cond. de tratamento		Características	
Unidade inicial (%)	Tempo (seg.)	Tempo de cozimento (min.)	Absorção de água (%)
13,4	0	41,0	202,3
	40	42,0	214,4
	70	41,5	240,7
14,6	40	42,0	223,5
	80	40,0	245,7
17,3	50	40,5	263,4
	100	39,0	321,4

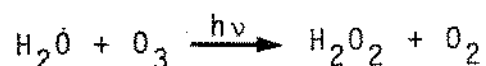
dade inicial, submetida ao tempo de exposição de 100 segundos apresentou a máxima absorção (321,4%).

c. Efeito do tratamento de microondas nas características de cor do arroz integral

i. Efeito na cromaticidade

O efeito do tratamento de microondas na cromaticidade de arroz integral é apresentado na Tabela XXXIX.

Os resultados mostraram que nas amostras submetidas a microondas houve uma ligeira mudança na coloração. Acredita-se que a descarga elétrica ocorrida no aparelho de microondas leve a produção de ozônio (O_3), que difunde na amostra úmida, possibilitando a formação de peróxido de hidrogênio, que tem efeito branqueador (76). Esta reação pode ser representada pela seguinte equação (12):



ii. Efeito nas diferenças de cromaticidade, diferença de luminosidade e diferença total de cor

Os resultados das características da cor estão apresentados na Tabela XXXIX.

Observa-se que a medida que se aumentou o tempo de exposição das amostras a microondas, aumentou-se, ligeiramente, os valores de "DAC", "DAL" e "DE".

TABELA XXXIX

Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas nas características de cor do arroz integral

Amostras	Cond. de Tratament.		Leit. Expectrofotomēt.				
	Umidade inicial	Tempo (seg.)	Kx	Ky	DAC	DAL	DE
Arroz polido	13,4	0	0,3547	0,3712	6,1	8,1	10,1
Arroz integral		0	0,3809	0,3853	-	-	-
	13,4	40	0,3788	0,3843	0,6	0,4	0,7
		70	0,3778	0,3843	0,5	1,9	1,9
	14,3	40	0,3796	0,3846	0,4	0,1	0,4
		80	0,3758	0,3836	0,8	2,7	2,8
	17,7	50	0,3781	0,3847	0,5	2,1	2,2
		100	0,3769	0,3847	0,9	3,8	3,9

3. Efeito do tratamento de microondas no valor nutricional do arroz integral

a. Vitaminas

Os resultados do conteúdo de vitaminas do complexo B, principalmente tiamina (B_1), riboflavina (B_2) e niacina no arroz integral tratados são apresentados na Tabela XL.

Observou-se que a medida que se aumentou o tempo de tratamento, ocorreu uma maior queda nos teores de tiamina e riboflavina, enquanto que a niacina apresentou um ligeiro aumento. É possível que o tratamento por microondas tenha efeito na extratabilidade da niacina ou mesmo provoque alterações em outros componentes que influenciam na determinação desta.

O efeito maior na perda de tiamina e riboflavina foi verificado em amostras submetidas a tempos de tratamento de 70, 80 e 100 segundos e umidades iniciais de 13,4%, 14,6% e 17,3%, respectivamente.

b. Aminoácidos

A composição de aminoácidos das amostras tratadas por energia de microondas com potência máxima é mostrada na Tabela XLI.

O tratamento com microondas não teve um efeito considerável nos conteúdos da maioria dos aminoácidos no arroz integral exceto metionina, cisteína e tirosina. A amostra com 14,6% de umidade inicial e tempo de exposição de 80 segundos teve um

TABELA XL
Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no conteúdo de vitaminas (mg/100g) do arroz integral com diferen-
tes teores de umidade inicial

Vitaminas	Umidade (%)	Conteúdo de Vitaminas (mg/100g)										Diferenças (%)				
		13,4		14,6		17,3		13,4		14,6						
	Tempo (seg.)	0	40	70	80	40	50	100	40	70	80	40	50	100	50	100
Tiamina (B ₁)		0,366	0,370	0,366	0,371	0,349	0,321	0,316	+1,09	0	+1,37	-4,65	-12,30	-13,66		
Riboflavina (B ₂)		0,057	0,057	0,047	0,057	0,040	0,039	0,035	0	+17,54	0	-29,89	-31,58	-38,60		
Niacina		7,733	8,350	8,067	8,150	8,050	8,000	7,883	+7,98	+4,32	+5,39	+4,10	+3,45	+1,94		

TABELA XLI

Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no conteúdo de aminoácidos de arroz integral com diferentes teores de umidade inicial

Aminoácidos (aa)	Conteúdo de aa (g/16 g N)					Diferença (%)			
	Umidade (%)	13,4	70	80	100	13,4	70	80	100
	Tempo (seg.)	0	70	80	100				
<u>Indispensáveis</u>									
Lisina		3,41	3,66	3,87	3,52	+7,33	+13,49	+3,23	
Treonina		4,00	3,84	4,01	4,01	-4,00	+0,25	+0,25	
Valina		5,80	5,95	5,68	5,47	+1,71	-2,07	-5,69	
Metionina		2,09	2,13	1,76	1,75	+1,91	-15,79	-16,79	
Isoleucina		4,12	4,21	4,12	4,25	+2,19	0,00	+3,16	
Leucina		8,75	8,92	9,47	9,02	+1,94	+8,23	+3,09	
Fenilalanina		5,56	5,53	5,62	5,60	-0,54	+1,08	+0,72	
Triptofano		1,81	1,78	1,87	1,85	-1,66	+3,31	+2,21	
<u>Dispensáveis</u>									
Histidina		2,00	2,16	2,10	2,02	+8,00	+5,00	+1,00	
Arginina		8,01	8,23	7,16	7,52	+2,75	-10,61	-6,12	
Ác. aspártico		9,51	9,02	9,28	9,90	-5,15	-2,42	+4,10	
Serina		5,58	5,72	5,65	5,55	+2,51	+1,26	-0,54	
Ác. glutâmico		19,26	18,64	20,52	20,02	-3,22	+6,54	+3,95	
Prolina		4,54	4,51	4,80	4,62	-0,66	+5,73	+1,77	
Glicina		4,66	4,64	4,80	4,69	-0,42	+3,00	+0,64	
Alanina		5,98	6,41	6,72	6,52	+7,19	+12,38	+9,03	
Cistina (1/2)		1,51	1,57	1,02	1,34	+3,97	-32,45	-11,26	
Tirosina		3,42	3,05	1,65	2,37	-10,82	-51,75	-30,70	
Amonia		1,80	1,81	1,79	1,84	+0,56	-0,56	+2,22	

decrêscimo mais sensível nas metioninas (15,8%), cisteína (32,5%) e tirosina (51,8%). Na outra amostra com 17,3% de umidade inicial por 100 segundos, a metionina, cisteína e tirosina sofreram perdas de 16,3; 11,8 e 30,7%, respectivamente.

4. Efeito do tratamento de microondas na estabilidade de arroz integral durante o armazenamento

Para este experimento foram selecionadas as amostras tratadas por 70, 80 e 100 segundos de exposição à microondas, nas umidades de 13,4%; 14,6% e 17,3%, respectivamente, pois o efeito da inativação da lipase nestas condições foi mais efetivo.

a. Desenvolvimento de ácidos graxos livres

O tratamento de microondas com potência máxima teve um efeito marcante na diminuição do desenvolvimento de ácidos graxos livres, durante o armazenamento, como pode ser avaliado na Tabela XLII e na Figura 36.

Este resultado está diretamente relacionado com a inativação da enzima lipase. Entretanto, a inativação não foi total, havendo sempre alguma produção de ácidos graxos livres, durante o armazenamento. O aumento do tempo de exposição aumentou a inativação e conseqüentemente diminuiu a produção de ácidos graxos livres.

b. Desenvolvimento de peróxidos

A quantidade de peróxidos acumulada no arroz integral

TABELA XLII

Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no desenvolvimento de ácidos graxos livres (mg KOH/100 g) de arroz integral com diferentes teores de umidade inicial, durante o armazenamento.

Tempo de armazenam. (semanas)	Umidade (%)	Valores de ác. graxos livres (mgKOH/100 g)				
		Tempo (seg.)				
		0	70	80	100	
0		18,4	19,2	18,7	18,3	
1		26,1	32,0	26,1	24,5	
4		33,2	29,5	28,3	27,3	
7		37,4	31,6	31,6	29,1	
10		44,7	41,5	40,7	38,3	
13		53,5	45,4	45,5	41,4	
16		48,1	40,5	40,0	39,5	
19		47,0	40,2	39,0	37,7	
22		42,5	38,4	37,5	35,0	

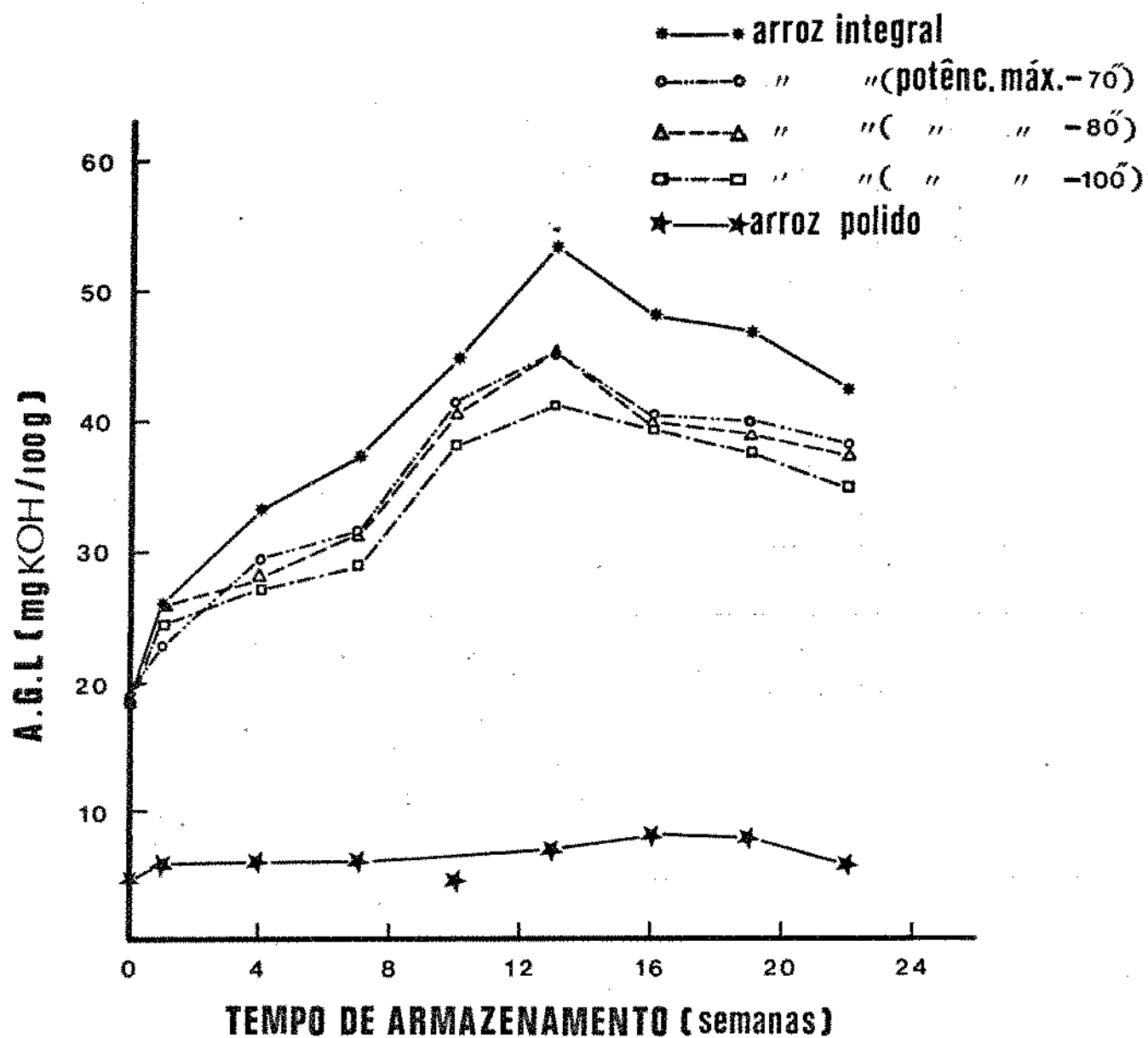


FIGURA 36. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) no arroz integral durante o armazenamento

exposto a microondas, está mostrado na Tabela XLIII e na Figura 37.

No início do armazenamento as amostras tratadas apresentaram um aumento no desenvolvimento de peróxidos em relação ao arroz integral não tratado. Esses resultados podem ser explicados pela formação de compostos reativos e radicais livres, originados durante o processo (76). Após a quarta semana de armazenamento, o arroz integral não tratado mostrou um aumento brusco no desenvolvimento de peróxido, atingindo o seu valor máximo na décima semana. As amostras de arroz integral tratadas por 70 e 80 segundos e com as umidades iniciais de 13,4% e 14,6%, respectivamente, requerem maior tempo para atingir o valor máximo de peróxido. Entretanto, estes valores máximos foram bem inferiores àqueles encontrados no arroz integral não tratado. O arroz integral com 17,3% de umidade e tratado por 100 segundos apresentou um valor máximo de peróxido semelhante ao do arroz integral não tratado. Este valor máximo entretanto, só foi alcançado com um tempo maior de armazenamento do que aquele da amostra não tratada. A partir da décima terceira semana de armazenamento observou-se uma queda nos índices de peróxidos, que se justifica pela decomposição dos peróxidos (50).

TABELA XLIII

Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no desenvolvimento de peróxidos (m.Eq./1000g peso seco) do arroz integral com diferentes teores de umidade inicial, durante o armazenamento

Tempo de armazenamento (semanas)	Umidade (%)	Valores de índice de peróxidos (m Eq./1000 g peso seco)			
		13,4	14,6	17,3	
	Tempo (seg.)	0	70	80	100
0		0,00	0,00	0,00	0,00
1		0,00	0,04	0,04	0,00
4		0,02	0,28	0,28	0,22
7		0,12	0,15	0,21	0,26
10		0,64	0,28	0,26	0,14
13		0,16	0,42	0,34	0,66
16		0,02	0,23	0,32	0,46
19		0,00	0,14	0,22	0,36
22		0,00	0,13	0,15	0,27

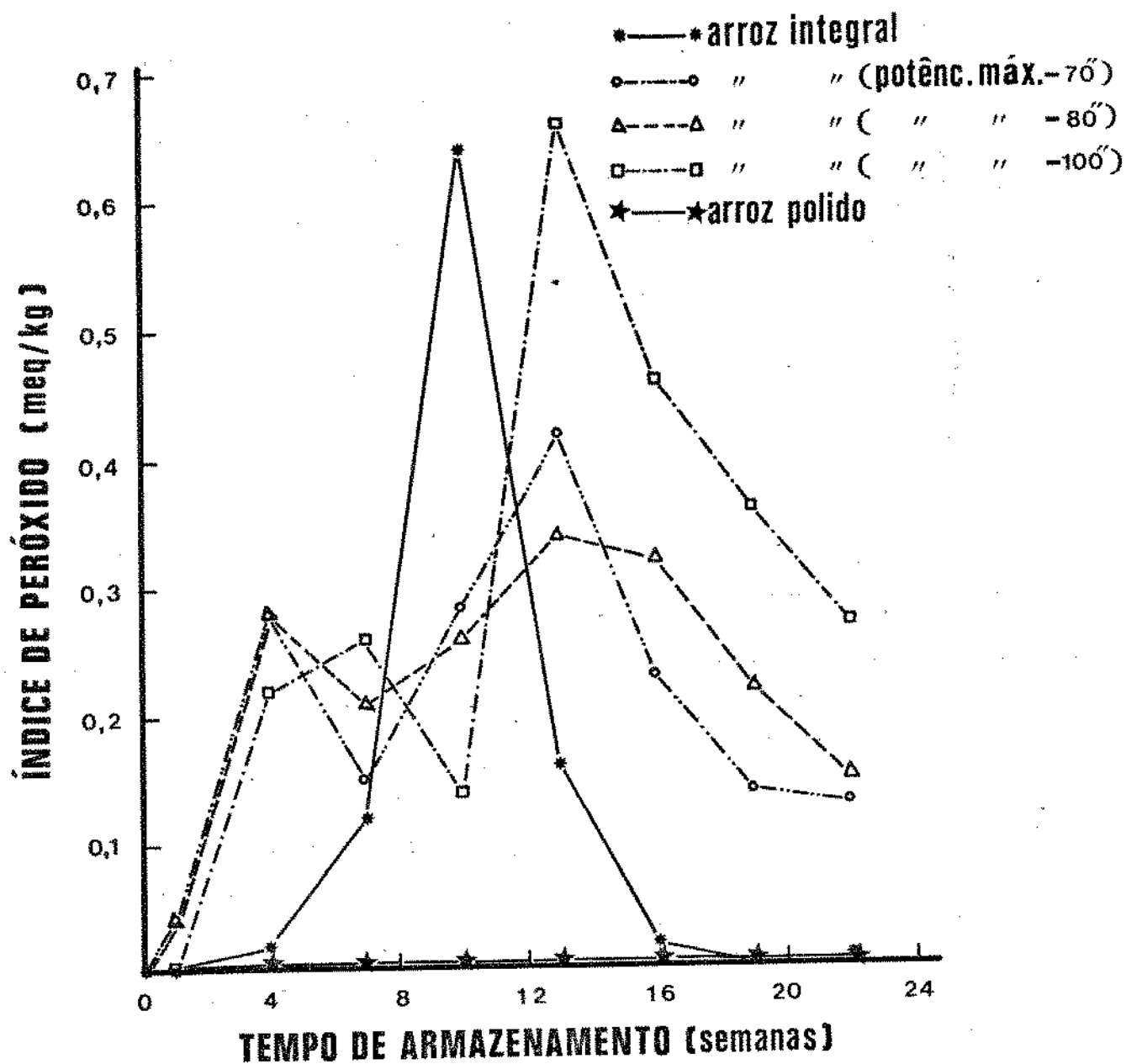


FIGURA 37. Efeito do tempo de exposição a potência máxima de microondas no desenvolvimento de peróxidos no arroz integral, durante o armazenamento

V. CONCLUSÕES

Do trabalho efetuado, as seguintes conclusões podem ser tiradas.

O arroz integral apresenta vantagens nutricionais e econômicas sobre o arroz polido. A vantagem nutricional está baseada no fato de que este contém teores superiores em proteína e vitaminas, principalmente em tiamina, riboflavina e niacina, enquanto na economia se deve ao maior rendimento, menor grau de quebra, menos equipamentos e redução no consumo de energia.

Na tentativa de melhorar a cor do arroz integral, o tratamento com peróxido de benzoíla, provou ser eficiente a medda que aumentou a concentração, porém, melhor condição de trabalho foi o arroz integral tratado com 20.000 ppm e armazenado na umidade relativa a 75,5%. Nas características de viscosidade deste produto houve uma pequena mudança, além de tornar o produto mais escuro após cozimento.

O uso de peróxido de nitrogênio não funcionou como um branqueador enquanto o peróxido de hidrogênio mostrou-se um efetivo agente branqueador, ao se conjugar com concentração, temperatura e tempo. As características de viscosidade do arroz integral tratado foi afetado drasticamente na viscosidade máxima e na retrogradação que indica uma possível alteração dos granulos de amido nas temperaturas elevadas.

As melhores condições de tratamentos consideradas foram 7,5% e 5,0% de peróxido de hidrogênio a 76°C e 100°C respectivamente, por 4 minutos.

O arroz integral tratado nestas condições, embora terem adquirido uma melhora na cor, o estudo de análise sensorial mostrou uma aceitação inferior em relação ao arroz polido.

Na tentativa de inibir a atividade da enzima lipase, o tratamento por microondas, que resultou o melhor efeito, foi do arroz integral com 14,6% de umidade inicial exposto a potência máxima, por 80 segundos. Nestas condições não houve alteração nas características de viscosidade e na integridade do grão durante cozimento. O desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) no armazenamento mostrou-se inferior ao arroz integral. O efeito semelhante foi observado no índice de peróxidos. A produção máxima de peróxido foi 47% inferior e é alcançado após 13 semanas enquanto que o não tratado atingiu o máximo de 10 semanas.

O valor nutricional foi afetado ligeiramente pela energia de microondas com pequena redução no teor de vitaminas principalmente tiamina e riboflavina e aminoácidos indispensáveis como metionina e dispensáveis como tirosina e cistina, obtendo-se um efeito mais acentuado com tirosina.

Após estas considerações permite-se dizer que o uso de microondas é viável para prolongar a estabilidade do arroz integral no armazenamento.

VI. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

1. Devido ao fato da camada externa do arroz integral possuir pigmentos indesejáveis, faz-se necessário uma maior investigação sobre a natureza destes pigmentos, o que poderia contribuir para o melhoramento da aparência do produto.
2. No presente trabalho não foi analisada a toxicidade residual do arroz integral tratado com peróxido de hidrogênio, portanto, seria de grande utilidade este tipo de pesquisa para melhor caracterização do produto.

VII. BIBLIOGRAFIA

01. A.A.C.C. Aproved methods of the American Association of Cereal Chemists. 7.ed. St. Paul Minnesota, A.A.C.C , 1969. 2v.
02. ADAIR, C.R. Production and utilization of rice. In: HOUSTON, D.F. ed. Rice chemistry and technology. St. Paul Minnesota, A.A.C.C., 1972. Cap. 1, p. 1-15.
03. AIZONO, Y.; FUNATSU, M.; FUJIKI, Y.; WATANABE, M. Biochemical studies of rice bran lipase. Part IV. Purification and characterization of rice bran lipase II. Agr. Biol. Chem. 40: 317-324, 1976.
04. _____.; _____.; HAYASHI, K.; INAMASU, M.; YAMAGUCHI, M. Biochemical studies on rice bran lipase. Part II. Chemical properties. Agric. Biol. Chem. 35: 1973-1979, 1971.
05. _____.; _____.; SUGANO, M.; HAYASHI, K.; FUJIKI, I. Biochemical studies of rice bran lipase. Part III. Enzymatic properties of rice bran lipase. Agric. Biol. Chem. 37: 2031-2036, 1973.
06. AKAZAWA, T. - Enzymes of rice. In: HOUSTON, D.F. Rice chemistry and technology. St. Paul Minnesota, A.A.C.C.

1972. cap. 3, p. 75-101.

07. ALEXANDER, G.L. The results of bleaching Michigan Soft Winter Wheat cake flours by the Brabender Electric Bleaching apparatus. Cereal Chem. 10: 623-626, 1933.
08. ALEXANDER, J. Chemical-oxidising and reducing agents in milling and baking. Milling 153(5): 48-56, 1971.
09. _____. Chemical oxidising and reducing agents in milling and baking. Milling 453(6): 32-37, 1971.
10. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ARROZ. Instituto Rio Grandense do Arroz, 1980. p. 118.
11. A.O.A.C. Approved methods of the Association of official Agricultural Chemists. 12.ed. Washington D.C., A.O.A.C., 1975.
12. ARDON, M. Hydrogen peroxide. In: _____. Oxygen: elementary forms and hydrogen peroxide, New York, W.A. Benjamin, 1965. cap. 4, p. 68-97. (The physical inorganic chemistry series).
13. AREF, M.M.; BRACH, E.J.; TAPE, N.W. A pilot-plant continuous-process microwave oven. Can. Inst. Food Technol. 2: 37-41, 1969.
14. AUTREY, H.S.; GRIGORIEFF, W.W.; AITSCHUL, A.M.; HOGAN, J.T. Effect of milling conditions on breakage of rice grains. J. Agr. Food Chem. 3: 593-599, 1975.

15. BAKER, D. - A colorimetric method for determining fat acidity in grains. Cereal Chem. 38: 47-50, 1961.
16. BAKER, J.; NEUSTADT, M.H.; ZELENY, L. - Application of the fat acidity test as an index of grain deterioration. Cereal Chem. 34: 226-233, 1976.
17. BARBER, S. Milled rice and changes during aging. In: HOUSTON, D.F. ed. Rice chemistry and technology. St. Paul Minnesota, A.A.C.C., 1972. cap. 9, p. 215-263.
18. BATCHER, O.M.; LITTLE, R.R.; DAWSON, E.H.; HOGAN, J.T. Cooking quality of white rice milled from rough rice dried at different temperatures. Cereal Chem. 35: 428-434, 1958.
19. BHATTACHARYA, K.R. & SOWBRAGYA, C.M. A colorimetric bran pigment method for determining the degree of milling of rice. J. Sci. Food Agr. 23: 161- , 1972.
20. BRASIL. Ministério do Interior. Contribuição ao desenvolvimento da Agroindústria: arroz. Campinas, GEIDA-FCTPTA, s.d. v.8.
21. CHAMBERLAIN, N. Microwave energy in the baking of bread. Food Trade Review 43: 8-12, 1973.
22. CHIKUBU, S. Storage of rice in Japan. s.l.p., National Food Research Institute., s.d. 1p.
23. CONCON, J.M. Rapid and simple method for the determination

- of tryptophan in cereal grains. Anal. Biochem. 67: 206-219, 1975.
24. COPSON, D.A. - Microwave heating-in freeze-drying, electronic ovens, and other applications. Westport, AVI, 1962, 433p.
25. DEMAN, J.M. Enzymes. In: _____. Principles of food chemistry. Westport, AVI, 1976. cap. 10, p. 348-384.
26. DOESTHALE, Y.G.; DEVARA, S.; RAO, S.; BELAVADY, E. Effect of milling on mineral and trace element composition of raw and parboiled rice. J. Sci. Food Agric. 30: 40-46, 1979.
27. DOTY, N.C. & BAKER, C.W. Microwave conditioning of Durum Wheat. 1. Effect of power range on semolina and spaghetti quality. J. Agric. Food Chem. 25: 815-819, 1977.
28. DUGAN Jr., L. Lipids. In: FENNEMA, D.R. Principles of Food Science: food chemistry. New York, Marcel Dekker, 1976. cap. 4, p. 139-203. (Food Science. A series of monographs).
29. EDWARDS, G.H. Effects of microwave radiation on wheat and flour: the viscosity of the flour pastes. J. Sci. Food Agric., 15: 108-114, 1964.
30. EL-DASH, A.A.; SHAHEEN, A.; EL-SHIRBEENY, A. The effect of parboiling on the consumer acceptance of rice. Cer. Foods world 20: 101-112, 1975.

31. FERRARI, C.H.; BAILEY, C.H. - Carotenoid pigments of flour.
Cereal Chem. 6: 218-240, 1929.
32. FREIVALDS, J. Finding the best use for rice by-products.
Rice J. 78: 19-25, 1975.
33. GRIST, D.H. The origin and history of rice. In: _____.
Rice. 4ed. London, Longmans, 1965. cap. 1, p. 3-9.
34. HALL, C.W. Equilibrium moisture content. In: _____.
Drying farm Crops. Michigan, Agricultural Consulting
Associates, 1957. cap. 2, p. 17-47.
35. HANSON, W.H. Effects of the amount and kind of
bleach used on flour in relation to its aging. Cereal
Chem. 9: 358-377, 1932.
36. HARPER, J.M. Food extrusion. Critc. Rev. Food Sci. Nutr.
11: 155-210, 1979.
37. HOGAN, J.T. & DEOBALD, H.J. - Note on a method of determining
the degree of milling of whole milled rice. Cereal Chem.
38: 291-293, 1961.
38. HOUSTON, D.F. Hygroscopic equilibrium of brown rice.
Cereal Chem. 29: 71-76, 1952.
39. _____. Rice bran and polish. In: _____. Rice chemistry
and technology. St. Paul Minnesota, A.A.C.C., 1972.
cap. 11, p. 272-300.
40. _____. & KOHLER, G.O. Nutritional properties of rice.

Washington, National Academy of Science, 1970.

41. HUNTER, I.R.; HOUSTON, D.F.; KESTER, E.B. Development of free fatty acids during storage of brown (husked) rice. Cereal Chem. 28: 232-239, 1951.
42. HUXSOLL, C.C. & MORGAN Jr., A.I. Microwave for quick-cooking rice. Cereal Sci. Today, 13: 203-206, 1968.
43. INGOLD, K.U. - Metal catalysis. In: SCHULTS, H.W.; DAY, E. A.; SINNHUBER, R.O. eds. Symposium on foods: lipids and their oxidation. Westport, AVI, 1962. cap. 5, p. 93-121.
44. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Food irradiation Technology and techniques. Virnna, 1970. p. 29-37. (Tech. report, 114).
45. International Rice Research Institute. Physicochemical properties of starch and protein in relation to grain quality and nutritional value of rice. In: JULIANO, B. O. Rice breeding. LOS BANOS, International Rice Research Institute, 1972. p. 389-406.
46. JULIANO, B.O. The rice caryopsis and its composition. In: HOUSTON, D.F. ed. Rice chemistry and technology. St. Paul Minnesota, A.A.C.C., 1972. cap. 2, p. 16-74.
47. KIBUUKA, G.K.S. Aumento do rendimento e valor nutricional do arroz: efeito dos tratamentos com solventes, irradiação gama e hidrotérmico na qualidade do arroz integral.

- Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola,
1978. 131 p. Tese (mestrado) Universidade Est. de Campinas.
48. KIK, M.C. Deterioration of rice in storage. Rice J. 49:
4-7, 24-38, 1946.
 49. LEA, C.H. - Rancidity: occurrence and types. In: _____.
Rancidity in edible facts. London, Department of
Scientific and Industrial Research, 1938. p. 35-38 (
Special report, nº 46).
 50. _____. The deterioration of fats by atmospheric oxidation.
In: _____. Rancidity in edible fats. London Department
of Scientific and Industrial Research, 1938. part 5, p.
79-201. (Special report, nº 46).
 51. _____. The oxidative deterioration of food lipids. In:
SCHULTZ, H.W.; DAY, E.A.; SINNHUBER, R.O. eds. Symposium
on foods: lipids and their oxidation. Westport, AVI,
1962. cap. 1, p. 3-28.
 52. LECLERC, J.A. The comparative compsoition of brown and
polished rice-the losses in material due to polishing.
Cereal Chem. 9: 600-602, 1932.
 53. LOEB, J.R. & MAYME, R.Y. Effect of moisture on the microflora
and formation of free fatty acids in rice bran. Cereal
Chem. 29: 163-175, 1952.
 54. LORENZ, K.; CHARMAN, E.; DILSAVER, W. Baking with microwave
energy. Food Technol. 27: 28-36, 1973.

55. LABUZA, T.P. Kinetics of lipid oxidation in foods. Crit. Rev. Food Technol 3: 355-405, 1971.
56. LUGAY, J.C. & JULIANO, B.O. Fatty acid composition of rice lipids by gas-liquid chromatography. J. Am. Oil Chem. Soc. 41: 273, 1964. *
57. LUNDBERG, W.O. Mechanisms. In: SCHULTS, H.W.; DAY, E.A.; SINNHUBER, R.O. eds. Symposium on foods: lipids and their oxidation. Westport, AVI, 1962. cap. 2, p. 31-50.
58. MATSUDA, H. & HIRAYAMA, O. Enzymatic properties of a galactolipase from rice bran. Agric. Biol. Chem. 43: 697-703, 1979.
59. MATTEWS, J.; HOGAN, J.T.; DEOBALD, H.J. Southern laboratory is studying rice milling. Rice J. 74: 28-34, jun./jul. 1971.
60. MATTHEWS, J. & SPADARO, J.J. Rice breakage during combine harvesting. Rice J. 78: 59-63, 1975.
61. MEHLENBACKER, V.C. The analysis of fats and oils. Champaign, Garrard Press, 1960. 616p.
62. MINETT, P.J. & WITT, J.A. Radio frequency and microwaves. Food Proc. Ind. 3: 36-41, 1976.
63. MOORE, S.; SPACKMAN, D.H.; STEIN, W.H. Separation of amino acids on sulfonated polystyrene resins (an improved system)

An. Chem. 30: 1185-1190, 1958.

64. MORRISON, W.R. Cereal lipids. Adv. Cereal Sci. Technol. 2: 221-348, 1978.
65. NONAKA, Y. & ARIYAMA, H. Studies on the availability of polished rice protein. I. Lysine threonine levels in rat excrements. J. Agr. Res. 12: 201, 1961.
66. NORMAND, F.L.; HOGAN, J.T.; DEOBALD, H.J. Protein content of successive peripheral layers milled from wheat, barley, grain sorghum, and glutinous rice by tangential abrasion. Cereal. Chem. 42: 359-367, 1965.
67. OKABE, T.; HUANG, M.T.; OKAMURA, S. A new method for the measurement of grain moisture content by the use of microwaves. J. Agric. Eng. Res. 18: 59-66, 1973.
68. OLCOTT, H.S. The role of free fatty acids on antioxidant effectiveness in unsaturated oils. J. Am. Oil Chemist's Soc. 35: 597-599, 1958.
69. OLCOTT, H.S. Antioxidants. In: STANSBY, M.E. Fish oils. Westport, AVI, 1967. p.164-170.
70. OZAI-DURRANI Defatting and debranning of the brown rice. In: Food Processing Reviews n^o 16(19) Rice Bulgur Quick Cooking Process. NDC 1970.
71. PYLER, E.J. Wheat flour. In: _____. Baking science & technology. 2ed. Chicago, Siebel Publishing, c 1973.

v. 1, cap. 7, p.286-366.

72. RENNEKAMP, R. Microwave oven features. Microwaves Energy Applications Newslettler. 11: 7-13, 1978.
73. ROBERTS, R.L. Effect of microwave treatment of pre-soaked paddy, brown and white rice. J. Food Sci. 42: 804-806, 1977.
74. _____. Compositition and taste evaluation of rice milled to different degrees. J. Food Sci. 44: 127-129, 1979.
75. ROSEMAN, A.S.; HOGAN, J.T.; STONE, R.B.; WEBB, J.C. Gas plasma irradiation of rice. III. Its influence on brown rice and bran. Cereal Chem. 40: 568-575, 1963.
76. ROSEN, C.G. Effects of microwaves on food and related materials. Food Technol. 26: 36-40, 55, July, 1972.
77. SALE, A.J.H. Microwave applications in the food industry. Food Technol. 20: 34-36, 1966.
78. SCHIFFMANN, R.F. Microwaves challenge - Today's heat processing. Food Eng. 11: 72-76, 1975.
79. SHASTRY, B.S. & RAGHAVENDA RAO, M.R. Chemical studies on rice bran lipase. Cereal Chem. 53: 190-200, 1976.
80. SIMS, G.G.; COSHAM, C.E.; ANDERSON, W.E. Hydrogen peroxide bleaching of marinated herring. J. Fd. Technol. 10: 497-505, 1975.
81. SOWRHAGYA, C.M. & BHATTACHARYA, K.R. Lipid autoxidation in

- rice. J. Food Sci. 41: 1018-1023, 1976.
82. STERMER, R.A. An instrument for objective measurement of degree of milling and color of milled rice. Cereal Chem. 45: 358-364, 1963.
83. STROHECKER, R. & HENNING, H.M. Analisis de vitaminas: métodos comprobados. Madrid, Editorial Paz Montalvo, 1967, 428p.
84. TAPE, N.W. Application of microwave energy in food manufacture. Can Inst. Food Technol. 3: 39-43, 1970.
85. TRIEBOLD, H.O. Rancidity. Cereal Chem. 8: 518-532, 1931.
86. U.S. DEPT. OF AGRICULTURE. Rice Situation. RS-13, Economic Research Service, March, 1969.
87. VAN DE KAMER, J.H. & VAN GINKEL, L. Rapid determination of crude fiber in cereals. Cereal Chem. 29: 239, 1952.
88. VOL'NOV, I.I. The present state and future investigations in the field of inorganic peroxide compounds. In: Peroxides, superoxides, and ozonides of alkali and alkaline earth metals. New York, Plenum Press, 1966. p. 1-7.
89. WEBB, B.D. & STERMER, R.A. Criteria of rice quality. In: HOUSTON, D.F. ed. Rice chemistry and technology. St. Paul Minnesota, A.A.C.C., 1972. cap. 4, p. 102-139.
90. WITTE JR., G.C. Conventional rice milling in the United

States. In: HOUSTON, D.F. ed. Rice chemistry and technology. St. Paul Minnesota, A.A.C.C., 1972. cap. 7, p.188-200.

91. YASUMATSU, K. & MORITAKA, S. Fatty acid compositions of rice lipid and their changes during storage. Agr. Biol. Chem. 28: 254, 1964.
92. ZEISS. Automatisches farbmessgerät RFC-3. Operating instructions, West Germany.

VIII. APENDICE A

NOME _____ DATA _____

Instruções: Você irá receber 3 amostras para provar e deverá dar sua opinião, usando as escalas para descrever: cor, odor, sabor e preferência.

COR					
Bem		Muitíssimo		Muitíssimo	Gostei
Característica		Agradável		Bom	Muitíssimo
Não		Muitíssimo		Muitíssimo	Desgostei
Característica		Desagradável		Ruim	Muitíssimo

Comentários: _____