



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTO - FEA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS - DEA

**EFEITOS DO TRATAMENTO POR MICROONDAS DO ARROZ RECÉM  
COLHIDO NO RENDIMENTO DE GRÃOS INTEIROS, NA QUALIDADE  
DE COZIMENTO E NA ESTABILIZAÇÃO DO FARELO**

**Carlos Roberto Rocha**

Engenheiro Mecânico / Mestre em Engenharia de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior

**PARECER**

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **Carlos Roberto Rocha**, aprovada pela Comissão Julgadora em 18 de julho de 2002.

Campinas, 18 de julho de 2002

Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior  
Presidente da Banca

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos

Campinas, Junho de 2002

UNIDADE 30  
Nº CHAMADA T/UNICAMP  
R582e  
V \_\_\_\_\_ EX \_\_\_\_\_  
TOMBO BCI 50847  
PROC. 16.837/02  
C \_\_\_\_\_ DX \_\_\_\_\_  
PREÇO R\$ 11,00  
DATA 12/09/02  
Nº CPD \_\_\_\_\_

CM00172900-2

BIB ID 256586

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

Rocha, Carlos Roberto

R582e Efeitos do tratamento por microondas do arroz recém colhido no rendimento de grãos inteiros, na qualidade de cozimento e na estabilização do farelo de arroz / Carlos Roberto Rocha. - Campinas, SP [s.n.], 2002

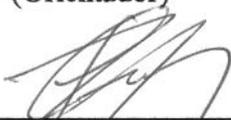
Orientador Antonio Marsaioli Junior  
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Microondas. 2. Tratamento. 3. Estabilização.  
4. Arroz recém colhido. 4. Envelhecimento. 5. Qualidade de cozimento. 6. Farelo de arroz. I. Marsaioli Junior, Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

## BANCA EXAMINADORA



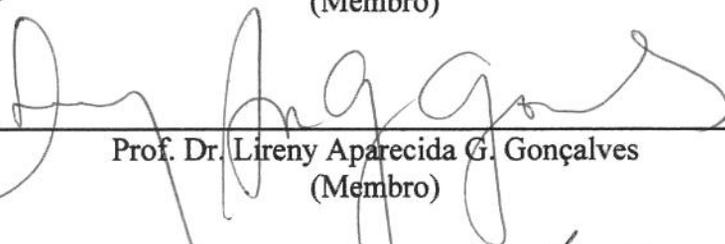
Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior  
(Orientador)



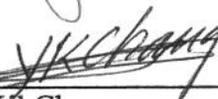
Prof. Dr. Cândido Ricardo Bastos  
(Membro)



Prof. Dr. Evandro Conforti  
(Membro)



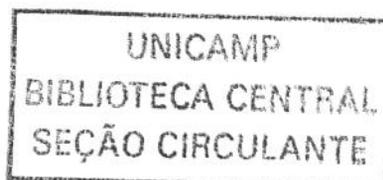
Prof. Dr. Lireny Aparecida G. Gonçalves  
(Membro)



Prof. Dr. Yoon Kil Chang  
(Membro)

Prof. Dr. Carlos A. R. Anjos  
(Membro - Suplente)

Prof. Dr. César Francisco Ciacco  
(Membro - Suplente)



Campinas, junho de 2002

2002.43300



# Agradecimentos

*Ao Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior pela orientação, incentivo, paciência e dedicação dispensadas durante todas as etapas de realização do doutorado.*

*Aos Dr. Cândido R. Bastos; Prof. Dr. Carlos A. R. Anjos; Prof. Dr. César F. Ciacco; Prof. Dr. Evandro Conforti; Prof. Dr. Lireny A. G. Gonçalves e Prof. Dr. Yoon Kil Chang pelas correções e sugestões dadas na fase de revisão deste trabalho.*

*À Prof. Dr. Anita J. Marsaioli e à Marcela E. Zacharias pela contribuição primordial na realização das análises químicas.*

*Ao CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado.*

*Ao IAC - Instituto Agronômico de Campinas, pelo fornecimento do arroz usado no trabalho experimental.*

*Aos Professores e Funcionários do Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp.*

*Aos funcionários da biblioteca da FEA, Cláudia, Cleuza, Geraldo e Toninho ("in memorian").*

*Aos amigos do Laboratório de Microondas Aplicada e em especial ao Wander, Michele e Flávio.*



# SUMÁRIO

---

RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABELAS	xix
LISTA DE SÍMBOLOS	xxi

---

INTRODUÇÃO GERAL	1
------------------	---

---

## Capítulo 1

---

<b>1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
<b>1.1 - O arroz e seu processamento agroindustrial</b>	<b>3</b>
1.1.1 - Importância do cultivo do arroz	3
1.1.2 - Estrutura e constituição do grão de arroz	4
1.1.3 - Frações retiradas no beneficiamento	6
1.1.4 - Etapas do pré-processamento agroindustrial do arroz	7
1.1.4.1 - <i>O arroz no campo</i>	7
1.1.4.2 - <i>Colheita</i>	8
1.1.4.3 - <i>Secagem</i>	9
1.1.4.4 - <i>Beneficiamento</i>	9
1.1.5 - Importância econômica do grão de arroz inteiro e classificação comercial	11
<b>1.2 - Causas da redução do rendimento de arroz inteiro</b>	<b>12</b>
1.2.1 - Formação de fissuras no grão de arroz	12
1.2.1.1 - <i>Causas da formação de trincas e fissuras nos grãos de arroz</i>	13
1.2.1.2 - <i>Caracterização das trincas e fissuras no grão de arroz</i>	13
1.2.2 - Teorias propostas para a formação de fissuras nos grãos de arroz	14
1.2.2.1 - <i>Teoria clássica sobre a formação de fissuras nos grãos de arroz</i>	14
1.2.2.2 - <i>O grão de arroz como um polímero</i>	17
1.2.3 - Cinética da degradação mecânica do arroz em casca	18
1.2.3.1 - <i>Iniciação de fissuras</i>	18
1.2.3.2 - <i>Propriedades térmicas do grão individual</i>	19
1.2.3.3 - <i>Medidas dos coeficientes de expansão volumétrica térmica usando TMA</i>	20
1.2.3.4 - <i>Efeitos da <math>T_g</math> e do gradiente de umidade na quebra dos grãos</i>	23
1.2.3.5 - <i>Degradação mecânica do arroz em casca durante a secagem</i>	23
1.2.4 - Características individuais dos grãos de arroz	24
1.2.5 - Aplicação de microondas para aumentar o rendimento de arroz inteiro	26

<b>1.3 - Tecnologia de microondas</b>	<b>29</b>
1.3.1 - Ondas eletromagnéticas	30
1.3.2 - Espectro de frequências eletromagnéticas	30
1.3.3 - Como as ondas eletromagnéticas produzem calor	30
1.3.3.1 - <i>Momento dipolar</i>	31
1.3.3.2 - <i>Constante dielétrica</i>	31
1.3.3.3 - <i>Mecanismo de aquecimento por relaxação molecular</i>	32
1.3.4 - Propriedades dielétricas dos alimentos	32
1.3.5 - Características do aquecimento por microondas	33
1.3.6 - Propriedade térmicas dos alimentos	34
1.3.7 - Técnicas envolvidas nos sistemas provedores de microondas	34
1.3.7.1 - <i>Elementos constituintes de um sistema de microondas</i>	34
1.3.7.2 - <i>Eficiência de um forno de microondas</i>	36
1.3.8 - Medida dos parâmetros do produto durante o processamento	37
1.3.7.1 - <i>Temperatura</i>	37
1.3.7.2 - <i>Pressão</i>	38
<b>1.4 - Efeitos da armazenagem nas propriedades do arroz</b>	<b>38</b>
1.4.1 - Alterações nas propriedades físicas do arroz devido à armazenagem	39
1.4.2 - Alterações químicas do arroz devido à armazenagem	42
1.4.3 - Envelhecimento acelerado e os mecanismos propostos	44
1.4.4 - Conceitos de qualidade do arroz	47
<b>1.5 - Estabilização do farelo de arroz</b>	<b>48</b>
1.5.1 - Obtenção do farelo de arroz	48
1.5.2 - Composição e propriedades do farelo de arroz	49
1.5.2.1 - <i>Composição centesimal do farelo de arroz</i>	49
1.5.3.2 - <i>Diferenças na composição do farelo brunido em relação ao polido</i>	50
1.5.3 - Processo de degradação do farelo de arroz	51
1.5.3.1 - <i>Elevação do teor de ácidos graxos livres</i>	52
1.5.3.2 - <i>Alterações na composição dos lipídios do farelo</i>	53
1.5.3.3 - <i>Enzimas lípases presentes no farelo de arroz</i>	53
1.5.3.4 - <i>Reações catalisadas por lípases</i>	53
1.5.3.5 - <i>Atuação das lípases do farelo de arroz</i>	54
1.5.4 - Técnicas disponíveis para a estabilização do farelo de arroz	56
1.5.4.1 - <i>Técnica convencional de estabilização por calor seco</i>	57
1.5.4.2 - <i>Técnica convencional de estabilização do farelo por aquecimento úmido</i>	57
1.5.4.3 - <i>Estabilização do farelo por aquecimento úmido com retenção de umidade</i>	59
1.5.4.4 - <i>Estabilização do farelo de arroz pela aplicação de microondas</i>	60
1.5.5 - Utilização do farelo de arroz	63

1.5.5.1 - <i>Aplicação como alimento humano</i>	63
1.5.5.2 - <i>Aplicação farmacológica</i>	64
1.5.5.3 - <i>Óleo de farelo de arroz</i>	65

---

## Capítulo 2

---

<b>2 - ESTUDO DO EFEITO DO TRATAMENTO POR MICROONDAS NO RENDIMENTO DE INTEIROS DO ARROZ RECÉM COLHIDO</b>	<b>67</b>
<b>2.1 - Introdução</b>	<b>67</b>
<b>2.2 - Objetivos</b>	<b>67</b>
<b>2.3 - Material e Métodos</b>	<b>68</b>
2.3.1 - <i>Matéria-prima</i>	68
2.3.2 - <i>Equipamentos</i>	68
2.3.2.1 - <i>Aplicador de microondas com controle automático de temperatura</i>	68
2.3.2.2 - <i>Aplicador de microondas com controle de temperatura e pesagem automática</i>	70
2.3.2.3 - <i>Estufa climatizada</i>	71
2.3.2.4 - <i>Beneficiador padrão para arroz</i>	71
2.3.3 - <i>Instrumentos</i>	71
2.3.3.1 - <i>Espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIRSystem)</i>	71
2.3.3.2 - <i>Balanças semi-analítica eletrônica</i>	73
2.3.3.3 - <i>Balanças analítica eletrônica</i>	73
2.3.3.4 - <i>Estufa de secagem para determinação de umidade</i>	73
2.3.3.5 - <i>Instrumento para determinação rápida de umidade</i>	73
2.3.4 - <i>Métodos</i>	73
2.3.4.1 - <i>Teor de amilose</i>	73
2.3.4.2 - <i>Conteúdo de umidade (medida padrão)</i>	73
2.3.4.3 - <i>Medição rápida de umidade</i>	74
2.3.4.4 - <i>Rendimento de arroz inteiro</i>	74
2.3.5 - <i>Procedimento experimental</i>	74
2.3.5.1 - <i>Estudo preliminar das condições de tratamento do arroz por microondas</i>	75
2.3.5.2 - <i>Montagem do planejamento experimental</i>	76
2.3.5.3 - <i>Escolha do nível para as variáveis independentes</i>	78
2.3.5.4 - <i>Preparação das amostras de arroz em casca para os tratamentos</i>	80
2.3.5.5 - <i>Execução dos ensaios de tratamento por microondas</i>	80
2.3.5.6 - <i>Secagem das amostras tratadas por microondas</i>	81
2.3.5.7 - <i>Beneficiamento das amostras de arroz tratadas por microondas</i>	82
<b>2.4 - Resultados e discussão</b>	<b>82</b>
2.4.1 - <i>Cálculos dos efeitos e análise estatística dos resultados</i>	87
2.4.2 - <i>Análise dos resultados</i>	88
2.4.2.1 - <i>Análise dos resultados de rendimento de arroz inteiro</i>	88
2.4.2.2 - <i>Análise dos resultados mostrados nas superfícies de respostas</i>	88

2.4.2.3 - <i>Análise dos resultados utilizando o gráfico de Pareto</i>	90
2.4.3 - <i>Otimização das variáveis de processo</i>	90
2.4.4 - <i>Discussão dos resultados</i>	91
<b>2.5 - Conclusões</b>	<b>92</b>

---

<b>Capítulo 3</b>	
-------------------	--

---

<b>3 - ESTUDO DAS ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO ARROZ RECÉM COLHIDO COMO EFEITO DO TRATAMENTO POR MICROONDAS</b>	<b>95</b>
<b>3.1 - Introdução</b>	<b>95</b>
<b>3.2 - Objetivos</b>	<b>95</b>
<b>3.3 - Material e Métodos</b>	<b>96</b>
3.3.1 - <i>Matéria-prima</i>	96
3.3.2 - <i>Equipamentos</i>	96
3.3.2.1 - <i>Forno de microondas com sensor e controle automático de temperatura</i>	96
3.3.2.2 - <i>Estufa climatizada</i>	96
3.3.2.3 - <i>Beneficiador padrão para arroz</i>	96
3.3.2.4 - <i>Panela com aquecimento elétrico para teste de cozimento</i>	97
3.3.3 - <i>Instrumentos</i>	97
3.3.3.1 - <i>Espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIRSystem)</i>	97
3.3.3.2 - <i>Balanças eletrônicas analítica e semi-analítica</i>	97
3.3.3.3 - <i>Estufa para determinação de umidade</i>	98
3.3.3.4 - <i>Aparelhos para determinação rápida de umidade e teor de sólidos solúveis</i>	98
3.3.3.5 - <i>Viscoamilógrafo RVA</i>	98
3.3.3.6 - <i>Texturômetro TA-XT2</i>	99
3.3.3.7 - <i>Colorímetro</i>	101
3.3.4 - <i>Métodos</i>	101
3.3.4.1 - <i>Teor de amilose</i>	101
3.3.4.2 - <i>Conteúdo de umidade (medida padrão)</i>	101
3.3.4.3 - <i>Medição rápida de umidade</i>	101
3.3.4.4 - <i>Análise de viscosidade amilográfica (RVA)</i>	102
3.3.4.5 - <i>Análise de textura (dureza e adesividade) do arroz cozido</i>	102
3.3.4.6 - <i>Testes de cozimento</i>	102
3.3.5 - <i>Procedimento experimental</i>	103
3.3.5.1 - <i>Preparação das amostras para os tratamentos por microondas</i>	103
3.3.5.2 - <i>Execução dos tratamentos por microondas no arroz em casca</i>	103
3.3.5.3 - <i>Secagem das amostras tratadas por microondas</i>	104
3.3.5.4 - <i>Beneficiamento das amostras de arroz</i>	104
3.3.5.5 - <i>Determinação da cor e aspectos visuais dos grãos de arroz</i>	105
3.3.5.6 - <i>Execução dos ensaios viscoamilográficos das amostras de arroz</i>	105
3.3.5.7 - <i>Execução dos ensaios de textura e adesividade do arroz</i>	106

3.3.5.8 - <i>Determinação das características de cozimento das amostras de arroz</i>	107
<b>3.4 - Resultados e discussão</b>	<b>108</b>
3.4.1 - <i>Medidas no espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIRSystem)</i>	108
3.4.2 - <i>Efeito do tratamento por microondas na cor e aspectos visuais dos grãos</i>	108
3.4.3 - <i>Efeito do tratamento por microondas na viscosidade amilográfica</i>	115
3.4.4 - <i>Efeito do aquecimento por microondas na textura e adesividade</i>	117
3.4.5 - <i>Efeito dos tratamentos por microondas nos padrões de cozimento do arroz</i>	119
3.4.5.1 - <i>Alterações no tempo ótimo de cozimento</i>	119
3.4.5.2 - <i>Alterações na absorção de água do arroz durante o cozimento</i>	119
3.4.5.3 - <i>Alterações no aumento de volume do arroz durante o cozimento</i>	120
3.4.5.4 - <i>Alterações na perda de sólidos solúveis durante o cozimento do arroz</i>	121
<b>3.5 - Conclusões</b>	<b>122</b>

---

## Capítulo 4

---

<b>4 - ESTUDO DA ESTABILIZAÇÃO DO FARELO DEVIDO AO EFEITO DO TRATAMENTO POR MICROONDAS</b>	<b>125</b>
<b>4.1 - Introdução</b>	<b>125</b>
<b>4.2 - Objetivos</b>	<b>125</b>
<b>4.3 - Material e Métodos</b>	<b>126</b>
4.3.1 - <i>Material</i>	126
4.3.1.1 - <i>Matérias primas</i>	126
4.3.1.2 - <i>Reagentes e material específico</i>	126
4.3.2 - <i>Equipamentos</i>	126
4.3.2.1 - <i>Aplicador de microondas com controle automático de temperatura</i>	126
4.3.2.2 - <i>Estufa climatizada</i>	126
4.3.2.3 - <i>Beneficiador padrão para arroz</i>	127
4.3.3 - <i>Instrumentos</i>	127
4.3.4 - <i>Métodos</i>	127
4.3.4.1 - <i>Determinação da atividade de água (<math>a_w</math>) do farelo de arroz</i>	127
4.3.4.2 - <i>Determinação da composição centesimal do farelo de arroz</i>	127
4.3.4.3 - <i>Determinação da atividade de peroxidase no farelo de arroz</i>	128
4.3.4.4 - <i>Determinação do teor de ácidos graxos livres (AGL) no farelo de arroz</i>	128
4.3.5 - <i>Procedimento experimental</i>	129
4.3.5.1 - <i>Preparação das amostras para os tratamentos por microondas</i>	129
4.3.5.2 - <i>Execução dos ensaios de tratamento por microondas no arroz em casca</i>	129
4.3.5.3 - <i>Secagem das amostras tratadas por microondas</i>	130
4.3.5.4 - <i>Beneficiamento das amostras de arroz para extração do farelo</i>	130
4.3.5.5 - <i>Determinação da cor do farelo de arroz</i>	131
4.3.5.6 - <i>Determinação da atividade de peroxidase no farelo de arroz</i>	131

4.3.5.7 - <i>Determinação do teor de ácidos graxos livres (AGL) do farelo de arroz</i>	132
<b>4.4 - Resultados e Discussão</b>	<b>133</b>
4.4.1 - Efeito do aquecimento por microondas na atividade de água do farelo	133
4.4.2 - Composição do farelo de arroz tratado por microondas	134
4.4.3 - Efeito do aquecimento por microondas na cor e aspectos visuais do farelo	135
4.4.4 - Efeitos dos tratamentos por microondas na atividade de peroxidase	139
4.4.5 - Efeito do armazenamento no teor de AGL do farelo estabilizado	140
<b>4.5 - Conclusões</b>	<b>141</b>
<hr/>	
<b>CONCLUSÕES GERAIS</b>	<b>143</b>
<hr/>	
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>145</b>
<hr/>	

## RESUMO

O arroz, ao contrário de outros cereais, é consumido preferencialmente na forma de grãos inteiros. Assim, um critério importante para a indústria de processamento de arroz, é o de maximizar o seu rendimento em grãos inteiros, após o beneficiamento. Para o consumo final o arroz precisa ser beneficiado, ou seja, descascado e brunido até o estado de branco polido. Durante as etapas de secagem e beneficiamento os grãos estão sujeitos a esforços mecânicos que podem causar trincas e fissuras, responsáveis por sua quebra. Por outro lado, por inexistência de tratamentos adequados, os componentes mais nobres do arroz, paradoxalmente presentes em maior proporção nos derivados originados do seu beneficiamento, acabam por se desestabilizar e degradar antes de poderem ser aproveitados para o consumo, pouco servindo mesmo em se tratando de alimentação animal.

Este trabalho estudou, em primeiro lugar, a aplicação de microondas no tratamento térmico do arroz em casca recém-colhido e úmido, visando produzir alterações físico-químicas nos grãos capazes de aumentar a sua resistência à quebra e o rendimento de arroz inteiro após o beneficiamento. Um planejamento experimental de três fatores com ponto central foi utilizado para estudar a influência das variáveis temperatura e tempo de tratamento, e umidade dos grãos no rendimento de arroz inteiro, possibilitando encontrar as condições de tratamento otimizadas capazes de fornecer o máximo de rendimento de arroz inteiro. O melhor resultado de rendimento de arroz inteiro foi de 66,5 %, obtido com o tratamento a uma temperatura de 92 °C durante 3'20" e com o teor de umidade dos grãos de arroz de 24,0 %, que resultou em um aumento de 19,4 % no rendimento de inteiro do arroz "in natura", que foi de 55,7 %, na melhor condição de tratamento.

Em segundo lugar, avaliaram-se os efeitos das alterações físico-químicas causadas pelo aquecimento por microondas, sob as condições que produziram o máximo rendimento de grãos inteiros, sobre o envelhecimento do arroz recém-colhido. O envelhecimento é uma etapa normal, entre a colheita e o consumo, requerida para alterar as propriedades físico-químicas responsáveis pela melhoria de certas características culinárias do arroz, como a adesividade (pegajosidade) dos grãos e a sua textura pós-cozimento. O efeito conseguido pelas microondas se traduziu por um envelhecimento acelerado do arroz recém-colhido, com a conseqüente melhoria da qualidade de cozimento do arroz. Foi observado que, sem

prejuízo da cor dos grãos, as suas características gerais foram mantidas próximas às do arroz envelhecido naturalmente, mostrando-se superiores às do arroz recém-colhido, porém bastante diferentes das do arroz parboilizado, com valores de dureza e adesividade maiores que as do recém-colhido e similares aos dos valores do arroz envelhecido naturalmente. Isto ficou confirmado pelo aumento de 3 minutos verificado no tempo ótimo de cozimento com relação ao recém colhido, porém mantendo-se bem próximo ao do arroz envelhecido naturalmente. Também os fatores de expansão volumétrica, absorção de água durante o cozimento e teor de sólidos solúveis na água de cozimento ficaram próximos aos do arroz envelhecido naturalmente, porém muito diferentes dos do arroz parboilizado. A análise viscoamilográfica indicou que o tratamento por microondas produziu alterações físico-químicas de natureza diferente da do envelhecimento natural, já que causou uma redução dos valores de viscosidade enquanto o envelhecimento natural aumenta estes valores, sugerindo um efeito semelhante ao da parboilização - que é a gelatinização do amido do arroz seguida de uma retrogradação, principalmente da amilose - porém com uma intensidade muito menor. O tratamento por microondas produziu alterações na textura do arroz que se assemelharam às do arroz envelhecido naturalmente, porém causadas por efeitos de natureza distinta.

Finalmente, foram avaliados os efeitos de estabilização de outros produtos derivados do arroz, como o farelo, após a aplicação de microondas sob as condições otimizadas anteriores, devido às inativações enzimáticas produzidas pelo calor gerado pelas microondas, sem a necessidade de processamento adicional. Assim é que o tratamento do arroz em casca por microondas reduziu a atividade de peroxidase do farelo em até 97 %. O teor de ácidos graxos livres (AGL) no farelo estabilizado por microondas praticamente não teve alterações significativas, mantendo-se entre 3,8 e 4,4 % depois de quatro semanas de armazenamento, em contraste com o farelo sem tratamento, que teve seu teor de AGL aumentado muito rapidamente, atingindo 56 %.

A aplicação de microondas demonstrou, sob condições de tratamento adequadas, ser um método efetivo para aumentar o rendimento de grãos inteiros, melhorar a qualidade do arroz recém colhido e ainda produzir farelo de arroz estabilizado, constituindo-se como contribuição pioneira para o aperfeiçoamento do beneficiamento do arroz.

## ABSTRACT

Rice, unlike other cereals, is consumed preferentially in the form of whole-kernel. Thus, an important criterion for the rice milling industry is to maximize the rice head yield, after milling. Rice needs to be milled for final consumption, in other words, it must be hulled and polished into the condition of polished white rice. During the drying and milling stages the rice kernels are subjected to mechanical strain that might cause cracks and fissures, responsible for breaking the grains. On the other hand, due to the lack of appropriate treatments, the more valuable components of the rice, in fact present in greater proportion in the by-products derived from the milling operation, degrade and become unstable before a useful application can be found, be it for human consumption or even for animal feeding.

First of all the present work aimed at studying the application of microwaves in the thermal treatment of freshly harvested rice, in order to produce physical-chemistry changes in the kernels capable of increasing their resistance to breakage and head rice yield after milling. An experimental design of three factors with a central point was used to study the influence of the variables: temperature and time of treatment, as well as the grain moisture, on the whole-kernel recovery, making it possible to determine the optimal treatment conditions for maximum head rice yield. The best head rice yield result of 66.5% was obtained after treating the grains at 92°C during 3'20" to the moisture of 24,0 %, that represented a 19,4 % increase of the whole-kernel recovery as compared to the "in natura" rice result, which had been 55,7 % at the best of its treatment condition.

As a second target of this work, it was sought to evaluate the effects of physical-chemistry changes caused by microwave heating, under conditions of maximum head rice yield, on the aging of the freshly harvested rice. Aging is a normal stage, between harvesting and final consuming, that is required in order to change the physical-chemistry properties responsible for improving certain culinary characteristics of rice, such as grain adhesiveness and its texture after cooking. The effects caused by the microwaves manifested themselves as an accelerated aging of the freshly harvested rice, bringing about the consequential improvement of the rice culinary quality. It was observed that the grains,

without any detriment to their color, had their general characteristics preserved and kept close to those of the naturally aged rice. They also showed to be superior to the freshly harvested rice, although well differentiated from the parboiled rice properties, exhibiting higher values of hardness and adhesiveness than those of the freshly harvested rice and similar values to those of the naturally aged rice. That could be confirmed by the observed increase of 3 minutes in the optimal cooking time in comparison to the freshly harvested rice, although it was kept close to the time taken by the naturally aged rice. Factors such as volumetric expansion, water absorption during cooking and soluble solids content into the cooking water of the microwave treated samples were very similar to the corresponding factors of the naturally aged rice, although well different from those of the parboiled rice. The viscoamilographical analysis showed physical-chemistry changes produced by the microwave treatment different in nature in comparison to those of the naturally aged rice, decreasing the viscosity values instead of increasing values like in the last case, suggesting an effect similar to the rice parboiling – that is the rice starch gelatinization followed by a retrogradation, mainly of amilose – but at a much lower intensity. The microwave treatment also produced changes in the rice texture in a manner very much similar to the one of the naturally aged rice, but caused by effects of different nature.

Last, but not least, the third objective of this work, aimed at obtaining, after applying microwaves under the previously optimized conditions, other products derived from the rice, such as rice bran, in an already stabilized form, thanks to the effect of the enzymatic inactivation produced by the heat generated by the microwaves, without the need of additional processing. Thus, the microwave treatment of rough rice decreased the rice bran peroxidase activity by up to 97%. The free fat acid (FFA) content in the microwave stabilized rice bran did not show significant changes, maintaining a value between 3,8 and 4,4 % after four storage weeks, whereas the rice bran without treatment had its FFA increased very rapidly, reaching 56 %.

The results obtained in each of the objectives pursued were highly positive, either separately or combined, as a pioneering contribution to improve rice milling, expressed by a higher head rice yield of superior quality, applied not only to the basic kernel but also to the rice derivatives.

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figura 1.1- Gráfico da produção brasileira de arroz	3
Figura 1.2 - Variação do preço do arroz no Brasil a partir de 1993	4
Figura 1.3 - Estrutura do grão de arroz	5
Figura 1.4 - Frações do arroz obtidas no beneficiamento	7
Figura 1.5 - Fluxo do grão de arroz através do processo de beneficiamento	9
Figura 1.6 - Distribuição hipotética de tensões dentro do grão de arroz	14
Figura 1.7 - Termograma típico de análises mecânica e térmica, mostrando o método de determinação da temperatura de transição vítrea (tg) e as regiões vítrea e amorfa	20
Figura 1.8 - Perfis hipotéticos de temperatura e umidade	21
Figura 1.9 - (a) Molécula polar orientada em uma direção qualquer, (b) Molécula polar orientada segundo um campo elétrico	31
Figura 1.10 - Moléculas polares: (a) entre placas descarregadas, (b) entre placas carregadas	31
Figura 1.11 - Diagrama de um sistema genérico de aquecimento por microondas	35
Figura 1.12 - Diagrama de distribuição de potência em um sistema aquecimento por microondas	37
Figura 1.13 - Sumário dos mecanismos envolvidos no envelhecimento do grão de arroz	47
Figura 1.14 - Reação de hidrólise dos lipídios do farelo de arroz	53
Figura 1.15 - Mecanismo de hidrólise dos lipídios do farelo de arroz	56

### Capítulo 2

Figura 2.1 - Forno aplicador de microondas marca CEM, modelo MDS-2100	68
Figura 2.2 - Detalhes do sensor e do sistema de controle de temperatura	69
Figura 2.3 - Recipientes para tratamento das amostras	69
Figura 2.4 - Forno aplicador de microondas marca CEM, modelo Smart-5 e acessórios	70
Figura 2.5 - Beneficiador de arroz Suzuki MT	72
Figura 2.6 - Curva de variação da temperatura do arroz tratado durante o resfriamento	81
Figura 2.7 - Rendimento em função da Temperatura x Umidade p/ Tempo 2'30''	85
Figura 2.8 - Gráfico de Pareto para os efeitos	90

### Capítulo 3

Figura 3.1 - Panela com aquecimento elétrico	97
Figura 3.2 - Viscoamilógrafo-RVA	98
Figura 3.3 - Curvas de comportamento da viscosidade no RVA	99
Figura 3.4 - Texturômetro TA-XT2	100
Figura 3.5 - Curvas de textura e adesividade no texturômetro	100
Figura 3.6 - Imagens dos grãos de arroz polido das várias amostras	111
Figura 3.7 - Imagens dos grãos de arroz com vários graus de beneficiamento	113
Figura 3.8 - Resposta viscoamilográfica das amostras de arroz	115

### Capítulo 4

Figura 4.1 - Curva de aquecimento por microondas das amostras	130
Figura 4.2 - Velocidades relativa de reações e de crescimento de microrganismos em função da atividade da água (Bobbio, 1990)	134
Figura 4.3 - Aspectos visuais do farelo de arroz recém extraído e do rancificado	137

## ÍNDICE DE TABELAS

### Capítulo 1

Tabela 1.1 - Renda gerada pela produção brasileira e as Importações de arroz	4
Tabela 1.2 - Coeficientes de expansão, volumétrica térmica, médios (%) para o arroz	21
Tabela 1.3 - Resultados do tratamento do arroz por microondas	27
Tabela 1.4 - Resultado comparativo dos tratamentos do arroz por microondas	27
Tabela 1.5 - Resultados do processamento por microondas	28
Tabela 1.6 - Resultados dos tratamentos para o arroz <i>IAC 165</i>	29
Tabela 1.7 - Alterações nas propriedades do arroz devido ao tempo de armazenagem	41
Tabela 1.8 - Composição centesimal do farelo de arroz	50
Tabela 1.9 - Composição química do farelo do brunidor e do farelo do polidor	51
Tabela 1.10 - Comparação das propriedades das lipases I e II isoladas do farelo	54

### Capítulo 2

Tabela 2.1 - Planejamento experimental dos tratamentos de microondas	80
Tabela 2.2 - Combinações de tratamentos do arroz: Umidade, Temperatura e Tempo de tratamento por microondas Versus Rendimento	83
Tabela 2.3 - Análise de regressão do rendimento de arroz inteiro	87
Tabela 2.4 - Análise estatística utilizando o teste F	87

### Capítulo 3

Tabela 3.1 - Parâmetros de operação do viscoamilógrafo RVA	106
Tabela 3.2 - Parâmetros de operação do texturômetro TA-TX2	107
Tabela 3.3 - Teor de amilose, proteína e umidade medidos no NIRSystem	108
Tabela 3.4 - Componentes de cor das amostras de arroz	109
Tabela 3.5 - Comportamento viscoamilográfico das amostras de arroz	116
Tabela 3.6 - Textura e adesividade das amostras de arroz	117
Tabela 3.7 - Tempo ótimo de cozimento	119
Tabela 3.8 - Absorção de água durante o cozimento	120
Tabela 3.9 - Aumento de volume	120
Tabela 3.10 - Perda de sólidos solúveis	121

## Capítulo 4

Tabela 4.1 - Efeito do tratamento por microondas na atividade de água do farelo	133
Tabela 4.2 - Composição do farelo de arroz tratado por microondas	135
Tabela 4.3 - Valores de cor para o farelo de arroz	136
Tabela 4.4 - Atividade de peroxidase do farelo tratado por microondas	139
Tabela 4.5 - Conteúdo de ácidos graxos livres durante a armazenagem	140

## LISTA DE SÍMBOLOS

$c_p$	Calor específico à pressão constante [J/kgK]
$k$	Condutividade térmica [W/mK]
$\alpha_T$	Difusidade térmica [m <sup>2</sup> /s]
$\delta$	Ângulo de fase [rad]
$\epsilon_0$	Constante dielétrica do vácuo $\approx 8,854 \times 10^{-12}$ [F/m]
$\epsilon'$	Permissividade ou constante dielétrica [F/m]
$\epsilon''$	Fator de perda dielétrica [F/m]
$\epsilon^*$	Permissividade complexa = $\epsilon' + j\epsilon''$ [F/m]
$\rho$	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]
$\tan \delta$	Tangente de perda = $\tan \epsilon'/\epsilon''$ [-]



## INTRODUÇÃO GERAL

O arroz é um dos principais produtos agrícolas cultivados no mundo e alimento básico de mais da metade da população mundial. Atualmente é produzido em mais de 100 países, com uma produção mundial na safra de 2000/2001 de aproximadamente 595 milhões de toneladas de arroz em casca (Conab, 2001). A China é a maior produtora mundial seguida pela Índia, Indonésia, e outros países asiáticos. O Brasil ocupa o 9º lugar com 2 % da produção mundial. O arroz, ao contrário de outros cereais, é consumido preferencialmente na forma de grãos inteiros, assim, um critério importante para a indústria de processamento de arroz é o de maximizar o seu rendimento em grãos inteiros após o beneficiamento. Para o consumo final o arroz precisa ser beneficiado, ou seja, descascado e brunido até o estado de branco polido. Durante as etapas de secagem e beneficiamento os grãos estão sujeitos a esforços mecânicos que podem causar trincas e fissuras, responsáveis pela sua quebra (Bautista et al., 2000a; Frias et al., 2000).

A dificuldade de manter constante a qualidade do arroz comercializado durante o ano, nos períodos de safra e entressafra, causa sérios transtornos para as empresas beneficiadoras, pois o arroz recém colhido não apresenta o mesmo padrão de qualidade que o colhido e armazenado por seis meses ou mais (envelhecido). Assim, durante a safra, o custo do arroz envelhecido é maior do que o do arroz recém colhido, viabilizando o desenvolvimento de tecnologias capazes de produzir um envelhecimento artificial acelerado, a partir de alterações nas propriedades físico-químicas do arroz recém colhido.

A aplicação da energia de microondas é possível de ser utilizada no tratamento de envelhecimento artificial. Para que ocorram as alterações físico-químicas que caracterizam o envelhecimento é necessário elevar a temperatura do grão acima da temperatura de gelatinização ( $>70^{\circ}\text{C}$ ) sem causar gradientes elevados de tensão interna no grão, o que poderá causar uma excessiva redução no rendimento de grãos inteiros após beneficiamento do arroz, tornando não compensador o efeito de envelhecimento artificial acelerado.

A utilização de novas tecnologias, muitas vezes ainda não exploradas no seu potencial máximo é decorrente, portanto, da necessidade constante de aprimorar os processos produtivos objetivando a melhoria da qualidade dos produtos e a redução dos

custos de produção. Assim, também, a aplicação de microondas pode ser vantajosa na assistência aos processos de aquecimento e secagem do arroz, em virtude de algumas características específicas, tais como a sua penetração instantânea no produto tratado, com rápida conversão da energia em calor, reduzindo-se os tempos de secagem, com melhoria da produtividade e a absorção seletiva desta energia pelas zonas mais úmidas, que se traduz em aquecimento e umidade final mais uniformes. Aqui a aplicação das microondas ao arroz em casca úmido também permite alcançar temperaturas elevadas no grão sem causar a formação de elevados gradientes de temperatura e umidade, com isso produzindo uma gelatinização parcial do amido que, após a retrogradação, aumenta a sua resistência mecânica, com o conseqüente aumento do rendimento de arroz inteiro.

O farelo de arroz é a camada exterior marrom do grão de arroz integral (descascado) que é removida quando o arroz é beneficiado para produzir o arroz branco. O potencial nutritivo do farelo de arroz é elevado, pois contém proteínas, gorduras, vitaminas e elementos minerais. Entre as vitaminas, as mais abundantes são as do complexo B (Saunders, 1990; Luh et al., 1991). O farelo de arroz, que poderia ser uma fonte potencial de alimento humano, infelizmente é subtilizado ou descartado, pois o farelo extraído do arroz recém beneficiado tem uma vida útil curta devido à decomposição dos lipídios pelas enzimas lipases, produzindo ácidos graxos livres (AGL), tornando-o inadequado para o consumo humano ou para a extração econômica de óleo comestível (Barnes & Galliard, 1991). A aplicação de microondas também pode se utilizada no processamento de arroz com o objetivo de obter a estabilização dos grãos por inteiro, para a obtenção de farelo, farinha e óleo de farelo arroz estabilizados, a partir, seja do arroz em casca recém-colhido úmido, ou do arroz armazenado seco, tanto na forma de arroz em casca ou descascado integral, quanto na condição de re-hidratado. O efeito final deste tratamento se traduz, para os grãos em casca, na inativação enzimática necessária para a estabilização dos grãos de arroz e dos seus subprodutos.

## Capítulo 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 - O arroz e seu processamento agroindustrial

O arroz é um dos principais produtos agrícola cultivados no mundo e alimento básico de mais da metade da população mundial. Atualmente é produzido em mais de 100 países, colocando-se em segundo lugar em área plantada, só perdendo para o trigo. O arroz é considerado uma planta semi-aquática, anual, pertencente à família *Gramineae*, possuindo a cultura de arroz uma notável diversidade devido a sua longa história de cultivo e seleção sob os mais diversos climas e ambientes, frequentemente em áreas geográficas separadas. Cultivares da espécie de arroz *Oryza sativa* L. podem crescer em uma larga faixa de solos alagados, de prolongados períodos de inundação, até terras secas em encostas íngremes de montanhas, estendendo-se o seu cultivo na faixa de 53° Norte a 45° Sul de latitude e desde o nível do mar até 3.000 metros de altitude (Juliano, 1985a; Chang & Luh, 1991; Marshal & Wadsworth, 1994).

#### 1.1.1 - Importância do cultivo do arroz

A produção mundial de arroz em casca na safra 1999 / 2000 foi de 605 milhões de toneladas. A China é a maior produtora mundial seguida pela Índia, Indonésia, e outros países asiáticos. As práticas de produção e beneficiamento de arroz variam nos diversos países desde as mais primitivas até as mais altamente mecanizadas e sofisticadas (IRRI, 1998). O Brasil ocupa o 9º lugar com 2 % da produção mundial, com uma produção de 11,29 milhões de toneladas na safra de 1999, atingindo uma safra recorde (Fig. 1.1).

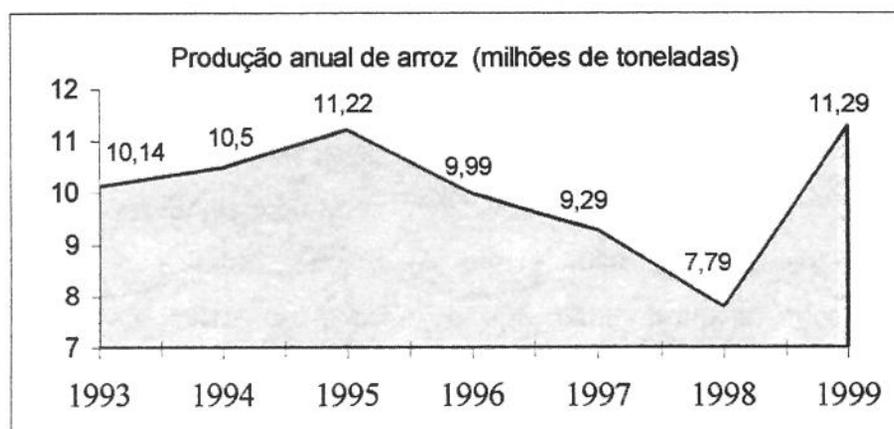


Figura 1.1- Gráfico da produção brasileira de arroz (Pessoa, 1999)

A produção de arroz no Brasil, que estava em constante redução na área plantada e no total de arroz colhido desde 1995, obteve uma excepcional recuperação na safra de 1999, mas o preço do arroz também caiu muito (Fig. 1.2), assim o país reduziu drasticamente a importação, que em 1998 chegou a 593 milhões de dólares e em 1999 caiu para menos de 160 milhões (Tab. 1.1) (Pessoa, 1999).

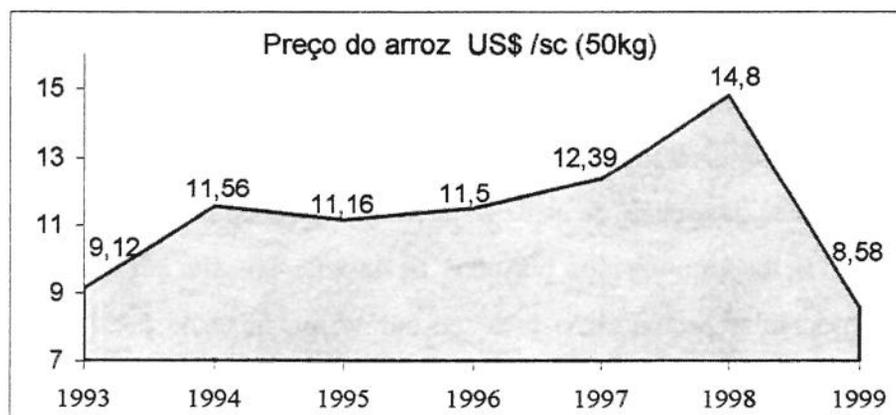


Figura 1.2 - Variação do preço do arroz no Brasil a partir de 1993 (Pessoa,1999)

Tabela 1.1 - Renda gerada pela produção brasileira e as Importações de arroz

ANO	RENDA (milhões)	IMPORTAÇÕES (milhões)
1996	-	US\$ 302
1997	US\$ 1.900	US\$ 310
1998	US\$ 2.000	US\$ 593
1999	US\$ 2.800	US\$ 160

Fonte: Pessoa (1999)

### 1.1.2 - Estrutura e constituição do grão de arroz

O arroz é uma planta anual, monocotiledônea, pertencente à família *Gramineae*, gênero *Oryza* e espécie *Oryza sativa* L. O grão de arroz é composto por casca, película (pericarpo, tegumento, aleurona), germe e o grão beneficiado (endosperma). O conhecimento sobre a estrutura do grão de arroz é importante no entendimento das propriedades físicas e químicas do grão de arroz, o qual é consumido principalmente como arroz branco beneficiado e cozido. Os vários tecidos se diferem drasticamente na estrutura, composição e função, sendo que as células apresentam os nutrientes de forma

compartimentada. Assim os conhecimentos da estrutura e composição do grão de arroz são necessários para o entendimento da tecnologia de processamento do arroz (Juliano & Bechetel, 1985; Lu & Luh, 1991, Marshal & Wadsworth, 1994).

A estrutura do grão de arroz é mostrada na Fig. 1.3, composta por casca (arista, pálea e lema), película (pericarpo, tegumento e aleurona), germe (escutelo, epiblasto, plúmula e radícula) e endosperma amiláceo (Juliano & Bechetel, 1985).

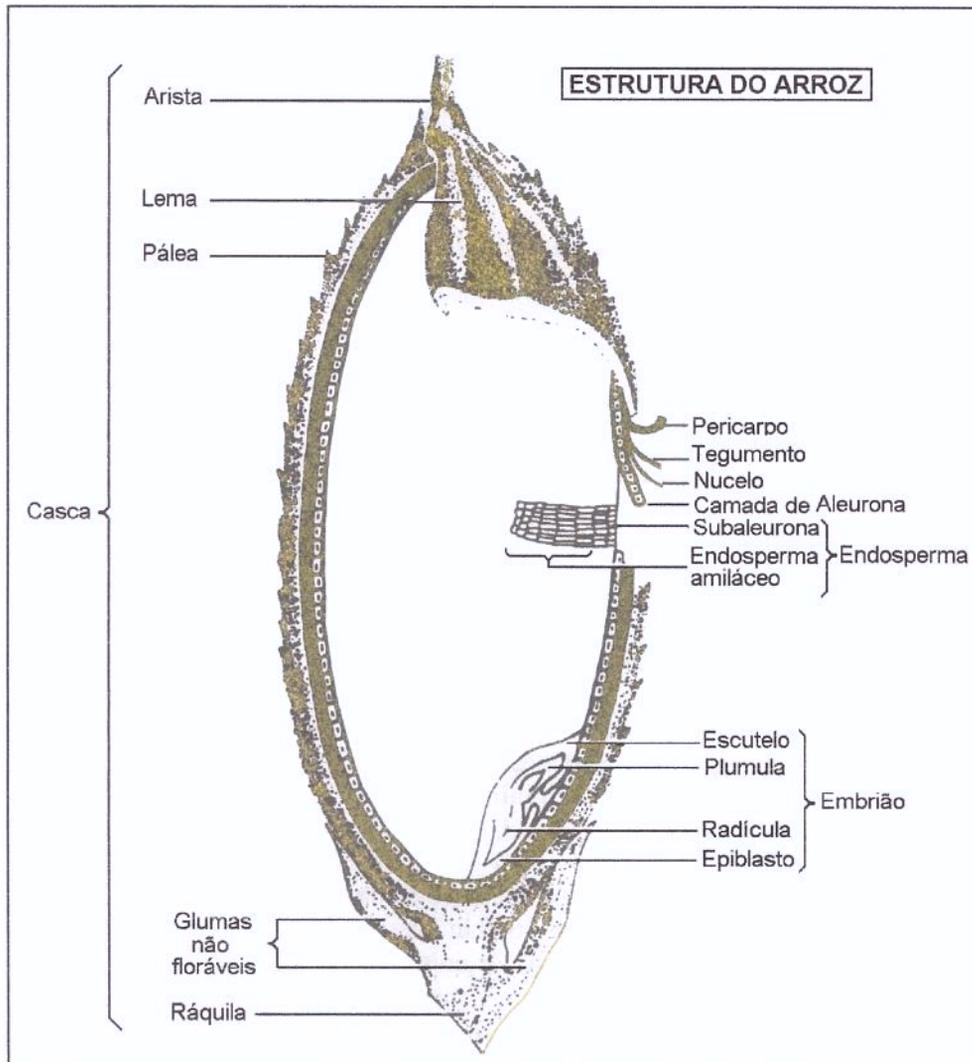


Figura 1.3 - Estrutura do grão de arroz.

*Casca* - O grão de arroz maduro é colhido como um grão recoberto (arroz em casca), na qual a cariopse (fruto do arroz) está fechada em uma cobertura resistente, a casca. O grão de arroz é envolvido pela casca, composta de duas folhas modificadas: a pálea e a grande lema. A pálea e a lema são mantidas juntas por uma estrutura semelhante a

ganchos. O formato da cariopse madura corresponde ao formato da lema e da pálea, a porcentagem de casca varia de 18 a 22 %, sendo composta por arista, lema e pálea, constituindo-se basicamente de celulose, lignina e cinzas de sílica. Na casca encontra-se também o composto cutina, que é repelente de água (Juliano & Bechetel, 1985).

*Pericarpo e tegumento* - Dentro da casca e envolvendo o endosperma do grão de arroz maduro há duas camadas distintas de células comprimidas que compõem a cariopse: estas são o pericarpo e o tegumento. O pericarpo, que é a camada externa da cariopse, fornece proteção ao tegumento e caracteriza a cor parda do arroz integral. Logo abaixo, tem-se o tegumento, camada fina e delicada, onde estão presentes os compostos gordurosos (Juliano & Bechetel, 1985).

*Embrião ou germe* - O germe ou embrião está localizado na extremidade basal do grão. É a porção que dá origem à nova planta, quando a semente se coloca em condições de germinação (Juliano & Bechetel, 1985).

*Camada de aleurona* - A camada de aleurona é a camada mais afastada do tecido do endosperma, que difere na morfologia e função em relação ao endosperma amiláceo. A aleurona pode ter de uma a sete camadas de células de espessura (Juliano & Bechetel, 1985). Cultivares diferenciam-se na espessura das camadas de aleurona (Lu & Luh, 1991).

*Endosperma amiláceo* - O endosperma é formado por mais de 90 % por amido, que por sua vez é constituído por amilose e amilopectina, ambos polissacarídeos de glicose, sendo que a amilose é de cadeia simples, helicoidal e a amilopectina é ramificada (Lu & Luh, 1991). Estas duas estruturas estão ligadas entre si por pontes de hidrogênio e ligação Van der Waals, formando os grânulos de amido (Juliano, 1985b).

### 1.1.3 - Frações retiradas no beneficiamento

No beneficiamento do arroz, quando o arroz é descascado tem-se o arroz pardo ou integral, que é constituído (em base seca) por pericarpo de 1 a 2 %, tegumento e aleurona de 4 a 6 % e endosperma de 89 a 93 %. A película (formada pela aleurona, tegumento e pericarpo) e o germe (formado pelo escutelo, epiblasto, plúmula e radícula) que são retirados durante o beneficiamento, nas etapas de brunimento e polimento, compõem o farelo, que contém cerca de 80 % das proteínas do arroz. (Juliano, 1985b).

A Fig. 1.4 mostra as frações do grão de arroz em casca que são separadas durante o beneficiamento.

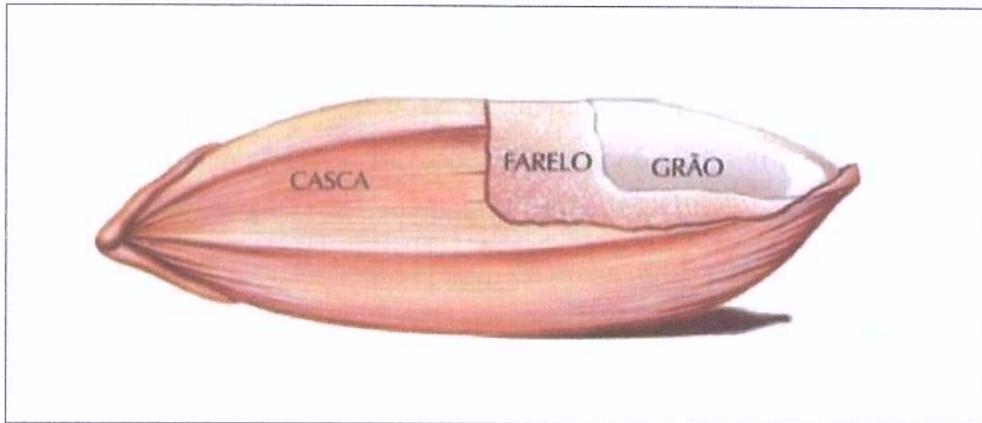


Figura 1.4 - Frações do arroz obtidas no beneficiamento

#### 1.1.4 - Etapas do pré-processamento agroindustrial do arroz

Uma rápida idéia sobre as etapas pelas quais o arroz é submetido, desde o plantio, passando pela colheita, pela secagem e até o beneficiamento final, é importante para uma melhor compreensão dos fenômenos que afetam os grãos de arroz e o rendimento de inteiros durante o beneficiamento.

##### *1.1.4.1 - O arroz no campo*

O desenvolvimento do arroz no campo, desde a formação dos grãos até os 55 dias posteriores, pode considerar a divisão do tempo de desenvolvimento do grão em três períodos: (1) aquele no qual o teor de umidade decresce fisiologicamente com o aumento da matéria seca acumulado, (2) aquele em que o teor de umidade permanece aproximadamente 28 % por 10 dias, e (3) aquele no qual o teor de umidade decresce fisicamente sob a influência do meio ambiente (Vergara, 1991). As fissuras (trincas) não ocorrem no primeiro e segundo período porque o teor de umidade destes estágios não é afetado pelas condições climáticas. Entretanto, os grãos sofrem fissuras no campo durante o terceiro período (Bautista et al., 2000).

O amadurecimento é o último estágio de desenvolvimento que o arroz no campo atinge antes da colheita. Até este período, os grãos ainda recebem água e nutrientes da planta sob condições de crescimento normais de luz solar, fertilidade e umidade.

No amadurecimento e no começo da secagem, o grão gradativamente reduz a sua dependência de água e nutrientes da planta e começa a aumentar a sua interação com o meio ambiente do campo (Juliano & Perez, 1993). A secagem do arroz começa no campo após o grão atingir a maturidade. Durante este período, os grãos transpiram mais umidade para o ar que recebem da planta, como consequência a umidade gradualmente vai decrescendo. Quando a umidade do grão cai abaixo da umidade relativa do ar ambiente, o grão de arroz, que é higroscópico, reabsorve umidade. Então o teor de umidade do grão torna-se sujeito às condições ambientais no qual ele se encontra (Wang & Luh, 1991). A temperatura e a umidade do ar ambiente bem como o estado de maturidade do grão determina a taxa na qual o grão secará. Após a secagem inicial o grão continua higroscópico e responde às condições ambientais que é exposto (Bautista et al., 2000).

#### *1.1.4.2 - Colheita*

A colheita do arroz se inicia quando os grãos estão inteiramente maduros na porção superior da panícula e que a massa dos grãos estejam duras na base. Esta é uma prática subjetiva que implica que os grãos maduros podem não estar com o teor de umidade suficientemente baixo para evitar a fissura dos grãos devido à rápida adsorção de umidade. A umidade ótima de colheita é definida como o estágio de amadurecimento para os grãos em uma única panícula (Chau & Kunze, 1982). Mas a planta produz panículas subsequentes em sequência, o que significa que somente algumas poucas panículas por planta terão grãos na umidade ótima ao mesmo tempo durante a época da colheita. No tempo da colheita, algumas panículas já devem ter passado do valor de umidade ótima enquanto outras ainda estão se aproximando (Bautista et al., 2000).

No Brasil, a colheita é realizada por sistema mecanizado quando as sementes atingem o teor de 20 a 24 % de umidade e manual de 18 a 20 %. Na prática, colhe-se quando 2/3 dos grãos estiverem maduros apresentando a sua cor característica, e 1/3 dos grãos correspondentes à base da panícula, encontram-se ainda esverdeados, mas com massa firme, resistente a pressão (Pinzan, 1989).

### 1.1.4.3 - Secagem

O arroz chega ao secador com um teor de umidade de 20 a 25 %, sendo que na operação de secagem é necessário fazer de 3 a 4 passagens sucessivas (ciclos) pelo secador, dentro de intervalos de 3 a 4 horas a cada ciclo, propiciando assim uma secagem lenta. O ponto de secagem será atingido quando o arroz em casca atingir a umidade de 13 % e o beneficiado de 14 %. Grandes volumes de arroz usualmente são secos em secadores de coluna de fluxo contínuo que trabalham com ar aquecido de 40 até 54 °C, no máximo. De modo geral, a temperatura da “massa” do arroz, ao sair do secador deve estar entre 36 e 37 °C, não devendo ultrapassar 41 °C, a fim de obter-se um produto de boa qualidade e alto rendimento de grãos inteiros após o beneficiamento (Pinzan, 1989).

### 1.1.4.4 - Beneficiamento

O beneficiamento do arroz é feito para remover a casca, o farelo e o germe com o mínimo de quebra do endosperma. Segundo (van Ruiten, 1985) há basicamente dois processos diferentes de beneficiamento de arroz em escala industrial: o sistema convencional e o sistema japonês. Atualmente tornou-se freqüente a utilização mista dos dois processos com a utilização de equipamentos de polimento originários do sistema japonês incorporado ao sistema convencional, resultando no processo mostrado na Fig. 1.5.

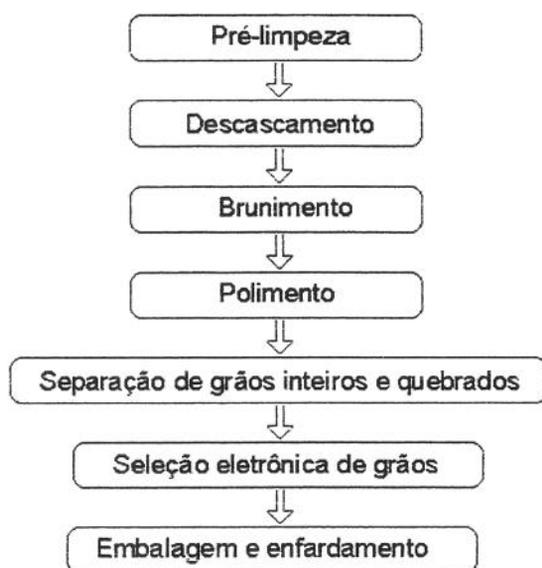


Figura 1.5 - Fluxo do grão de arroz através do processo de beneficiamento

*Pré-limpeza* - Separação das impurezas dos grãos através de um jogo de peneiras (palha, pedras, pedaços de colmo) e as impurezas leves são eliminadas por aspiração. Os grãos danificados e outras impurezas são retirados nas mesas densimétricas por arraste devido a diferença de peso específico com relação ao grão de arroz inteiro.

*Descascamento* - É a retirada da casca dos grãos por descascadores de discos, revestidos de esmeril ou descascadores de rolo de borracha, sendo estes últimos os mais indicados para arroz tipo longo. Após o descascamento, passa-se o produto por peneiras, separando o farelo grosso do arroz descascado e do marinheiro (5 a 10 % que não foi descascado). As cascas são aspiradas por ventilador e conduzidas para fora do galpão. Os grãos descascados e o marinheiro vão para o separador de marinheiros onde são separados.

*Brunimento* - É realizado através da abrasão dos grãos descascados contra uma superfície muito áspera, pedra de brunição cônica de abrasivo ou esmeril, onde é retirado o pericarpo e as substâncias graxas que envolvem a parte central amilácea (endosperma), o farelo formado é transportado para fora da máquina. Para produzir arroz brilhado faz-se o polimento do produto.

*Polimento* - É realizado em um equipamento com uma rosca giratória onde os grãos de arroz são submetidos à movimentação, resultando um grande atrito entre os grãos e são auxiliados por um borrafo de água, o que possibilita que a superfície se torne mais lisa e brilhante, desaparecendo as estrias oriundas do brunimento (etapa adaptada do processo japonês).

*Separação de grãos inteiros e quebrados* - É realizada utilizando o “trieur”, que consiste em cilíndricos rotativos inclinados, cujas paredes laterais contém pequenos alvéolos, de dimensões que permitem acomodar grãos quebrados menores que 3/4 do comprimento dos grãos inteiros, até uma determinada posição, sendo recolhidos por uma rosca transportadora. Os grãos inteiros e maiores que 3/4 do comprimento permanecem deslizando na superfície do cilindro e são retirados na outra extremidade do cilindro.

*Seleção eletrônica de grãos* - Os grãos e outras impurezas de coloração escura, ao passarem pelos dutos de escolha da selecionadora eletrônica, são detectados através de um sensor foto elétrico e são separados mediante aplicação de pequeno jato de ar comprimido, controlado eletronicamente. Assim é possível retirar grãos danificados escuros e sementes

pretas e outras impurezas de coloração escura que não apresentam diferença de peso específico com relação ao grão de arroz inteiro.

*Embalagem e enfiamento* - O arroz inteiro já selecionado e classificado, normalmente, é embalado em embalagens plásticas transparentes de 5 kg através de máquinas automáticas, e em seguida é empacotado em fardos contendo 6 embalagens. Assim o arroz está pronto para ser estocado ou distribuído comercialmente.

*Rendimento de grão inteiros* - O rendimento de arroz inteiro é a porcentagem do total inicial de arroz em casca que permanece como grãos de arroz inteiro após o beneficiamento completo, ou seja: descascamento, brunimento e polimento, e é definido como arroz inteiro o grão de arroz branco polido que possui pelo menos três quartos do comprimento do grão original sem a casca. O rendimento de grãos inteiros depende do cultivar, classe dos grãos, condições de crescimento da lavoura, secagem, armazenamento e condições de beneficiamento. O rendimento de grãos inteiros nos EUA está na faixa de 55 a 63 %, para arroz de grãos longos e de 57 a 63 % para grãos médios e curtos (Webb, 1991).

#### 1.1.5 - Importância econômica do grão de arroz inteiro e classificação comercial

Como o arroz é consumido preferencialmente na forma de grãos inteiros, o rendimento de grãos inteiros é um critério muito importante para a indústria de beneficiamento de arroz, pois o valor econômico do arroz é fortemente dependente da porcentagem de grãos inteiros, que valem mais que duas vezes o valor dos grãos quebrados (Frias et al., 2000). Somente nos EUA, um aumento de um único ponto porcentual no rendimento de arroz inteiro chegaria a um aumento de ganhos de cerca de US\$10 milhões (Bautista et al., 2000a).

Comercialmente o arroz no Brasil é classificado em: grupos, subgrupos, classes e tipos. Esta classificação enquadra o arroz como um produto comercial, definindo o regime tributário que o produto se encontra, (produto agrícola, isento de IPI), e fornecendo as informações necessárias ao consumidor para a escolha do produto que melhor atenda as suas necessidades (Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997):

*Grupos* - Segundo a sua forma de apresentação, o arroz será classificado em dois grupos, assim denominados: Arroz em casca é o produto desenvolvido maduro e em casca,

depois de colhido; Arroz beneficiado é o produto maduro que submetido a processo de beneficiamento, acha-se desprovido de sua casca.

*Subgrupos* - Segundo o seu preparo, o arroz em casca e o arroz beneficiado serão ordenados em subgrupos: *Subgrupo do Arroz em Casca*: Natural; Parboilizado; *Subgrupo do Arroz Beneficiado*: Integral; Parboilizado; Parboilizado Integral; Polido.

*Classes* - O arroz em casca e o arroz beneficiado, de acordo com suas dimensões, serão distribuídos em cinco classes, independentes do sistema de cultivo:

*Longo fino*: Contém no mínimo, 80 % do peso dos grãos inteiros, medindo 6,0 mm ou mais, no comprimento; 1,90 mm, no máximo, na espessura e cuja relação comprimento por largura, seja superior a 2,75 mm, após o polimento dos grãos;

*Longo*: Contém, no mínimo, 80 % do peso dos grãos inteiros, medindo de 6,0mm ou mais, no comprimento após o polimento dos grãos;

*Médio*: Contém, no mínimo, 80 % do peso dos grãos inteiros, medindo de 5,0mm a menos de 6,0 mm no comprimento, após o polimento dos grãos;

*Curto*: Contém, no mínimo, 80 % do peso dos grãos inteiros, medindo menos de 5,0 mm no comprimento, após o polimento dos grãos.

## **1.2 - Causas da redução do rendimento de arroz inteiro**

### **1.2.1 - Formação de fissuras no grão de arroz**

Uma das maiores causas da redução de rendimento de arroz inteiro é a formação de fissuras que enfraquece o grão e causa a sua quebra durante o beneficiamento, reduzindo o rendimento de arroz inteiro, e conseqüentemente diminuindo os retornos econômicos nas plantações e na comercialização do arroz (Sharma & Kunze 1982). As trincas debilitam o grão estruturalmente, tornando-o mais suscetível à quebra durante o beneficiamento e operações de manuseio. Os grãos que não quebram, mas que apresentam fissuras, tem suas propriedades culinária e de expansibilidade alteradas (Siebenmorgen, 1998). Aproximadamente 25 % de peso de arroz inteiro são perdidos por causa dos finos pedaços que desprendem das faces quebradas, resultando na redução de peso tanto para grãos inteiros quanto para o total de arroz beneficiado (Sarker & Farouk, 1989). As conseqüências econômicas disto são significativas porque o valor de arroz quebrado é muito menor, entre um terço e metade do valor do arroz inteiro (Luh & Yang, 1991).

### *1.2.1.1 - Causas da formação de trincas e fissuras nos grãos de arroz*

As trincas e fissuras podem ocorrer no campo, durante a secagem, no armazenamento, no beneficiamento, ou no manuseio do arroz. Siebenmorgen (1998), considerou situações onde a adsorção de umidade do ambiente pode causar trincas e fissuras no arroz. Eles sugerem que o arroz colhido pode ter grãos suficientemente secos que podem trincar quando sujeitos a um ambiente favorável à adsorção de umidade. Os pesquisadores especificaram duas situações onde o arroz colhido com baixo teor umidade dos grãos pode experimentar um ambiente adsorvente de umidade: (1) no compartimento de carregamento da colheitadeira e nos tanques de pré-armazenagem antes da secagem; (2) em um secador onde o ar de secagem foi altamente umedecido antes de alcançar o grão.

### *1.2.1.2 - Caracterização das trincas e fissuras no grão de arroz*

Uma fissura no grão de arroz é definida como uma fina fratura, que normalmente se forma perpendicularmente ao eixo longitudinal do grão e é causada pelas tensões devido ao gradiente de umidade no grão ou na seção do grão. As fissuras podem ser formadas de duas formas: desorção de umidade (como na secagem) ou absorção de umidade (como na re-hidratação) (Bekki & Bautista, 1997). Dois tipos de fissuras foram encontrados: fraturas de superfície irregulares causadas principalmente pela desorção de umidade (durante a secagem) e fraturas internas grandes, encontradas normalmente perpendicular ao eixo longitudinal do grão por absorção de umidade (Sharma & Kunze, 1982).

Bautista et al. (2000a) estudaram a formação de fissuras e sua propagação nos grãos de arroz, durante a secagem, caracterizando-as visualmente usando um sistema de vídeo microscopia. As fissuras se originam dentro do grão, se formando muito rapidamente, dentro de uma fração de segundo (0,004) desde o seu início até a sua propagação total. Mas até que se iniciem as fissuras no grão de arroz é necessário um tempo considerável de exposição ao ar aquecido. Esta observação indicou que as fissuras aconteceram quando o endosperma estava em um estado dúctil. Nesta condição acredita-se que o grão sofra uma transição de estado amorfo para vítreo. As fissuras múltiplas desenvolveram em sucessão e não aconteceram simultaneamente. A porcentagem de grãos quebrados aumentou com um aumento da temperatura do ar e também foi afetada pelo cultivar de arroz, *Bengal* e *Drew*

foram os mais suscetíveis às fissuras enquanto o *Cypress* foi mais resistente. O formato dos grãos não foi um fator significativo na formação de fissura.

## 1.2.2 - Teorias propostas para a formação de fissuras nos grãos de arroz

### 1.2.2.1 - Teoria clássica sobre a formação de fissuras nos grãos de arroz

Choudhury & Kunze (1972) propuseram a teoria clássica que descreve a formação de fissuras devido à tensão causada pelo gradiente de umidade no grão de arroz (Fig. 1.6) e observaram que fissuras resultantes da hidratação ou da secagem foram devido à expansão ou encolhimento desigual dentro do grão de arroz. As alterações no teor de umidade no arroz resultam em mudanças volumétricas desiguais que induzem tensões internas que produzem tensões de compressão mais elevadas nas camadas superficiais, durante a secagem (desorção), e também nas partes internas do grão, durante a hidratação (absorção).

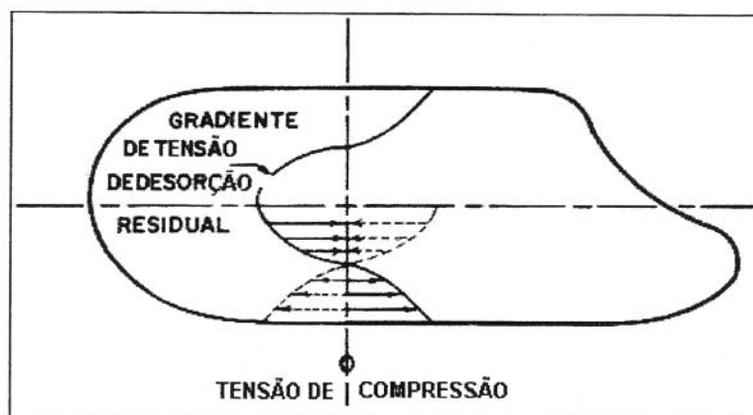


Figura 1.6 - Distribuição hipotética de tensões dentro do grão de arroz

Os grãos de arroz se quebram depois de submetido a uma alta taxa de secagem, não somente durante a secagem e com também após a secagem, assim o rendimento de arroz inteiro não deve ser determinado antes de 48 horas após a secagem. Sharma & Kunze (1982) confirmaram esta observação e teorizaram que o gradiente de umidade após a secagem causa as trincas. As trincas continuaram a se formar até os gradientes de umidade nos grãos desaparecerem. Altas temperaturas no processo de têmpera (processo de homogeneização da umidade nos grãos) podem aumentar a difusão de umidade e reduzir o gradiente de umidade. As mais baixas quebras foram verificadas por Steife & Singh (1980) quando temperaturas mais altas foram usadas durante a fase de têmpera. Várias teorias para

explicar a formação de fissura foram propostas baseadas na resposta do arroz quando sujeito a tensões devido à existência de gradientes de umidade no grão (Yamaguchi et al., 1984).

Os efeitos da água nas propriedades térmicas e físicas do arroz são a chave para o entendimento do processo de secagem. As propriedades físicas (comprimento, largura, espessura, volume e densidade) e térmicas (calor específico e condutividade térmica) de arroz de grãos médios e arroz de grãos longos são funções lineares do teor de umidade. Morita & Singh (1979) observaram que as dimensões dos grãos de arroz em casca a 26 °C, densidade aparente, e o peso específico variaram linearmente com o teor de umidade. Stettfe & Singh (1980) também verificaram que os grãos de arroz encolheram 12,3 %, em média, quando secos de 30 para 15 % de umidade. Como o grão higroscópico, ele responde física e dinamicamente as mudanças na umidade e na temperatura as quais está exposto. Prasad *et al.* (citado em Kunze & Calderwood, 1985) relataram que a alteração de 1 % no conteúdo de umidade produz tensões no grão que são 100 vezes maiores que aquelas produzidas pela alteração de 1 % na temperatura. Na revisão de pesquisas sobre secagem de arroz, Mossman (1986) indicou que a temperatura de secagem não demonstrou ter nenhum efeito significativo na quebra de arroz quando a taxa de secagem é mantida mínima.

Muthukumarappan et al. (1992) realizando ensaios termomecânicos com arroz constataram uma taxa uniforme de expansão térmica dos grãos até 58 °C quando pesquisaram as mudanças nas medidas volumétricas do arroz de grãos longos durante a desorção e a adsorção. Os autores consideraram que a expansão térmica acima de 60 °C não foi importante e usaram uma única taxa independente da temperatura para o modelo de secagem de arroz. Hosney & Faubion (1992) notaram que o amido e as proteínas do arroz com alto teor de umidade estão inchados quando o grão é exposto a um ambiente de secagem ou quando o grão é seco rapidamente, a superfície exterior do grão fica mais seca enquanto o interior fica úmido. É nesta condição, quando a parte externa do grão tenta contrair-se mas não pode devido ao interior inchado pelo maior teor de umidade que são produzidas tremendas pressões dentro do grão que só podem ser aliviadas pela danificação estrutural. O resultado é uma fratura dentro do grão. Observou-se que as trincas normalmente ocorrem entre as paredes das células do endosperma e raramente as atravessam e observou que não são as paredes das células que falham quando sobre-

tencionadas, mas sim o material que une estas paredes. Ele também menciona que os materiais de ligação intercelular são plásticos acima de 21 % de umidade e ficam progressivamente inelásticos com a redução no teor de umidade.

Explicação semelhante foi feita anteriormente para a formação de fissura no arroz baseada na pressão diferencial de vapor entre a porção exterior e interna do grão durante a secagem. Se a tensão devido à pressão de vapor ficar muito alta, o grão fenderá. A remoção rápida de umidade da superfície causa encolhimento das células exteriores e induz tensão dentro do grão. A tensão também pode ocorrer, durante o processo de secagem, por causa do encolhimento diferencial entre o centro e o exterior. Esta é uma situação que causa fissuras na superfície. A tensão induzida após a secagem ocorre quando a umidade move-se do centro para a superfície do grão. Esta é uma situação que causa fissura no centro do grão (Kunze, 1979).

A proposta mais aceita com relação à formação de fissura em um grão de arroz sugere que fissuras são causadas pelos gradientes de umidade formados durante a secagem. Esta proposição explica que um gradiente de umidade é criado pela diferença em perda de umidade entre o interior e a camada exterior do grão (Sarker et al., 1996). A perda de umidade é afetada pela habilidade do ar de secagem de transferir umidade do grão para a atmosfera. Quanto mais rápida a remoção de umidade maior é o gradiente de umidade criado, pois a superfície seca mais rapidamente que a parte interna do grão. As diferenças de gradiente de umidade dentro do grão de arroz produzem tensões que podem causar trincas no grão quando estas excedem a resistência à ruptura do material do grão de arroz (Bautista, 1998).

As pesquisas recentes do programa de processamento de arroz da Universidade de Arkansas, EUA, envolvendo medidas de transições de estados poliméricos nos grãos de arroz e estudos de mudanças na qualidade do arroz durante a secagem, conduziram a uma hipótese que explica a ocorrência e o desenvolvimento de fissuras. A hipótese (denominada hipótese de transição vítrea ou hipótese  $T_g$ ) atribui a formação de fissuras a tensões diferenciais dentro do grão, produzidas quando o grão (ou várias seções do grão) sofre transição do estado amorfo para o vítreo. A presença de gradientes de umidade, como os gerados no processo de secagem, causaria transições de estado em diferentes seções do grão quando submetido a uma rápida alteração da temperatura (Siebenmorgen & Perdon, 1999).

### *1.2.2.2 - O grão de arroz como um polímero*

As interações dos efeitos da água e da temperatura nas mudanças de propriedade dos materiais são importantes no entendimento da formação de fissura durante a secagem dos grãos. A ciência dos polímeros foi aplicada nos estudos dos efeitos da temperatura e do teor de umidade durante o processamento de componentes de alimentos, como amido e proteína (Slade & Levine, 1995). Achanta & Okos (1995) observaram que fissuras ocorreram logo após a secagem e durante vários dias depois da secagem. A explicação deles para a causa da danificação foi baseada no mecanismo de encolhimento e viscoelasticidade. Um bio-polímero durante a secagem contrai-se na superfície causando tensões por dentro. Quando a força de tração na superfície do material excede a sua tensão de resistência à ruptura, o material trinca.

Slade & Levine (1995) consideraram o amido, o principal constituinte do arroz, um polímero parcialmente cristalino, parcialmente amorfo cujas propriedades térmicas e materiais mudam dependendo da temperatura e dos gradientes de teor de umidade gerados durante o processamento. A maioria das mudanças durante o processamento acontece na região amorfa nas temperaturas de até 60 °C e nos teores de umidade aplicáveis durante a secagem do arroz. As propriedades físicas e térmicas dos materiais amorfos, como calor específico, volume específico, coeficientes de expansão e módulo elasticidade mudam quando estes passam por uma temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). Em temperaturas abaixo da  $T_g$ , os materiais amorfos são vítreos com alta viscosidade e densidade, mas com baixo coeficiente de expansão. Nas temperaturas acima da  $T_g$ , estes são amorfos com coeficiente de expansão mais alto e densidade mais baixa. A  $T_g$  está inversamente relacionada ao teor de umidade, como aumentos da umidade acarretam diminuições da  $T_g$ . Desenhando  $T_g$  contra seu teor de umidade correspondente gerará um diagrama de estado que pode ser usado para prever as propriedades mecânicas dos grãos a uma particular temperatura e teor de umidade. Vários investigadores usaram diagramas de estado e o conceito de transição vítrea para prever mudanças nas propriedades de alimentos e cinéticas de reação abaixo e acima da  $T_g$  (Roos, 1995; Peleg, 1996).

### 1.2.3 - Cinética da degradação mecânica do arroz em casca

A cinética de reação do grão de arroz para várias condições de processamento dependerá se o grão está no estado vítreo ou no estado amorfo. Para entender a formação de fissuras no grão de arroz, as propriedades materiais abaixo e acima da  $T_g$  precisam ser investigadas.

Nehus (1997) mediu as propriedades térmicas do arroz beneficiado com um calorímetro diferencial de varredura (DSC) e observou que o arroz com teor de umidade entre 16 e 18 % teve uma  $T_g$  ao redor 55 °C. O aumento na expansão térmica do arroz beneficiado acima de 53 °C observado por Arora et al. (1973) pode corresponder a  $T_g$  identificada por Nehus (1997). Nesse caso, uma transição de estado ocorrerá tipicamente na faixa de temperatura usada na secagem do arroz e que afeta as propriedades materiais do arroz.

#### *1.2.3.1 - Iniciação de fissuras*

Bautista et al. (2000a), realizando ensaios para produzir fissuras, verificaram que estas se originaram na porção interna dos grãos. A formação foi rápida e cresceu como uma linha perpendicular ao eixo longitudinal do grão. Nenhuma ocorrência de fissura foi observada enquanto o grão estava secando ou sendo exposto ao ar de secagem. Todas as fissuras aconteceram após a secagem e durante o tempo em que o grão estava sendo resfriado com o ar ambiente. Fissuras múltiplas aconteceram nos grãos secos na faixa de temperatura de 50 a 60 °C para todos os cultivares de arroz testados. Houve fissuras que se formaram ao longo do eixo longitudinal do grão que normalmente conecta duas fissuras paralelas e perpendiculares ao eixo longitudinal. Em comparação, uma condição de secagem mais lenta (45 °C, 20 %) produziu fissuras individuais. A formação de concha de tartaruga sugere uma reação vigorosa a tensões dentro do grão induzidas por gradientes de umidade no endosperma ou seções do endosperma. O início mais rápido de fissura aconteceu à temperatura de ar mais alta (60 °C). Tempos mais longos a temperaturas mais baixas (45 a 50 °C) foram requeridos para produzir fissuras. As fissuras não ocorreram durante a secagem, principalmente porque o endosperma do grão ainda estava no estado amorfo ou elástico que tolera tensões. Um tempo significativo após os grãos terem entrado em equilíbrio ou sido resfriados foi necessário para que as fissuras se iniciassem. Pode se

especular que o endosperma tenha sofrido transição de estado amorfo para um estado vítreo, em diferentes seções do grão com gradiente de umidade suficiente. As tensões dentro do grão, em intensidade suficiente, conduzirão a trincas, desde que a estrutura do amido não seja mais elástica.

### *1.2.3.2 - Propriedades térmicas do grão individual*

Muitos pesquisadores têm usado DSC (calorímetro diferencial de varredura) para medir as propriedades térmicas do arroz. Biliaderis (1991) e Perdon (1999) observaram várias transições no termograma do DSC para o amido de diferentes cultivares de arroz. Estas transições múltiplas complicam a caracterização das propriedades térmicas do arroz quando se utiliza o DSC. Para solucionar este problema Cnossen et al. (2000) utilizaram um TMA (analisador de propriedades térmicas mecânicas), onde foram usados grãos individuais para determinar a  $T_g$  do arroz, de forma a responder pela variabilidade natural no tamanho e na distribuição do teor de umidade existente entre grãos individuais a um determinado teor de umidade. O grão inteiro foi colocado em um dilatômetro de quartzo e completado com óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), coberto e repesado. O dilatômetro foi colocado no alojamento de amostra do TMA, e uma sonda de expansão foi usada para registrar mudança de volume na amostra durante o aquecimento. A amostra foi mantida isotermicamente a -15 °C por 5 minutos e então aquecida de -15 °C a 65 °C a uma taxa de 5 °C/min. A temperatura na qual o volume mudou drasticamente foi considerada a  $T_g$ . O Software de Análise Térmica Perkin-Elmer Versão 4.00 foi usado para identificar a  $T_g$  e calcular os coeficientes de expansão volumétrica do termograma.

Cnossen et al. (2000) em experiências preliminares testaram o efeito da taxa de aquecimento (2, 5, e 10 °C/min) na  $T_g$  e  $\beta$  (coeficiente de expansão térmica volumétrica) de grãos de arroz colhidos com umidade acima de 20 %. A taxa de aquecimento não teve um efeito significativo e no  $\beta$  ( $P = 0,81$  e  $0,50$  para  $\beta_G$  “ $\beta$  no estado vítreo” e  $\beta_R$  “ $\beta$  no estado amorfo” respectivamente) mas afetou a  $T_g$  ( $P < 0,01$ ). A  $T_g$  medida a uma taxa de aquecimento de 2 °C/min (28,9 °C) não foi significativamente diferente da  $T_g$  medida a uma taxa de aquecimento de 5 °C/min (28,1 °C). Ambas  $T_g$ 's, porém, foram significativamente mais baixas que a  $T_g$  medida a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min (34,8 °C) que poderia ser devido a um maior atraso térmico a esta taxa de aquecimento. Foi discutido que as taxas de aquecimento mais lentas eram mais precisas medindo  $T_g$ , porque não havia

nenhuma diferença estatística na  $T_g$  medida entre as taxas de 2 e 5 °C/min, a taxa de aquecimento 5 °C/min foi usada para análises subsequentes para reduzir o tempo requerido nos testes. Os autores encontraram uma gama de  $T_g$ 's (17 a 58 °C) para o grão de arroz individual, que corresponde a  $T_g$  que Nehus (1997) relatou para arroz beneficiado entre 16 a 18 % de umidade. Além disso, esta faixa de temperatura concorda com os pontos de transição identificados por Muthukumarappan et al. (1992).

O procedimento utilizado por Cnossen et al. (2000) para determinar  $T_g$  está ilustrado na Fig. 1.7.

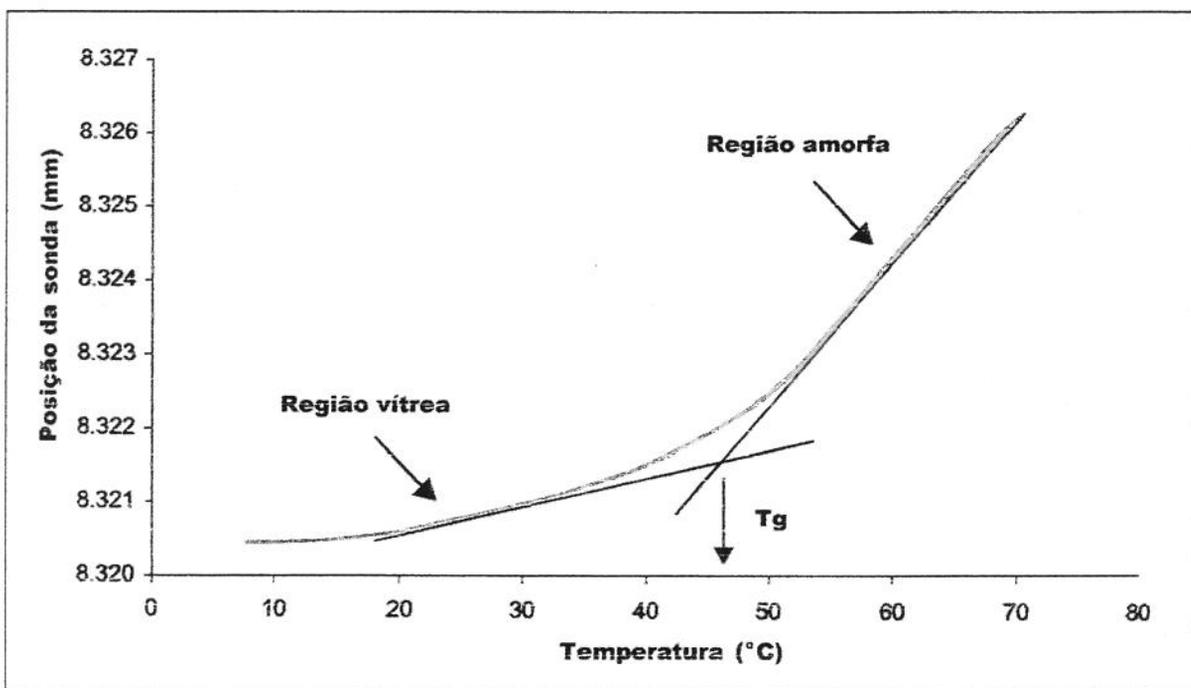


Figura 1.7 - Termograma típico de análises mecânica e térmica, mostrando o método de determinação da temperatura de transição vítrea ( $t_g$ ) e as regiões vítrea e amorfa

#### 1.2.3.3 - Medidas dos coeficientes de expansão volumétrica térmica usando TMA

Cnossen et al. (2000) além de determinar a  $T_g$  dos cultivares de arroz *Bengal* e *Cypress*, utilizou a técnica TMA para quantificar o  $\beta$  acima e abaixo da transição vítrea. O  $\beta$  médio para os grãos individuais de ambos os cultivares são mostrados sofrendo uma transição vítrea na Tab. 1.2. O  $\beta$  médio no estado amorfo foi de  $4,6 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  que corresponde à gama de coeficientes de expansão térmica do arroz mencionada por Muthukumarappan et al. (1992).

Tabela 1.2 - Coeficientes de expansão, volumétrica térmica, médios (%) para o arroz

Cultivares	$\beta_G \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\beta_R \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\beta_R/\beta_G$
<i>Bengal</i>	0,86	4,99	5,80
<i>Cypress</i>	0,89	4,26	4,79

Fonte: Cnossen et al. (2000)

A magnitude relativa das mudanças nos  $\beta$ s abaixo e acima da temperatura de transição vítrea foi expresso como a relação de  $\beta$  no estado amorfo sobre o correspondente  $\beta$  no estado vítreo ( $\beta_R/\beta_G$ ). Combinando os dados para ambos os cultivares, o  $\beta_R/\beta_G$  variou de 0,4 a 24,5 e com uma média de 6,0.

A Fig. 1.8 descreve os perfis hipotéticos da distribuição da temperatura e da umidade criados durante a secagem, desenhados sobrepostos ao contorno de um grão de arroz. Durante a secagem, a umidade das camadas exteriores do grão é mais baixa que no centro, resultando em um gradiente de umidade ao longo do grão. A existência de um gradiente de temperatura e/ou de umidade dentro do grão pode gerar regiões com diferentes coeficientes de expansão ou densidades de grão. A diferença nas magnitudes destas propriedades pode ser suficiente para gerar tensões que causarão trincas e fissuras no grão.

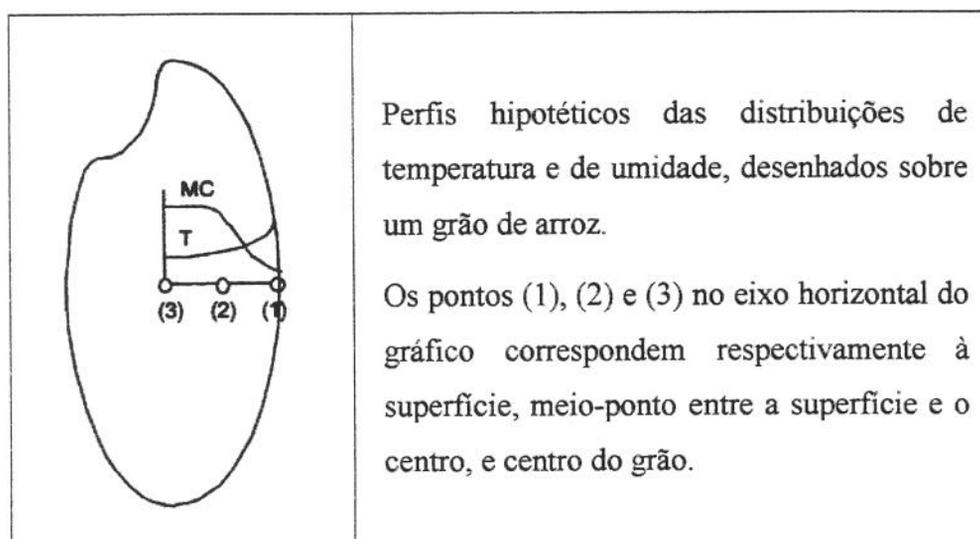


Figura 1.8 - Perfis hipotéticos de temperatura e umidade

O gradiente de umidade pode produzir regiões dentro do grão com diferentes  $T_g$ 's. Dependendo da temperatura, o grão pode ser inteiramente vítreo, inteiramente amorfo, ou pode ter regiões que estão em um estado enquanto regiões adjacentes estão no outro estado. A magnitude das diferenças entre os  $\beta$ 's do grão de arroz descascado no estado vítreo com relação ao estado amorfo pode criar tensão dentro do grão durante o processo de secagem. O grão pode resistir até uma determinada intensidade de tensão, mas quando um limite é alcançado o grão pode trincar.

A um conteúdo típico de umidade na colheita, ao redor 16 a 22 %, os grãos serão vítreos para as temperaturas típicas na colheita (ao redor de 25 °C), pois a  $T_g$  média, de 36 °C, está acima desta temperatura. Durante a secagem, a temperatura do grão aumentará bastante, aproximando-se rapidamente da temperatura do ar de secagem e o material passará por uma transição da região vítrea para amorfa (Cnossen et al., 2000). A temperatura buscará igualar-se ao longo do grão inteiro em aproximadamente 2 a 3 min (Chen et al., 1999). Dependendo da temperatura do ar de secagem, os grãos, ou regiões dentro do grão, serão vítreas ou amorfas como definido pela sua respectiva  $T_g$ .

Durante a secagem, a superfície dos grãos vai se equilibrando com a umidade do ar de secagem. É especulado-se que a superfície dos grãos possa cruzar a linha da  $T_g$  quando as condições usadas para o ar de secagem resultarem em baixo teor de umidade. Isto resultaria em uma situação na qual a superfície entra em transição retornando ao estado vítreo enquanto o centro dos grãos ainda está no estado amorfo e as diferentes regiões estariam caracterizadas por propriedades mecânicas com diferentes magnitudes (Cnossen et al., 2000).

As  $T_g$ 's de grãos individuais de arroz descascado dos cultivares *Bengal* e *Cipreste*, a diferentes umidades, foram medidas usando um analisador térmico mecânico (TMA). A  $T_g$  aumentou quando a umidade diminuiu. Os coeficientes de expansão volumétrica dos grãos de arroz também foram medidos e demonstraram ser muito mais baixos na região vítrea que na região amorfa. As  $T_g$ 's medidas foram usadas para gerar um diagrama de estado. Em seguida, um processo hipotético de secagem foi traçado sobre o diagrama de estado e uma hipótese foi desenvolvida para explicar a formação de trincas nos grãos durante a secagem. Traçando um processo de secagem hipotético sobre o diagrama de estado do arroz integral

e percebendo as diferenças nas propriedades térmicas e higroscópicas dentro de um grão e relacionando com a  $T_g$  pode ajudar a entender o mecanismo de formação de fissura no arroz (Cnossen et al., 2000).

#### *1.2.3.4 - Efeitos da $T_g$ e do gradiente de umidade na quebra dos grãos*

Yang et al. (2000) pesquisaram o efeito da temperatura de transição vítrea  $T_g$  e do gradiente de umidade no interior do grão com relação à variação do rendimento de arroz inteiro durante a secagem. Os resultados mostraram que o gradiente de umidade máximo existiu ao longo do eixo curto do grão de arroz. Altos gradientes de umidade produzidos devido ao alto teor de umidade inicial dos grãos e a alta temperatura do ar de secagem resultaram na redução do rendimento de inteiros. Na região vítrea abaixo da  $T_g$ , a secagem do arroz não produziu redução mensurável do rendimento de arroz inteiro mas na secagem acima da  $T_g$ , na região amorfa, verificou-se uma marcada diminuição no rendimento de arroz inteiro após a secagem. Observou-se que quando as temperaturas de secagem estavam abaixo da temperatura de transição vítrea e a secagem transcorreu na região vítrea, o rendimento de arroz de inteiros reduziu pouco com o aumento da duração da secagem. Quando a secagem entrou na região amorfa, lá existiu um limite de duração da secagem além da qual o rendimento de arroz inteiro incorreria numa diminuição drástica. Este limite de duração de secagem coincidiu com período de ocorrência do gradiente de umidade máximo. Este estudo também sugeriu que o máximo gradiente de umidade desempenhou um papel importante, regulando a tendência de rendimento de arroz inteiro quando a secagem se realizou na região amorfa.

#### *1.2.3.5 - Degradação mecânica do arroz em casca durante a secagem*

A taxa de evaporação é o principal fator responsável pela redução da qualidade do grão, quando esta permanece baixa durante a secagem, o rendimento de arroz inteiro não é afetado pelas altas temperaturas (Archila et al., 1998). As condições de secagens (tempo, temperatura e umidade relativa do ar de secagem) afetam o rendimento de arroz inteiro (Chen et al., 1997). (Archila et al., 1998) relatam que a temperatura do ar sozinha não pode explicar a degradação de qualidade do arroz observada durante a secagem, mas é notável uma forte interação entre a temperatura do ar e a capacidade de evaporação no rendimento de grãos inteiros. Além disso, poderiam ser desenvolvidos gradientes de umidade não

desprezíveis durante a secagem e trincas poderiam ser resultado da desidratação desigual do grão.

#### 1.2.4 - Características individuais dos grãos de arroz

Bautista et al. (2000a) mediram o teor de umidade e a distribuições de tamanho dos grãos individuais colhidos em uma panícula, (ramo da planta onde são formados os grãos), para três cultivares de arroz (*Bengal*, *Cypress* e *Drew*) colhidos em dois locais (Universidade de Pesquisa de Arkansas e Centros de Extensão de Stungart e Keiser, AR, EUA) durante o outono de 1998. O objetivo foi caracterizar o teor de umidade e as distribuições de tamanho dos grãos individuais de uma panícula como uma fonte de informação fundamental para aperfeiçoar processos de colheita, secagem e beneficiamento. O desvio padrão dos grãos de uma panícula diminuiu com o aumento do teor de umidade. A distribuição estatística dos tamanhos dos grãos individual para arroz em casca e descascado não foi do tipo normal e foram diferentes para os três cultivares testados. As propriedades inerentes a um grão de arroz, como as propriedades físico-químicas, deveriam ser entendidas claramente para poder obter o máximo de rendimento de arroz inteiro durante o beneficiamento. Porém, a variabilidade das propriedades físico-químicas do arroz apresenta dificuldades na preservação da qualidade do arroz. O teor de umidade e a distribuição de tamanho individuais dos grãos de arroz variam bastante e influenciam o processamento e operações de manuseio. Algumas das propriedades inerentes são direta ou indiretamente afetadas pelo clima como também pelas práticas agrícolas aplicadas durante o crescimento. Por exemplo, a formação de fissuras no grão de arroz afeta a sua qualidade de beneficiamento. Estudos mostraram que a formação de fissura é afetada pelo tamanho dos grãos de arroz e pela taxa de transferência de umidade durante a secagem.

Siebenmorgen (1998) declarou que "a maneira na qual o arroz responde a um tratamento de pós-colheita é ditada pela resposta coletiva dos grãos individuais que seria de esperar que variasse com a composição individual e propriedades físicas de cada grão". Para minimizar ou prevenir perdas devido a fissuras nos grãos de arroz, a aplicação de condicionamento apropriado de ar durante secagem ou armazenamento deveria ser aperfeiçoado. Os estudos do teor de umidade de grãos individuais e da distribuição de tamanho dos grãos de diferentes cultivares de arroz são necessários para gerar informações

fundamentais, úteis para o aperfeiçoamento da operação de secagem e manutenção da qualidade do arroz beneficiado pelo entendimento de quais grãos trincam e quebram durante o processo de secagem e beneficiamento (Bautista, 2000a).

Uma grande variação no teor de umidade pode existir entre os grãos em uma mesma planta e entre plantas em um campo (Chau & Kunze, 1982). Eles observaram que o arroz com umidade média de 22 % na colheita tem menos de 10 % de diferença de umidade nas panículas mais maduras (ou seja, completamente desenvolvidas) e diferença maior que 10 % nas panículas mais verdes (imaturas, ou seja, ainda em desenvolvimento). Variações de até 46 % foram observadas entre grãos do topo da panícula mais madura para a base da panícula mais verde. Eles chegaram a conclusão que quanto mais tempo o arroz é deixado no campo, maior a probabilidade que os grãos com mais baixo teor de umidade se federam antes de serem colhidos. Kunze (1986) notou que as amostras de arroz retiradas no campo eram usadas para determinar o teor de umidade dos grãos antes da colheita. Esta medida de umidade implicava que todos os grãos estivessem na umidade medida, mas os grãos podiam variar de secos até quase a umidade de armazenamento para úmidos e ainda na fase de formação.

Desikachar et al. (1973) observaram durante a colheita de arroz a umidade média de 25 % e que o arroz no topo (1 % da panícula) estaria a uma umidade mais baixa e teria rendimento de arroz inteiro ligeiramente inferior que o máximo. Os grãos de arroz na parte restante da panícula estariam a uma umidade ligeiramente mais alta e produziram máximo rendimento de arroz inteiro. Isto indica que a variação de umidade dos grãos no campo tem um impacto na umidade média ótima para a colheita, evitando o efeito de re-umedecimento (adsorção) devido a mistura de grãos com alta umidade juntos com os de baixa umidade. Os autores mediram a umidade individual dos grãos em uma panícula e observaram que a variação do teor de umidade nos grãos individuais diminuía quando o teor de umidade geral diminuiu. McDonald (citado em Bautista 2000a) também registrou que a variação de umidade dos grãos de arroz em uma panícula tem oscilações de até 10 pontos percentuais. Os grãos mais secos poderiam alcançar um teor de umidade extremamente baixo que poderia resultar em trincas e quebras quando exposto ao ar úmido durante a maturação. Kasahara & Ino (1988) estudaram a distribuição de umidade nos grãos individuais de um

individuais de um cultivar de arroz japonesa contida numa caixa de secagem a granel. Os resultados indicaram que as distribuições de umidade na colheita variaram em até 10 %.

A espessura dos grãos afeta as distribuições de umidade e a resistência mecânica dos grãos. Wratten et al. (citado em Bautista 2000a) mostraram que as espessuras médias dos grãos de arroz em casca diminuíram com a diminuição do teor de umidade de equilíbrio. Matthews et al. (1982), nos estudos com arroz de grãos médios (cultivar *Nato*) e grãos longos (cultivares *Lebonnet* e *Labelle*), observaram que os conteúdos de umidade geral entre as frações grossas e finas variaram de 0,6 a 3,5 pontos percentuais. Para amostras de arroz recém colhido, os grãos mais finos tiveram teor de umidade médio mais alto que os mais grossos. Eles sugeriram que a espessura dos grãos pode ser uma base efetiva para separar os grãos de arroz de forma que a variação de umidade dentro das porções separadas seja reduzida enormemente. Isto poderia melhorar o processo de secagem minimizando a formação de fissuras nos grãos de arroz.

As distribuições de espessura têm um pouco de efeito na formação de fissura nos grãos de arroz individuais. Matthews et al., (1982) observaram que os grãos mais grossos e mais finos tiveram porcentagem significativamente mais alta de trincas (fissuras) e de grãos quebrados que os de dimensão intermediária. Possivelmente os grãos mais finos eram menos maduros e se quebraram como resultado de baixa resistência do grão enquanto os grãos mais grossos tiveram provavelmente o mais baixo teor de umidade e ficaram mais suscetíveis às quebras pelo re-umedecimento dos grãos à umidade abaixo do limiar de re-umedecimento seguro.

#### 1.2.5 - Aplicação de microondas para aumentar o rendimento de arroz inteiro

Roberts (1977) desenvolveu experimentos com amostras de arroz dos cultivares *Pearl* e *Calrose*, as quais foram hidratadas até atingirem o teor de 30 a 34 % de umidade, uma parte à temperatura ambiente e outra à 66 °C, e a seguir levadas ao protótipo do secador a microondas, onde foram aquecidas para gelatinização do amido e secas até atingir 10 a 12 % de umidade, com tempo de residência no equipamento de 2 a 5 minutos. As Tab. 1.3 e Tab. 1.4 mostram os efeitos do tempo e da temperatura de hidratação e aquecimento por microondas na gelatinização.

Tabela 1.3 - Resultados do tratamento do arroz por microondas

Cultivares de Arroz	Tempo hidratação	Temperat. hidratação	Umidade (%)	Tempo aplic. M.O. (min)	Comentários
Pearl	2 h	66 °C	32	2 - 5	boa gelatinização
Pearl	16 h	ambiente	33	5	boa gelatinização
Calrose	24 h	ambiente	34	1 - 5	boa gelatinização
Calrose	6 h	ambiente	26	1 - 5	gelatinização pobre
Calrose	1 h	ambiente	20	1 - 5	gelatinização pobre
Calrose	5 min	ambiente	18	1 - 5	gelatinização pobre

Fonte: (Roberts, 1977)

Tabela 1.4 - Resultado comparativo dos tratamentos do arroz por microondas

Cultivares de Arroz	Tempo de hidratação	Temperat. hidratação	Tempo M.O. (min)	Rendim. benefic. total (%)	Rendim. benefic. grão (%)	Comentários
Pearl	2 h	66 °C	2	77	70	boa gelatinização
Pearl	16 h	ambiente	5	76	66	boa gelatinização
Calrose	24 h	ambiente	5	77	66	boa gelatinização
Pearl natural	-	-	-	71	62	-
Calrose nat.	-	-	-	74	55	-

Fonte: (Roberts, 1977)

Marsaioli (1991) no desenvolvimento do protótipo de um secador cilíndrico rotativo com aplicação de microondas, realizou testes preliminares, com a finalidade de avaliação do desempenho operacional do sistema com o arroz em casca. Antes da aplicação de microondas o arroz sofreu um tratamento de hidratação, semelhante àquele conduzido na etapa de maceração do arroz parboilizado pelo processo convencional, aonde foi escolhida, com base nos dados experimentais de Martinez (1984), a temperatura de 70 °C para a imersão em água potável e tempo de 180 minutos para uma umidade mínima de hidratação do arroz em casca de 30 %. Após este procedimento a umidade do produto atingiu cerca de 32,4 %. O produto foi então cuidadosamente drenado e ventilado para secagem da umidade superficial da casca. Conduziu-se três ciclos operacionais, que foram diferenciados quase que exclusivamente pela intensidade de aplicação da potência de microondas sobre o material. Uma quantidade de ar quente a 40 °C (0,5 m<sup>3</sup>/min) foi feita circular em contra

corrente a fim de facilitar o arraste da umidade oriunda da secagem do produto. Foram estudados basicamente os efeitos dos tratamentos por microondas, tendo-se observado, embora somente de modo qualitativo, o grau de gelatinização do amido dos grãos, assim como os efeitos sobre a secagem do produto e o beneficiamento padronizado de amostras secas, mediante o processamento das mesmas em um beneficiador de laboratório marca SUZUKI, modelo MT81.

A Tab. 1.5 resume as condições operacionais dos três ciclos, e fornece algumas indicações preliminares dos efeitos obtidos sobre as amostras tratadas (Marsaioli, 1991).

Tabela 1.5 - Resultados do processamento por microondas

CONDIÇÕES OPERACIONAIS	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo III
Vazão Mássica ( kg/h )	7,0	<5,0	12,2
Potência Incidente ( kW )	4	4	5
Frequência de M.O. (MHz)	2450	2450	2450
Tempo de Residência ( min. )	2	2	2
Razão de Potência (Ref./Trans.)	<10	15-20	<10
Temperatura da Amostra ( °C )	18/40	18/45	18/46
Variação da umidade ( % )	19,7	--	13,1
Quebras no Beneficiamento ( % )	11,44	3,56	4,76

Fonte: Marsaioli, (1991).

Pela observação da aparência dos grãos tratados, pôde-se constatar o aspecto da gelatinização quase total do amido do grão, notadamente com a amostra III, tratada a 5 kW, que redundou em um percentual de quebra bem baixo, conseqüentemente em um rendimento de grãos inteiros elevado, após o beneficiamento. O material, para este mesmo tratamento, mostrou-se com uma umidade final adequada para o beneficiamento. O fato animador é que obtida a parboilização do arroz em um tempo significativamente mais curto que aqueles normalmente vigentes nos processos convencionais, ou seja, nesta nova proposta de processamento os tempos são da ordem de minutos, enquanto que nos processos convencionais têm-se ordens de grandeza de horas (Marsaioli, 1991).

Rocha (1998) estudou os efeitos da aplicação da energia de microondas para a parboilização de arroz, na etapa de gelatinização do amido, em substituição à autoclave utilizada no processo convencional. Foram estudadas as condições de processamento que resultaram no maior rendimento de grãos inteiros, atuando principalmente na temperatura

máxima alcançada pelos grãos durante o processamento e o tempo de residência nesta temperatura. O melhor resultado no aumento de rendimento de arroz inteiro para o cultivar de arroz *IAC165* foi obtido na temperatura de 95 °C e no tempo de residência de 1 min após rampa de aquecimento de 3 min. Na realização dos experimentos partiu-se de arroz com umidade inicial de 11,2 % que foi macerado a 70 °C por 210 minutos (3:30 horas) e centrifugado, para remoção do excesso de água na superfície dos grãos, elevando assim a umidade do arroz para 28,0 %. Nestas condições o arroz foi tratado pelo aquecimento por microondas de acordo com as condições listadas na Tab. 1.6.

Tabela 1.6 - Resultados dos tratamentos para o arroz *IAC 165*

ENSAIOS	TEMPO	TEMPERATURA	RENDIMENTO
1	1 min + 3 min (rampa)	85 °C	58,8 %
2	3 min + 3 min (rampa)	85 °C	64,2 %
3	1 min + 3 min (rampa)	95 °C	67,0 %
4	3 min + 3 min (rampa)	95 °C	59,9 %

Fonte: Rocha, (1998).

Considerando que a amostra de controle, arroz sem tratamento apresentou 60,9 % de rendimento de inteiros, o arroz tratado por microondas na melhor condição de tratamento (95 °C por 1 min.) resultou em 67,0 % de rendimento, ou seja, um aumento de 6,1 % com relação ao arroz sem tratamento (controle). Isto demonstra que efetivamente o tratamento por microondas pode ser utilizado para aumentar o rendimento de grãos inteiros do arroz (Rocha, 1998).

### 1.3 - Tecnologia de microondas

Atualmente tem-se buscado um constante aprimoramento nos processos produtivos com o objetivo de melhorar a qualidade dos produtos e reduzir os custos de produção, o que está sendo feito pelo desenvolvimento de novas tecnologias, que até agora não foram exploradas ao máximo de seu potencial. Entre outras, encontra-se a técnica da aplicação de microondas. Estas podem ser vantajosas quando aplicadas aos processos de aquecimento e secagem, em virtude de algumas características específicas, tais como a sua instantânea penetração no produto tratado, com rápida conversão da energia eletromagnética em calor. Isto se traduz em tempos de processamento mais reduzidos e propicia características

tecnológicas únicas, pois aquece o material de forma global, não somente da superfície para o centro como também promove uma absorção seletiva das microondas pelas zonas mais úmidas, que se converte em aquecimento e umidade final mais uniformes. Assim alcança-se a melhoria da produtividade do processo e também da qualidade do produto.

### 1.3.1 - Ondas eletromagnéticas

Uma onda eletromagnética é a forma pela qual a energia se propaga por meio de campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo, que estão mutuamente relacionados, e é um fenômeno de propagação que não requer suporte material, ou seja, pode se propagar no vácuo. As microondas são um tipo energia que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas.

### 1.3.2 - Espectro de frequências eletromagnéticas

Atualmente convencionou-se chamar de microondas as frequências compreendidas na faixa entre 300 MHz a 300 GHz (comprimento de onda entre 1 m e 1 mm), sendo que as frequências de microondas permitidas para a utilização em aquecimento, nas áreas industrial, científica e medicinal (ISM), são:  $915 \pm 25$  MHz,  $2.450 \pm 50$  MHz,  $5.800 \pm 75$  MHz e  $24.225 \pm 125$  MHz. Mas na prática somente as frequências de  $915 \pm 25$  MHz e  $2.450 \pm 50$  MHz têm sido utilizadas (Decareau, 1985).

### 1.3.3 - Como as ondas eletromagnéticas produzem calor

Existem vários mecanismos em escala molecular e atômica para a conversão de energia de microondas em energia térmica. Para Shiffmann (1987), nos mecanismos de aquecimento de alimentos por microondas, apenas a migração iônica e a rotação polar são de maior importância. No primeiro mecanismo, os componentes ionizados colidem aleatoriamente com moléculas não ionizadas quando submetidos a um campo elétrico. A energia elétrica destes íons é convertida em calor durante as colisões (Owusu-Ansah, 1991). No mecanismo de aquecimento pela rotação dipolar, moléculas polares como a água e outras moléculas (que podem se tornar “dipolos induzidos” devido às tensões causadas pelo campo elétrico) são influenciadas pela rápida mudança de polaridade deste campo.

### 1.3.3.1 - Momento dipolar

Ao ser aplicada uma diferença de potencial elétrico entre duas placas metálicas inicialmente descarregadas, como indica a Fig.1.9a, a molécula polar inclinada, em relação às paredes da placa será imediatamente orientada desviando-se da posição inicial, como mostra a Fig.1.9b.

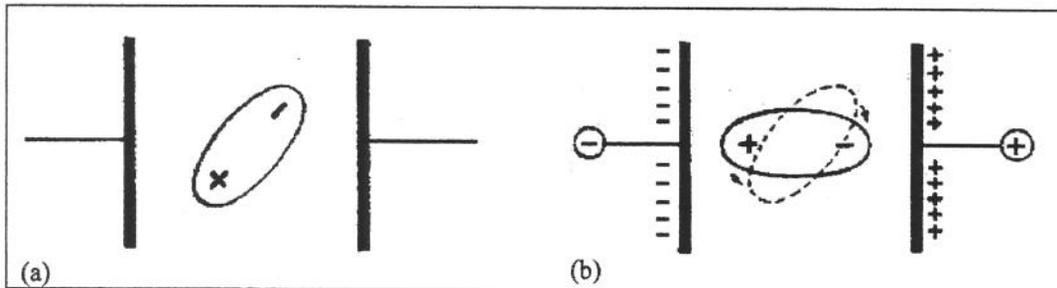


Figura 1.9 - (a) Molécula polar orientada em uma direção qualquer; (b) Molécula polar orientada segundo a direção do campo elétrico

### 1.3.3.2 - Constante dielétrica

Um capacitor constituído de duas placas planas que recebem cargas elétricas quando as mesmas são submetidas a uma tensão “U”, entre as placas encontra-se uma substância isolante que constitui o “meio” do capacitor. Este dispositivo armazena energia elétrica. Quanto mais polar e mais moléculas tiver o “meio”, maior será a energia acumulada, pois as moléculas polares ocupam o espaço entre as placas, mas não possuem uma orientação direcional enquanto as placas estão descarregadas como indica a Fig. 1.10.

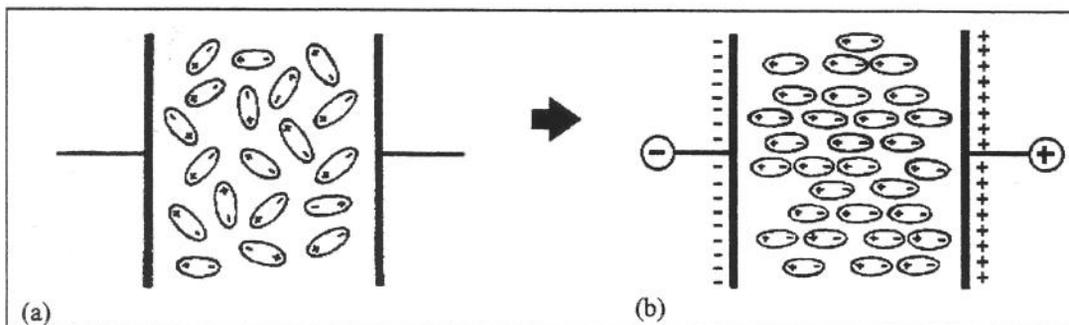


Figura 1.10 - Moléculas polares: (a) entre placas descarregadas; (b) entre placas carregadas

No momento em que aparecem as cargas nas placas, as moléculas polares exigem uma energia para sua orientação. Isto significa maior acúmulo de energia no sistema e, dizemos que esse meio possui uma constante dielétrica ( $\epsilon$ ) elevada. Se a substância

colocada entre as placas for polar, trata-se de um material de elevada constante dielétrica ( $\epsilon$ ). No sistema eletrostático (C.G.S.) foi tomado convencionalmente ( $\epsilon = 1$ ) para o vácuo. Os valores de ( $\epsilon$ ) para outras substâncias foram calculados em relação ao do vácuo (Feltre & Setsuo, 1989).

#### *1.3.3.3 - Mecanismo de aquecimento por relaxação molecular*

Quando uma fonte de tensão variável no tempo, por exemplo: uma fonte elétrica de corrente alternada, for aplicada às placas do condensador, os dipolos, normalmente aleatoriamente orientados, tendem a se orientar no campo elétrico. Entretanto, quando o campo se torna nulo (relaxa), as moléculas retornam à sua orientação aleatória e são novamente orientadas em um campo elétrico de polaridade inversa. Esta mudança de polaridade de campo, ocorrendo em uma frequência de bilhões de vezes por segundo, faz com que os dipolos se alinhem e relaxem numa frequência igualmente alta. Isto resulta na geração de calor por atrito molecular (Mudgett, 1989).

#### 1.3.4 - Propriedades dielétricas dos alimentos

O aquecimento de alimentos por microondas, nas frequências geralmente empregadas no processamento industrial dos alimentos (915 e 2.450 MHz), resulta do acoplamento de energia de um campo eletromagnético em uma cavidade de microondas. Essas interações levam à geração de calor instantânea dentro do produto devido ao “atrito molecular”, primariamente por causa da ruptura de pontes de hidrogênio fracas associadas com a rotação dos dipolos de moléculas de água livre e com a migração eletroforética de sais livres em um campo elétrico de polaridade rapidamente variável. Esses efeitos estão predominantemente relacionados com os constituintes iônicos aquosos dos alimentos e seus constituintes sólidos associados e de sua dissipação dentro do produto. Isto resulta em elevação de temperatura instantânea dentro do produto, em contraste com os processos de aquecimento convencionais que transfere energia da superfície, com constantes térmicas de tempo longas e lenta penetração de calor (Buffler, 1992).

Os alimentos, de modo geral, podem ser visualizados como dielétricos de capacitores não ideais no sentido que eles possuem a habilidade de armazenar e dissipar a energia elétrica de um campo eletromagnético, através de um conjunto de propriedades dielétricas expressa em notação complexa com uma componente real, constante dielétrica, e

uma componente imaginária, perda dielétrica. Tais materiais não interagem com o componente magnético do campo por causa da sua baixa permeabilidade magnética. Eles são, além disso, geralmente isolantes pobres, porque dissipam quantias consideráveis de energia elétrica, acoplada através de mecanismo de relaxação e condução relacionados primariamente à água livre e ao teor salino, como calor gerado internamente (Jones, 1986).

As propriedades dielétricas de um material são definidas pelas equações, (Von Hippel, 1995):

$$\epsilon^* = \epsilon' - j \cdot \epsilon'' = |\epsilon^*| \cdot e^{-j\delta} \quad (01)$$

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (02)$$

onde:  $\epsilon^*$  - permissividade complexa

$\epsilon'$  - permissividade ou constante dielétrica

$\epsilon''$  - fator de perda dielétrica

Essas propriedades elétricas básicas determinam a extensão da reflexão e transmissão de energia nas superfícies do produto e absorção de energia dentro do produto. As propriedades dielétricas básicas dos alimentos serão consideradas primariamente em termos dos fenômenos de relaxação e condução, como função da frequência, temperatura, composição química e estrutura física (Von Hippel, 1995).

### 1.3.5 - Características de aquecimento por microondas

A absorção de potência e intensidade de campo dentro dos produtos alimentares variam com a profundidade a partir da superfície sob condições que estão continuamente variando com a temperatura durante o curso da irradiação. Em concordância com isto, o fator de perda dielétrica  $\epsilon''$  varia, não somente de uma região do produto para outra, mas também dentro de um segmento particular do produto conforme a temperatura aumenta pelo aquecimento gerado pelas microondas (Buffler, 1992).

O calor gerado dentro do produto pelo acoplamento de energia elétrica do campo está sujeito aos mecanismos convencionais de transferência de calor por condução interna, convecção superficial e evaporação de umidade, mediadas pelas propriedades térmicas e de transporte do produto. Essas propriedades físicas também dependem da temperatura, e

assim variam com o tempo durante o período de aquecimento (Goldblith, citado por Buffler, 1992).

A potência acoplada pelo produto é atenuada (ou seja, absorvida) a profundidade relativamente curta da superfície a 2450 MHz, dependendo da umidade do produto. As profundidades atingidas são 2,5 vezes maiores a 915 MHz na umidade correspondente. Assim o efeito prático de processar a frequências menores é o de aumentar a espessura permitível para o aquecimento uniforme dos produtos com teores de umidade similares.

### 1.3.6 - Propriedades térmicas dos alimentos

De acordo com Decareau (1985) as características de aquecimento dos alimentos tratados por microondas depende de suas propriedades térmicas, em maior ou menor extensão, de acordo com o teor inicial de umidade do produto, e da taxa de evaporação da umidade durante o processo de aquecimento. A propriedade térmica de interesse básico, como nos métodos de aquecimento convencionais, é a difusividade térmica  $\alpha_T$  definida pela relação:

$$\alpha_T = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (03)$$

onde:

$k$  : condutividade térmica [W/mK]

$\rho$  : densidade [kg/m<sup>3</sup>]

$c_p$  : capacidade calorífica [J/kgK]

Além da propriedade mecânica densidade ( $\rho$ ), em conjunto com as duas propriedades térmicas ( $k$  e  $c_p$ ), determinam como o produto alimentar aquece após a energia de microondas ter sido depositada sobre ele, sendo que a capacidade calorífica ( $c_p$ ) determina a rapidez com que o alimento se aquece uma vez que a energia de microondas é aplicada.

### 1.3.7 - Técnicas envolvidas nos sistemas provedores de microondas

#### 1.3.7.1 - Elementos constituintes de um sistema de microondas

Para o aproveitamento da energia das microondas é preciso existir um sistema que vai gerar a energia, conduzindo-a para um aplicador, mo qual a potência pode ser dissipada

no produto a ser aquecido. Um sistema generalizado pode ser composto por um conjunto de componentes, cuja configuração geral foi esquematizada por Conforti & Tejo (citado em Marsaioli, 1991) e está mostrado na Fig. 1.11

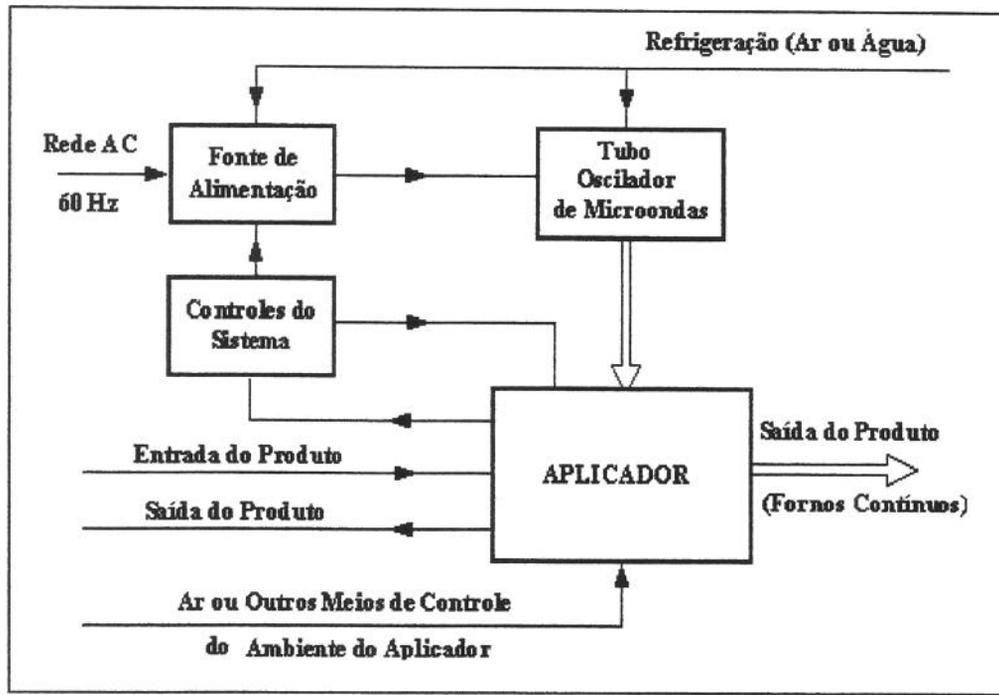


Figura 1.11 - Diagrama de um sistema genérico de aquecimento por microondas

Este sistema é composto basicamente de oito partes principais:

- Fonte de Alimentação:* fornece as tensões e correntes para o funcionamento do gerador de microondas.
- Gerador de Microondas:* é um oscilador que converte a energia elétrica fornecida pela fonte de alimentação em energia de microondas em uma faixa das frequências ISM.
- Secção de Transmissão:* propaga, irradia ou transfere a energia gerada pelo oscilador para o aplicador.
- Acoplamento:* permite a transferência mais eficiente da energia de microondas para o aplicador.
- Cavidade, de aplicação de microondas:* é um volume limitado por paredes metálicas no interior do qual se processam a interação material / microondas.

- f) *Agitador de Campo*: refletor metálico giratório no interior da cavidade, que modifica as condições de contorno periodicamente, objetivando uniformizar a distribuição de energia dentro dela.
- g) *Porta ou Abertura com Blindagem Eletromagnética*: permite um fácil acesso ao interior do aplicador e deve limitar a emissão eletromagnética para o meio ambiente ao nível máximo permitido por lei.
- h) *Controles de Operação e Segurança*: permitem selecionar as condições de aquecimento, a interrupção do fluxo de potência e também indicar, por meio de sinal audível e/ou visual, o final do ciclo de processamento.

É necessário prover os meios para a refrigeração do oscilador, dos transformadores e de quaisquer outros componentes elétricos que dissipem calor. Finalmente, é comum equipar o sistema com exaustores, para a extração dos vapores eventualmente gerados no interior do aplicador.

#### 1.3.7.2 - Eficiência de um Forno de Microondas

Para um forno com especificação de corrente (I) de 13,3 ampères (A) a uma voltagem (V) de rede de 120 volts (V), a potência retirada da tomada é de  $P = VI$ , ou 1596 W. Esta potência é conhecida como potência de entrada do forno. Se o teste com um béquer de água determinar que a potência de saída do forno é de 700 W, a eficiência de transferência de potência da tomada da rede para a água será de  $700/1596 = 0,44$  ou 44 %, este valor poderia parecer surpreendentemente baixo, já que se admite que os fornos de microondas sejam bastante eficientes quando comparados à faixa dos convencionais. Em realidade, são comuns eficiências ao redor de 50 % para os processos com microondas, seja de um forno doméstico ou de um sistema industrial. A Fig. 1.12 ilustra o fluxo de potência em um forno de microondas típico. A maior parte da potência é dissipada como calor do magnetron, de modo que um ventilador ou soprador torna-se necessário em todos os fornos de microondas. Uma quantidade menor de calor é gerada pelo transformador, pela lâmpada, e circuito eletrônico quando aplicável. Uma vez que a potência de microondas é gerada, a transferência de energia para a carga pode ser bastante eficiente, de até 85 a 95 % para cargas de grandes volumes (Buffler, 1992).

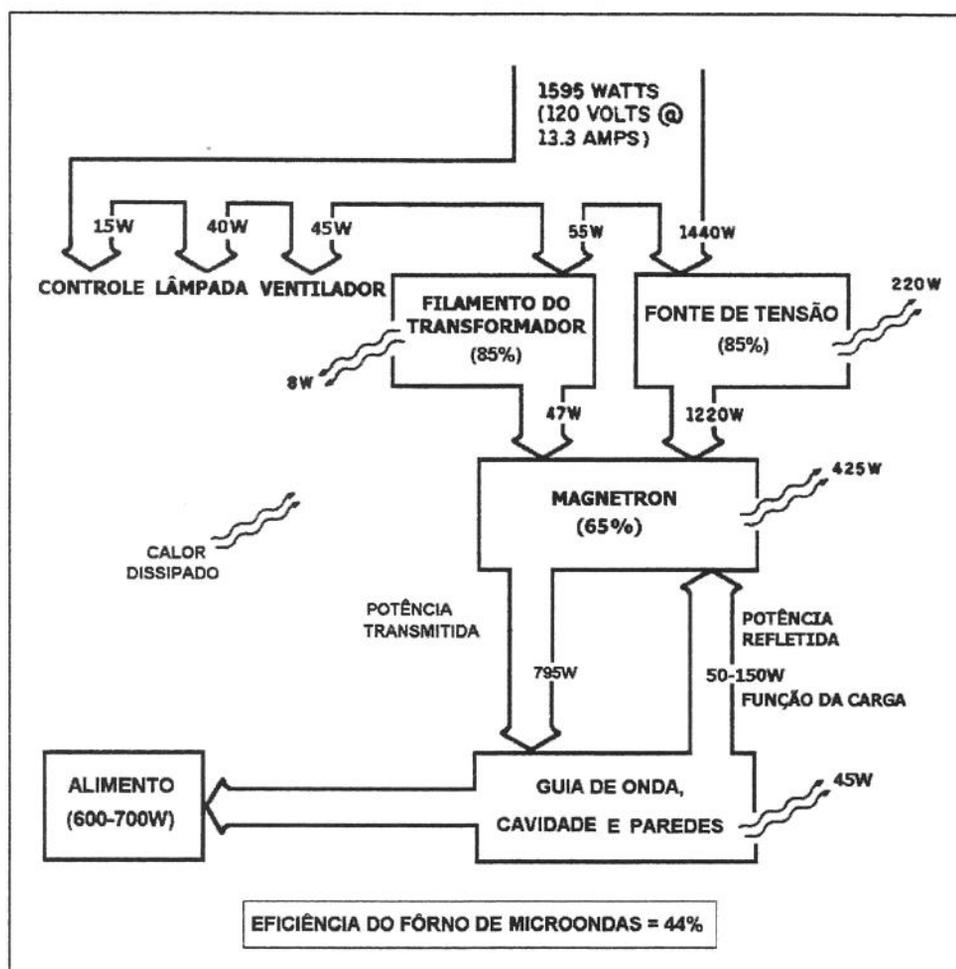


Figura 1.12 - Diagrama de distribuição de potência em um sistema aquecimento por microondas (Buffler, 1992)

### 1.3.8 - Medida dos parâmetros do produto durante o processamento

O monitoramento dos parâmetros do produto enquanto segue o aquecimento por microondas é muito importante para obter informações e controlar o processo em tempo real. Infelizmente, as técnicas usuais de medição não são aplicáveis devido às propriedades exclusivas das microondas. As medidas de temperatura, pressão e campo elétrico são desta natureza.

#### 1.3.8.1 - Temperatura

As técnicas convencionais, tais como termopares, para a monitoração da temperatura em um forno de microondas, são difíceis, se não impossíveis, para uma implementação confiável. A necessidade de se usar fios de arame invariavelmente produz

arcos e chamuscamentos. Os fios também perturbam o campo elétrico e distorcem o padrão de aquecimento. Além disto, os modernos monitores eletrônicos dos termopares podem ser gravemente desregulados ou danificados pela interferência das microondas transmitidas pelos cabos ao instrumento. A medida da temperatura sob as condições das microondas foi bem solucionada pelo uso de sensores de fibra óptica. As fibras são pequenas e virtualmente invisíveis às microondas. Estas também produzem distorção térmica desprezível no produto medido. Tecnologias diferentes têm sido utilizadas, mas todas usam um material na ponta da fibra que possui uma propriedade óptica que se altera com a temperatura. Este material da ponta é analisado por um pulso ou feixe de luz que se propaga pela fibra partindo do instrumento. A luz que retorna da ponta sensível à temperatura é comparada com a luz incidente e analisada para obtenção da informação da leitura de temperatura. Um trabalho de revisão da tecnologia das fibras ópticas foi preparado por Wickersheim & Sun (1987).

#### *1.3.8.2 - Pressão*

Para aplicações em que necessitam determinar o valor da pressão, tais como o processamento (esterilização) com superaquecimento e alta-temperatura, foi desenvolvida uma tecnologia de fibras ópticas. Neste tipo de instrumentação, uma cavidade miniatura selada é fixada na ponta de uma fibra óptica. A parte terminal da mini-cavidade consiste de um diafragma exposto ao ambiente. Uma mudança na pressão externa com respeito à pressão interna da cavidade causa uma deflexão do diafragma. O diafragma da cavidade é analisado por um feixe de luz transmitido através da fibra a partir do instrumento. A mudança da qualidade espectral do sinal refletido em relação ao sinal transmitido é uma medida da deflexão do diafragma e assim, da pressão. Uma revisão desta tecnologia foi feita por Saaski et al. (1986).

### **1.4 - Efeitos da armazenagem nas propriedades do arroz**

A armazenagem do arroz é um passo normal entre a colheita e o consumo e é exigida para alterar certas propriedades físico-químicas do arroz (envelhecimento natural), melhorando algumas características do arroz como, por exemplo, a pegajosidade dos grãos, modificando-o de um produto aglutinante e pegajoso para um relativamente soltinho após o cozimento (Chrastil, 1994). O estudo das alterações na armazenagem é importante na

determinação da qualidade de beneficiamento, cozimento e culinária dos grãos de arroz, pois são afetadas pelo envelhecimento (Kunze & Wratten, 1985; Juliano, 1985d; Webb, 1991; Kohlwey, 1994).

As alterações devido à armazenagem (envelhecimento) do arroz têm sido estudadas por muitos pesquisadores (Villareal et al., 1976; Yamatsu & Moritaka, 1979; Baldi et al., 1977; Pushpamma & Reddy, 1979; Shibuya, 1980; Perez & Juliano, 1981; Fedorova et al., 1982; Shin et al., 1986; Tsugita et al., 1983; Tani et al., 1983; Ohta et al., 1990; Chrastil, 1989; 1992; 1994). Apesar de ter sido objeto de muitos estudos o mecanismo exato de envelhecimento do arroz ainda não está completamente entendido, segundo Juliano (1985d) e mais recentemente Chrastil (1994).

#### 1.4.1 - Alterações nas propriedades físicas do arroz devido à armazenagem

Perdon et al. (1997) estudaram os efeitos da umidade, da temperatura e do tempo de armazenagem do arroz em casca nas propriedades de pasta (viscoamilográfica) e de cozimento do cultivar de arroz *Bengal* (grãos médios). Amostras do arroz com 8,8 %, 10,7 %, 12,9 % ou 13,6 % de umidade foram armazenadas por até 6 meses nas temperaturas de 3 °C, 20 °C ou 37 °C. As propriedades amilográficas do arroz alteraram-se com a duração e temperatura da armazenagem do arroz em casca, e também com o teor de umidade. A viscosidade de pasta do arroz cozido aumentou com o aumento no tempo de armazenagem; os maiores aumentos na viscosidade ocorreram no arroz armazenado a 37 °C. Independente do teor de umidade, durante os 3 primeiros meses de armazenagem a 20 ou 37 °C, o valor do pico de viscosidade (PV) aumentou de 30 a 50 %. Durante os períodos mais longos de armazenagem, os efeitos do teor de umidade no PV tornaram-se evidentes; no arroz armazenado com 12,9 % ou 13,6 % de umidade os valores de PV nivelaram-se após 3 meses, e para o arroz armazenado com 8,8 % ou 10,7 % de umidade os valores de PV's declinaram. A absorção de água pelo arroz durante o cozimento aumentou com a duração da armazenagem e com aumento da temperatura. Perdon et al. (1997) concluíram que o teor de umidade na armazenagem afeta significativamente as propriedades funcionais do arroz e que as interações entre a umidade, o tempo e a temperatura de armazenagem também são significativas, sugerindo que o envelhecimento do arroz seja um processo complexo.

Kunze & Chouldhury (1972) observaram que a resistência dos grãos à tensão aumenta durante a armazenagem. Por exemplo, o arroz *Bluebelle* integral aumentou a resistência à tensão de 76,0 kg/m<sup>2</sup> em um mês após a colheita para 84,2 kg/m<sup>2</sup> em três meses. O arroz *Bluebelle* beneficiado aumentou a resistência à tensão em 35 kg/m<sup>2</sup> durante quatro meses de armazenagem. A resistência do arroz integral ao esmagamento e à quebra aumentou durante o envelhecimento. O aumento da dureza é refletido na elevação da resistência ao brunimento durante o beneficiamento e no aumento do rendimento de grãos inteiros do arroz envelhecido de três a seis meses (Villareal et al., 1976; Perez & Juliano, 1981). Alterações na qualidade de cozimento do arroz também foram observadas durante o envelhecimento. Aumentos na expansão volumétrica e absorção de água durante o cozimento foram resultantes do envelhecimento do arroz durante a armazenagem, tanto na forma de arroz em casca, integral ou beneficiado (Perez & Juliano, 1981). Muitos estudos também relataram um decréscimo no teor de sólidos solúveis na água de cozimento (Barber, 1972; Shibuya et al., 1974; Villareal et al., 1976; Swamy et al., 1978; Pushpamma & Reddy, 1979). Swamy et al. (1978) relataram um aumento na absorção de água com até um ano de armazenagem, após o qual a absorção de água decresce.

Os testes de cozimentos realizados com a temperatura da água abaixo da fervura também mostraram que alterações aconteceram durante a armazenagem. A absorção de água a 80 °C geralmente aumenta durante o primeiro ano, mas cai constantemente quando a absorção de água é medida a 96 °C. A perda de sólidos durante o cozimento a 80 °C também decresce firmemente durante a armazenagem. O nível de amilose solúvel em água a 65 °C também decai durante a armazenagem (Swamy et al., 1978). O arroz envelhecido absorveu menos água a 70 °C que o arroz recém colhido, este resultado provavelmente reflete o aumento na insolubilidade do amido e das proteínas do arroz durante o envelhecimento, resultando em uma menor taxa de cozimento (Juliano, 1985c). Pushpamma & Reddy (1979) reportaram que o tempo de cozimento ótimo para o arroz beneficiado foi de 4 a 6 minutos mais longo após 6 meses de armazenagem que o do recém colhido.

O arroz envelhecido cozido tem a textura considerada mais dura e menor pegajosidade que o arroz recém colhido cozido, quando medido por meios organolépticos (Moritaka et al., 1971a) e com o texturômetro (Shibuya et al., 1974; Hwangbo & Lee, 1976; Okabe, 1979). Ele tem textura com maior dureza medida no texturômetro Instron (Perez & Juliano, 1981). O arroz recém colhido tem maior pegajosidade (maior adesividade) entre os grãos (Kumar et al., 1976; Villareal et al., 1976). Os valores de dureza Instron do arroz cozido de sete amostras de arroz beneficiado armazenados a 30 °C aumentaram de 5,8 para 6,9 kg durante três meses de armazenagem e então se mantiveram constantes (Villareal et al., 1976).

A viscosidade amilográfica da farinha de arroz beneficiado, medida em unidade Brabender (UB), aumentou durante a armazenagem (Barber, 1972; Villareal et al., 1976; Perez & Juliano, 1981) e tendeu a estabilizar depois de três a quatro meses da data da colheita. O arroz armazenado, tanto em casca quanto integral ou beneficiado, todos mostraram a tendência de aumento na viscosidade amilográfica para ambos os tipos de arroz ceroso e não ceroso (Shoji & Kurasawa, 1981). Entretanto, foi observado durante os seis primeiros meses de armazenagem um aumento inicial da viscosidade amilográfica de pico e viscosidade final, seguido de um constante decréscimo durante os três anos subsequentes de armazenagem do arroz tanto em casca quanto beneficiado, como mostrado na Tab. 1.7 (Perez & Juliano, 1981).

Tabela 1.7 - Alterações nas propriedades do arroz devido ao tempo de armazenagem

Período de Armazenagem (meses)	Dureza Instron do Arroz cozido (kg)	Viscosidade Amilográfica		
		Pico (UB)	Final 94°C (UB)	Resfriada 50°C (UB)
0	7,4	541	359	703
1	7,5	592	379	750
2	8,4	620	400	793
3	8,8	652	440	820
4	8,8	649	426	835
5	8,6	678	441	851

Fonte (Perez & Juliano, 1981)

#### 1.4.2 - Alterações químicas do arroz devido à armazenagem

Os conteúdos de amido, amilose e proteínas dos grãos de arroz permaneceram praticamente inalterados (Barber, 1972). Pushpamma & Reddy (1979) observaram que ocorreu algum tipo de hidrólise ou degradação, como também um aumento no teor de açúcares redutores, uma diminuição nos açúcares não-redutores e no amido, e uma redução nos aminoácidos livres (Baldi et al., 1977). Um aumento nos ácidos graxos livres foi relatado pelos pesquisadores (Shibuya et al., 1977; Boilling et al., 1978; Shoji & Kurasawa, 1981a), e também aumentos nos ácidos fenólicos livres (Tsugita et al., 1983) e no pH ou acidez da água de cocção (Shoji & Kurasawa, 1981b).

Os lipídios não-amiláceos (não ligados ao amido) também aumentaram em índice de peróxido (Barber, 1972) e no conteúdo carbonílico (Villareal et al., 1976) e decresceram em valor de iodo durante a armazenagem (Barber, 1972). As alterações foram maiores na fração de 10 % da camada externa (por peso), onde os constituintes não-amiláceos estão concentrados (Barber, 1972). Os lipídios amiláceos (lipídios ligado ao amido) não sofreram oxidação de ácidos graxos insaturados durante a armazenagem, como refletido por sua composição e conteúdo constante de ácidos graxos (Juliano, 1985c).

Além do aumento na quantidade de ácidos graxos livres e índice de peróxidos, os compostos carbonílicos característicos do aroma e sabor “envelhecido” do arroz cozido também aumentaram durante a armazenagem, sendo os acetaldeído, 2-butanona, pentanal e hexanal os compostos carbonílicos voláteis do arroz cozido. Durante a armazenagem a 40 °C, a aparência de sabor “envelhecido” corresponde ao alto nível de propanal, pentanal e hexanal, acompanhados da redução do conteúdo de ácidos linoléico e linolênicos (Juliano, 1985c).

Estudos realizados por Tsuzuki et al. (1981) também mostraram o propanol, pentanal e hexanal como os compostos carbonílicos que mais aumentaram durante a armazenagem. Os resultados sugerem que a oxidação de ácidos graxos insaturados é a fonte de compostos carbonílicos. O hexanal é considerado o maior constituinte do sabor envelhecido do arroz cozido, que aumenta mais que o dobro em 75 dias de armazenagem a 40 °C (Tsugita et al., 1983). A armazenagem de arroz beneficiado a altas temperaturas (>25°C) e altos conteúdos de umidade (>14%) resultou na alteração da cor após o

beneficiamento, resultando no escurecimento do endosperma e também do residual de germe no arroz beneficiado. A alteração de cor do endosperma também pode ocorrer quando o arroz em casca é armazenado a altas temperaturas e alto teor de umidade (Swamy et al., 1978).

O arroz recém colhido parece ser menos digerível que o arroz armazenado, o que pode ser devido à consistência mais pastosa do arroz cozido e seu menor volume de expansão, o que resulta na ingestão de alto teor de matéria seca que leva a problemas de digestão (Juliano, 1985c).

Moritaka & Yasumatsu (1972) relataram que o arroz recém colhido possuía um conteúdo de sulfidrilas mais alto que o envelhecido ou armazenado e que seu conteúdo estava na faixa de 0,8 a 1,5  $\mu\text{eq/g}$  de arroz, contra 1,4 a 2,4  $\mu\text{eq}$  por bissulfeto. A oxidação da cisteína para cistina por ligações cruzadas pode explicar a redução na solubilidade das proteínas durante a armazenagem. Alterações similares são reportadas por Barber (1972). A condensação de compostos carbonílicos com proteínas foi demonstrada por Barber (1972), mas os tratamentos de arroz beneficiado de baixo teor de proteínas com vapor de formaldeídos por 72 horas revelaram decréscimos na viscosidade amilográfica que foram maiores que aqueles para amostras de alta proteína (IRRI, 1970; Juliano, 1985c). Os níveis de enzimas seguem a queda nas proteínas solúveis do grão de arroz:  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase, protease, lipase, peroxidase e catalise (Shibuya et al., 1975; Pushpamma & Reddy, 1979).

A atividade relativamente alta da  $\alpha$ -amilase nos grãos recém colhidos, que decresce durante a armazenagem, tem sido considerada como um possível mecanismo para explicar a pegajosidade do arroz recém colhido após o cozimento. Entretanto a  $\alpha$ -amilase que está concentrada na fração do arroz que é retirada no farelo, assim a atividade da  $\alpha$ -amilase residual no arroz beneficiado é baixa e prontamente inativada durante o cozimento (Shibuya et al., 1977).

A fotólise da cisteína ou cistina na presença de riboflavina produziu sulfeto de hidrogênio, amônia, e acetaldeídos, os quais fazem lembrar o aroma do arroz cozido. A quantidade de sulfeto de hidrogênio foi menor nos voláteis obtido do arroz cozido a partir de arroz armazenado a 40 °C que o obtido do armazenado a 5 °C (Moritaka & Yasumatsu, 1972). Além disso, Sato et al. (1976) encontraram metil mercaptana, sulfeto de dimetila,

bissulfeto de dimetila e dióxido de enxofre nos voláteis de arroz beneficiado além do sulfeto de hidrogênio; os níveis de sulfeto de hidrogênio e sulfeto de dimetila (mais dióxido de enxofre) foram menores no arroz armazenado, enquanto que o de metil mercaptana permaneceu alto (Takahashi et al., 1979). Entre as vitaminas B, a perda de tiamina durante a armazenagem foi muito mais rápida que a perda de niacina e riboflavina (Pushpamma & Reddy, 1979).

#### 1.4.3 - Envelhecimento acelerado e os mecanismos propostos

O envelhecimento acelerado pode ser realizado pelo aquecimento do arroz em casca, integral ou branco polido até 110 °C em recipientes selados sem perda de umidade para evitar a quebra dos grãos. O arroz tratado assemelha-se ao envelhecido naturalmente no comportamento de cozimento e pontuação em painel de análise sensorial, mas difere do arroz parboilizado, pois os grânulos de amido não estão gelatinizados. Resultados similares são obtidos com o arroz integral, onde o aquecimento também aumenta os açúcares redutores e a viscosidade amilográfica, mas reduz a acidez da água de cozimento (devido à volatilização), sem alterações na acidez das gorduras (Juliano, 1985c).

A aplicação de ar quente (150-260 °C) no arroz beneficiado por alguns segundos e o aquecimento do arroz beneficiado imerso em óleo de um dia para o outro a 60 °C reduziram a pegajosidade Instron do arroz cozido (Fellers et al., 1983). O tratamento do arroz em casca por aplicação de vapor por um curto período também foi efetivo na redução da pegajosidade do arroz tratado, medida após o cozimento (Fellers & Dessinger, 1983).

Moritaka & Yasumatsu (1972) propuseram um mecanismo de envelhecimento envolvendo lipídios, proteínas e amido. Os lipídios formam ácidos graxos livres, que podem acelerar a oxidação das proteínas e a condensação seguida de acumulação de compostos carbonílicos voláteis. A oxidação de proteínas, junto com o aumento na força de ligação das micelas do amido, inibem o inchamento dos grânulos de amido e afetam a textura do arroz cozido. A oxidação das proteínas também reduz o nível de compostos sulfurados voláteis. Barber (1972) mostrou que os tratamentos por vapores de formaldeídos reduzem a solubilidade das proteínas no arroz beneficiado. A oxidação de ésteres ferúlicos da fração de hemicelulose das paredes das células durante a armazenagem também contribui para aumentar a resistência dos grãos à desintegração durante o cozimento, como

tem sido demonstrado para os ésteres ferúlicos de pentosanas de trigo (Fausch, citado por Juliano, 1985c).

Experimentos de desengorduramento de arroz beneficiado e farinha de arroz têm sido empreendidos para elucidar o papel dos lipídios nas alterações na armazenagem. O desengorduramento por hexano do arroz beneficiado, que removeu de 72 a 74 % dos lipídios não-polares (gordura bruta) não afetou a sua qualidade de cozimento, mas melhorou o sabor do arroz cozido mais do que do arroz beneficiado não desengordurado de dois cultivares durante a armazenagem por duas e quatro semanas (Moritaka et al., 1971b). A extração de gorduras reduziu o nível de ácidos graxos insaturados, que quando oxidados resulta no sabor e aroma do arroz envelhecido. O desengorduramento por éter de petróleo de duas variedades de arroz recém colhido beneficiado (desengordurado de 82 a 88 %) melhorou a brancura do arroz natural, reduziu a consistência de gel, aumentou a viscosidade amilográfica, e retardou o aumento na dureza do arroz “in natura”, aumentou o teor de ácidos graxos livres e compostos carbonílicos durante a armazenagem a 29°C. Entretanto, teve menor efeito nas seguintes alterações durante a armazenagem: aumento na taxa de absorção de água e redução dos sólidos na água durante o cozimento, redução na pegajosidade do arroz cozido, aumento no pico de viscosidade amilográfica (Villareal et al., 1976). O desengorduramento do arroz beneficiado com solventes orgânicos não-polares não teve efeito no conteúdo de lipídios ligados ao amido (ligação do lipídio ao amido por hidrólise) (Moritaka et al., 1971a). O conteúdo de lipídios não-amiláceos obtido no desengorduramento por hexano afetou a dureza e a adesividade medida no texturômetro do arroz envelhecido após o cozimento (Moritaka, 1971b).

Os resultados contrastantes do desengorduramento com éter dietil ou hexano ou com um solvente mais polar, como 85 % metanol (refluxo), surpreenderam. Entretanto solventes não polares extraem principalmente lipídios não-amiláceos, o que explica a perda de efeito na viscosidade amilográfica. Lipídios amiláceos são principalmente ácidos graxos livres que estão complexados com a amilose, a remoção destes lipídios pelo refluxo de metanol (a 85 %) afetou o amilograma. Yasumatsu (citado por Juliano, 1985c) concluíram que o aumento na viscosidade amilográfica durante a armazenagem é devido principalmente ao aumento de ácidos graxos livres complexados com a amilose. Além

disso, o arroz ceroso (1% amilose) também aumenta a viscosidade amilográfica durante a armazenagem (Villareal et al., 1976; Shoji & Kurasawa, 1981b).

Para verificar a importância do oxigênio no mecanismo de envelhecimento, armazenagens experimentais têm sido realizadas em atmosferas anaeróbicas. Arroz armazenado um ano em nitrogênio ou dióxido de carbono teve menor acidez na extração em água, mas ainda aumentou a acidez das gorduras, conteúdo de peróxidos e açúcares redutores. Seu conteúdo de etanol aumenta relativamente mais que o armazenado em ar (Iwasaki & Tani, citado por Juliano, 1985).

Uma avaliação organoléptica global (palatabilidade) do arroz armazenado em nitrogênio é similar àquele em ar a 20-25 °C por dois anos, refletindo um efeito de envelhecimento. As armazenagens herméticas de arroz beneficiado a 30 °C por três meses, sob vácuo, nitrogênio e dióxido de carbono tiveram menor efeito nos açúcares redutores, gordura acidificada, dureza lida no texturômetro e adesividade do arroz cozido na umidade de armazenagem menor que 14,7 %. Em 15,7 % de umidade na armazenagem, o empacotamento a vácuo mostrou as menores alterações, seguida pelo empacotamento a gás e então pelo empacotamento a ar. Os resultados dos dados indicam que os grânulos de amido e corpos protéicos no endosperma sofrem alterações físico-químicas durante o envelhecimento, fazendo com que o endosperma fique mais duro e mais resistente à desintegração durante o cozimento (Yanai et al., 1979). Entretanto, a preservação da palatabilidade para o arroz cozido durante a armazenagem do arroz integral a 10 °C por dois anos em nitrogênio é superior à dos armazenados em ar. Nenhuma diferença observável na qualidade foi encontrada entre os grãos de arroz integral armazenados em nitrogênio ou dióxido de carbono. A armazenagem em nitrogênio teve menor efeito nas alterações da textura do arroz no cozimento comparativamente à armazenagem em ar (Perez & Juliano, 1981).

O amido provavelmente sofre alterações físicas, pois o tratamento por calor úmido pode também alterar suas características amilográficas. As proteínas mostram um aumento nas ligações de bissulfeto (oxidação) durante a armazenagem e provavelmente há também uma condensação com compostos carbonílicos. O envolvimento direto dos constituintes das paredes das células ainda tem que ser demonstrado, pois a reduzida ruptura das paredes das

células durante o cozimento pode ser a explicação do aumento na insolubilidade do conteúdo das células (Kunze & Wratten, 1985).

A Fig. 1.13 mostra os mecanismos envolvidos no envelhecimento do grão de arroz e as alterações nos constituintes do arroz.

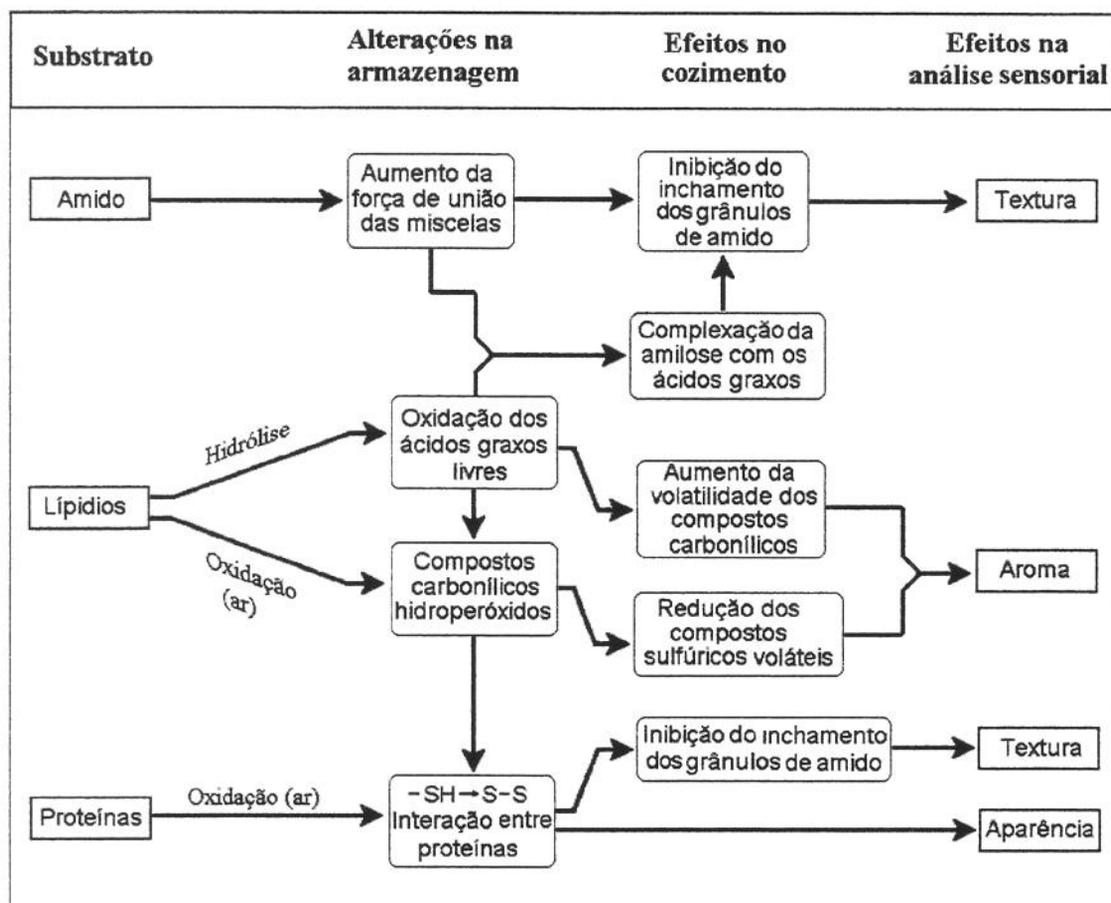


Figura 1.13 - Sumário dos mecanismos envolvidos no envelhecimento do grão de arroz

#### 1.4.4 - Conceitos de qualidade do arroz

O termo qualidade de grão tem muitos significados, os quais são percebidos de diferentes maneiras com relação ao seu uso, campo de interesse, especialização, cultura étnica, etc. Para o “marketing” a aparência dos grãos se destaca como a característica de qualidade mais importante; para os produtores e indústrias beneficiadoras a qualidade de beneficiamento é enfatizada; para as indústrias alimentícias a qualidade de processamento industrial é priorizada, já para os nutricionistas a qualidade nutritiva é mais requerida, e finalmente o consumidor que é muito influenciado por preferência e, quando as

preferências diferem, o mesmo arroz julgado como de boa qualidade por um pode ser considerado de qualidade deficiente por outro (Webb, 1985).

A qualidade de arroz, como a de qualquer outro produto alimentício, é avaliada de acordo com o gosto e costume dos consumidores para uso específico como produto final, sendo normalmente classificada em quatro áreas inter-relacionadas: qualidade industrial, qualidade culinária e de processamento, qualidade nutritiva e qualidade de padrão específico (Webb, 1991). As qualidades culinárias e de palatabilidade variam de país para país e de região para região, mas pode-se definir dois tipos básicos de consumidores, dependendo da textura do arroz após o cozimento: (1) preferência pelo arroz soltinho, seco e macio, (2) opção por arroz mais úmido e um pouco grudento. A avaliação destes dois grupos indicou o teor de amilose ou relação amilose/amilopectina, a temperatura de gelatinização e as características amilográficas como as propriedades físico-químicas mais importantes do arroz, sendo responsáveis pelas maiorias das diferenças encontradas nos diferentes cultivares (Juliano, 1985d).

A qualidade do arroz depende muito da semente plantada, pois os componentes do arroz conhecidos e referenciados como qualidade do grão, largamente determinam o preço do arroz no mercado e a sua aceitação pelos consumidores. Porém para o melhorista (“rice breeder”) no desenvolvimento de um novo cultivar de arroz, não são somente a qualidade dos grãos e o rendimento que importa, pois se o consumidor não gostar do sabor, textura, paladar (tato), aroma, aparência, características de cozimento, ou de processamento de um novo cultivar desenvolvido, qualquer outro resultado não tem valor (Mckenzie, 1994).

## **1.5 - Estabilização do farelo de arroz**

### **1.5.1 - Obtenção do farelo de arroz**

O arroz é colhido úmido e com os grãos se encontrando totalmente envolvido por uma casca. Após a colheita segue-se a secagem do arroz e armazenamento. O primeiro estágio do processamento do arroz é a remoção da casca, obtendo-se o arroz integral, em um segundo estágio, outra camada do grão é removida pela operação de brunimento abrasivo obtendo-se o arroz branco. A película removida do grão é designada como farelo de arroz. O farelo inclui diversas subcamadas entre o pericarpo e a aleurona. Uma

quantidade variável da sub-aleurona e do material do endosperma, normalmente apresenta-se na fração farelo, dependendo do grau de brunimento. Pequenos fragmentos do endosperma também são resultantes dos grãos quebrados durante o processamento. Esses fragmentos quebrados são constituídos por amido e normalmente constituem de 10,0 a 20,0 % do farelo (Saunders, 1990; Wadsworth, 1991).

### 1.5.2 - Composição e propriedades do farelo de arroz

A proporção entre os componentes do grão é de aproximadamente 20,0 % de casca, 70,0 % de endosperma e 10,0 % de farelo e germe, sendo que os lipídios estão concentrados nas camadas que formam o farelo e no germe dos grãos de arroz (Orthofer, 1996). A composição do farelo de arroz é variável, dependendo de fatores tais como: tipo de cultivar, tipo de processamento, e grau de brunimento durante a etapa de beneficiamento (Luh et al., 1991).

#### *1.5.2.1 - Composição centesimal do farelo de arroz*

Saunders (1990) e Hargrove (1994) relataram que a umidade em que o farelo normalmente se encontra pode oscilar de 8,0 a 12,0 % e Gonçalves et al. (1996) relataram que esta variação pode ser de 7,3 a 11,6 %, sendo que o teor de proteína no farelo de arroz (incluindo o germe), extraído de cultivares com alto conteúdo de proteína, oscila entre 16,0 e 17,4 % (Luh et al., 1991) e para os cultivares normais de 12,0 a 16,0 % (Hargrove, 1994). O teor de proteína no farelo de arroz pode variar entre 14,0 e 18,0 %, geralmente o farelo contém um teor de gordura entre 16,0 e 22,0 % (Saunders, 1990; Luh et al., 1991; Hargrove, 1994).

Luh et al. (1991) relataram que o conteúdo de fibra no farelo pode variar de acordo com o grau de brunimento dado durante o processo e a quantidade de amido presente no farelo. O teor total de fibra pode oscilar de 8,0 a 12,0 % e esta é constituída de 1,8 a 2,6 % de fibras solúveis (Hargrove, 1994). O teor de cinzas totais encontrados no farelo de arroz foi de 8,1 %. Esse valor está de acordo com o encontrado por outros autores, entre 8,0 e 12,0 % e entre 7,0 e 10,0 % (Saunders, 1990; Hargrove, 1994).

Os carboidratos normalmente encontrados no farelo de arroz estão na forma de celulose, hemicelulose (pentosanas) e amido, sendo que o amido não está botanicamente

presente nas camadas externas do pericarpo, mas devido à quebra do endosperma ele aparece no farelo. A quantidade varia de acordo com a quantidade de quebra e com o grau de beneficiamento (brunimento/polimento), com isso valores de 10,0 a 20,0 % podem ser encontrados (Hargrove, 1994). Já Luh et al. (1991) encontraram valores de 38,4 %. Outros autores têm encontrado valores divergentes para o teor de carboidratos totais, 41,0 % (Brasil, 1972) e 48,3 % (Alencar & Alvarenga, 1991). Segundo Saunders (1990) a quantidade e a qualidade dos carboidratos do farelo de arroz variam com a intensidade da quebra durante o beneficiamento do grão e com o grau de brunimento ao qual é submetido. A Tab. 1.8 mostra a composição decimal do farelo de arroz .

Tabela 1.8 - Composição centesimal do farelo de arroz

COMPONENTE	TEOR (%)
Umidade	8,0-12,0
Proteína	12,0-16,0
Gordura	17,0-22,0
Fibra bruta	8,0-12,0
Cinzas	7,0-10,0
Carboidratos	35,0-48,0

Fonte: (Saunders, 1990)

As diferenças nos resultados da composição centesimal do farelo de arroz encontradas por vários pesquisadores podem ser atribuídas, em parte, à metodologia empregada. Além disto é importante ressaltar que a composição do farelo de arroz depende de vários fatores como: tipo de cultivar, cultura, colheita, grau de processamento, solo, entre outros, determinando assim a proporção de germe, teor de amido, casca e grãos quebrados presente nos diferentes farelos (Alencar & Alvarenga, 1991).

#### *1.5.2.2 - Diferenças na composição do farelo brunido em relação ao polido*

O tipo de equipamento utilizado no beneficiamento do arroz também afeta a composição do farelo. O polidor tipo fricção produz farelo com conteúdo de gordura mais alto que o brunidor tipo abrasivo, por causa da remoção mais efetiva da camada de aleurona. Os brunidores abrasivos removem mais material do endosperma amiláceo, a grau equivalente de remoção de material, que os polidores de fricção. Isto resulta em uma

composição diferenciada para o farelo produzido no brunidor abrasivo com relação ao farelo produzido no polidor a fricção, como mostra a Tab. 1.9 (Sondi et al., 1980).

Tabela 1.9 - Composição química do farelo do brunidor e do farelo do polidor

ª Constituintes	Composição das Frações (14 % de umidade)					
	Brunidor Cônico (abrasivo)				Polidor (fricção)	
	1º (0-3)	2º (3-6)	3º (6-9)	4º (9-10)	1º (10-10,5)	2º (10,5-11)
Proteína N x 6,25 (%)	15,4	15,9	15,3	15,1	14,8	13,8
Gordura bruta (%)	15,2	14,7	14,1	12,2	12,9	10,0
Fibra bruta (%)	9,0	9,2	4,9	4,9	4,4	3,1
Cinza bruta (%)	8,4	8,1	7,2	6,4	6,2	5,2
Extrato Livre de Nitr. (%)	38,0	38,1	44,5	47,4	47,7	53,9
Cálcio (mg/g)	0,28	0,14	0,15	0,12	0,15	0,12
Magnésio (mg/g)	8,66	12,09	7,46	7,66	6,58	6,47
Ferro (mg/g)	0,24	0,16	0,13	0,13	0,07	0,05
Zinco (mg/g)	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03
Sílica (mg/g)	12,1	9,6	6,2	4,6	4,0	2,5

ª Peso percentagem do farelo em relação ao arroz integral

Fonte: (Sondi et al., 1980).

As frações de farelo extraídas tanto no brunidor quanto no polidor são derivadas das camadas exteriores da cariopse do arroz descascado (integral), que são retiradas durante o beneficiamento, incluindo: o pericarpo, a cobertura da semente, nucelo, camada de aleurona, germe e parte da camada de sub-aleurona do endosperma amiláceo. A fração de farelo do brunidor é responsável por 5 a 8 % do peso de arroz em casca, e a fração de farelo do polidor corresponde a um adicional de 2 a 3 % (Houston, 1972).

### 1.5.3 - Processo de degradação do farelo de arroz

O farelo de arroz, diferentemente do arroz polido, possui um alto teor de gordura que juntamente com a proteína de melhor qualidade, grande concentração de sais minerais e vitaminas, o torna atraente como alternativa alimentar. Todavia, esta mesma riqueza é responsável pela rápida deterioração do produto, principalmente devido à oxidação de suas gorduras, tornando-o rapidamente impróprio para o consumo humano. As enzimas *lipase* e

*peroxidase* são as grandes responsáveis pela liberação dos ácidos graxos que causam esta rancificação. A atividade enzimática pode ser avaliada bioquimicamente e é normalmente constante até que o farelo sofra algum processo de inativação. A rancificação da gordura é normalmente quantificada pela elevação do índice de acidez, que sobe rapidamente após a extração do farelo, devido à liberação dos ácidos graxos. O rápido aumento da acidez do farelo após a extração dificulta muito a utilização do farelo de arroz sem estabilização para um uso que não seja como ração animal (Luh et al., 1991).

Durante o processo de beneficiamento, quando as camadas de farelo são removidas do endosperma, as células individuais são rompidas e os lipídios do farelo de arroz entram em contato com as enzimas lipases altamente reagentes. Estas enzimas estão presentes naturalmente no farelo de arroz e são de origem microbiana e iniciam a deterioração do óleo (Champagne et al., 1992). A maioria das enzimas é efetiva em sistemas aquosos no qual a enzima e o substrato são solúveis. No caso da lipase, o substrato é insolúvel em água e a enzima está ativa na interface de óleo-água (Laning, 1991).

O farelo de arroz recém beneficiado tem uma vida útil curta (menos de 2 dias) por causa da decomposição dos lipídios em ácidos graxos livres (AGL) pelas enzimas lipases, tornando-o inadequado para consumo humano ou para a extração econômica de óleo comestível. Porém, se o farelo é submetido a um tratamento térmico a alta-temperatura por curto-tempo, imediatamente após o beneficiamento, a atividade de lipase é inibida e se obtém farelo de arroz estabilizado (Barnes & Galliard, 1991).

#### *1.5.3.1 - Elevação do teor de ácidos graxos livres*

Segundo Choudhury & Juliano (1980), o teor de ácidos graxos livres (AGL) no farelo, quando este ainda se encontra no grão maduro, pode chegar a aproximadamente 27 %. Diversos autores relatam que logo após a obtenção do farelo de arroz, o teor inicial de ácidos graxos livres é de cerca de 2 a 3 %, o qual vai aumentando rapidamente devido à presença da enzima lipase, que é muito ativa no farelo, podendo este atingir entre 60 e 70 % de ácidos graxos livres (Choudhury & Juliano, 1980).

### 1.5.3.2 - Alterações na composição dos lipídios do farelo

O farelo recém extraído se não for imediatamente desengordurado, a lipase dará início à hidrólise dos lipídios. Isto pode ser verificado pela alteração do índice de acidez ou pelo teor de ácidos graxos livres (Ryu & Cheigh, 1980). Os ácidos graxos livres insaturados são o substrato da ação da lipoxigenase. A taxa de formação de ácidos graxos livres no farelo de arroz é muito alta, até 5 a 10 % em um dia e em torno de 70 % em um mês sob alta umidade (Yokochi, 1977). Estudos da cinética baseada na reação de ordem zero revelaram uma rápida taxa inicial de formação de ácidos graxos a 30 °C, até 35 % de ácidos graxos livres em 23 dias, seguidos por uma redução na taxa (Poovarodom, 1982).

### 1.5.3.3 - Enzimas lipases presentes no farelo de arroz

As lipases pertencem ao grupo de enzimas serina hidrolases. Os triacilgliceróis são seu substrato natural e o modo de sua ação está relacionado com suas propriedades interfaciais em sistemas bifásicos (Borgstron & Brockman, 1984). Dependendo de sua origem, as lipases podem apresentar peso molecular variando entre 20.000 e 200.000 Da, possuindo atividade em uma ampla faixa de pH, entre 4,0 e 9,0. A temperatura de atividade ótima pode variar desde a ambiente até 70 °C (Borgstron & Brockman, 1984).

### 1.5.3.4 - Reações catalisadas por lipases

A principal reação catalisada pelas lipase no farelo de arroz é a hidrólise dos lipídios (triacilgliceróis), que produz ácidos graxos livres e glicerol, como mostra a Fig. 1.14 (Macrae, 1983; Scott, 1990; Laning, 1991).

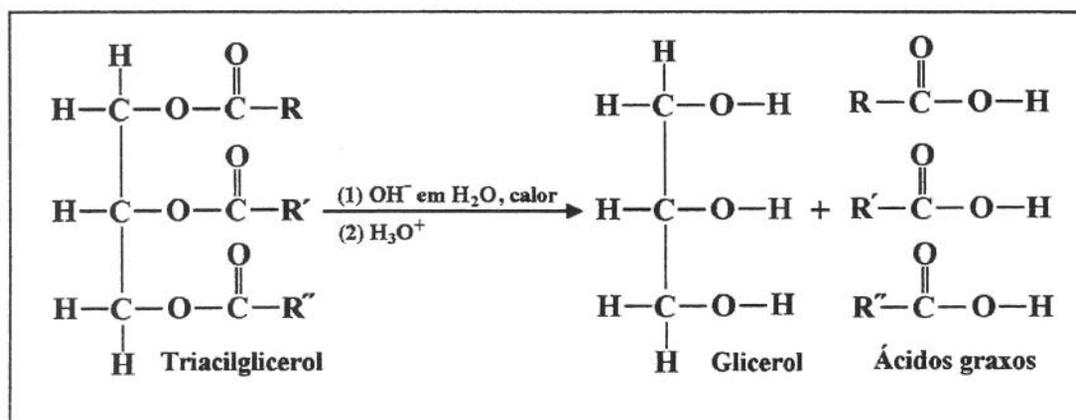


Figura 1.14 - Reação de hidrólise dos lipídios do farelo de arroz

Geralmente a ação das lipases resulta, preferencialmente, na hidrólise das posições sn-1 e sn-3 do triacilglicerol, bem como, permite a substituição da posição sn-2 no monoacilglicerol. Embora a interesterificação subsequente possa ocorrer onde o ácido graxo remanescente migra para a posição sn-1 ou sn-3 do monoacilglicerol, podendo então ser hidrolisado para liberar o ácido graxo (Laning, 1991).

#### 1.5.3.5 - Atuação das lipases do farelo de arroz

Pesquisas têm demonstrado que a maior parte da atividade da lipase no arroz está localizada na camada externa dos grãos de arroz, ou seja, no farelo (Houston, 1972; Poppe, 1972; Prabhakar & Venkatesh, 1986; Krishnamurthy & Nagaraj, 1989). O farelo de arroz possui múltiplas formas de lipase. Três diferentes lipases foram separadas por cromatografia de troca iônica e filtração em gel (Aizono et al., 1976). Duas destas foram purificadas e suas propriedades determinadas (Tab. 1.10). A lipase I possui peso molecular de 40.000 Da (Stauffer, 1987; Rajeshwara & Prakash, 1995).

Tabela 1.10 - Comparação das propriedades das lipases I e II isoladas do farelo

Propriedade	LIPASE I	LIPASE II
Termoestabilidade (°C)	40	30
Estabilidade ao pH	4,0 - 9,0	5,0 - 9,5
Temperatura de atividade ótima (°C)	37	27
pH de atividade ótima	7,5 - 8,0	7,5 - 8,0

Fonte: (Aizono et al., 1976)

Durante algum tempo, a responsabilidade pela degradação lipídica do farelo de arroz foi atribuída exclusivamente a lipase. Saunders (1990), afirmou que a presença natural da lipase no farelo de arroz promove a hidrólise do conteúdo lipídico, favorecendo a rancificação oxidativa, constituindo assim o principal mecanismo de deterioração do farelo de arroz. Diversas pesquisas foram realizadas com o objetivo de elucidar o mecanismo de degradação lipídica do farelo de arroz, entretanto, pesquisas mais recentes têm demonstrado que esta degradação é provocada pela ação combinada de várias enzimas. No entanto, para compreender completamente o mecanismo de degradação lipídica, se faz necessário à realização de pesquisas com o objetivo de evidenciar a exata localização, no tecido vegetal,

das enzimas que provocam a ativação da degradação lipídica durante o processamento do grão de arroz (Takano, 1993).

Os triacilgliceróis, os quais são os principais componentes lipídicos do farelo de arroz, ocorrem na forma de "esferossomas", como também acontece para outros grãos como o amendoim, soja e trigo (Takano et al. 1989; Takano, 1993). Os esferossomas do farelo de arroz são estruturas esféricas composta por lipídios neutros, glicolipídios e fosfolipídios na proporção de 98,6 : 0,5 : 0,9 respectivamente. Os fosfolipídios estão presentes em quantidades suficientes para cobrir o esferossoma, o qual mede entre 1 e 3  $\mu\text{m}$ , formando uma camada monomolecular (Takano, 1993).

Os fosfolipídios são constituídos por onze componentes, onde a fosfatidilcolina contribui com aproximadamente 64 %, sendo conseqüentemente o maior constituinte da membrana do esferossoma, a qual é decomposta em ácido fosfatídico pela enzima fosfolipase D presente no farelo, ocorrendo, deste modo, a desintegração do esferossoma com a conseqüente liberação dos triacilgliceróis existentes no seu interior. Quando os triacilgliceróis entram em contato com a enzima lipase do farelo de arroz, ocorre a sua degradação com o conseqüente aumento do teor em ácidos graxos livres (Takano, 1993).

A atividade de lipase pode ser mensurada através de titulação ou métodos colorimétricos. Os métodos que empregam a titulação estão baseados na quantificação de álcali necessário para a neutralização dos ácidos graxos liberados durante a reação. As metodologias colorimétricas empregam substratos conjugados, que após a hidrólise pela enzima, liberam um agente cromóforo adicionado ao glicerol, como substituto do glicerol (umbeliferil) ou na cadeia acil, como é o caso do p-nitrofenol, o qual apresenta uma coloração amarela que pode ser quantificada através de medidas no espectrofotômetro (Castro & Anderson, 1995).

Os ácidos graxos liberados durante uma reação enzimática também podem ser determinados através de sua conversão a sais de cobre seguido de colorimetria, uso de ácidos graxos radioativos (marcados), cromatografia gasosa, além de métodos imunológicos (Jensen, 1983). Diferentes substratos podem ser utilizados para a determinação da atividade de lipase, porém a metodologia preferida é aquela que utiliza



pressão atmosférica. Os métodos mais comuns, empregados para a inativação do farelo de arroz, preconizam a utilização de tratamentos térmicos que atuam sobre as enzimas que provocam a oxidação, sendo o mais usado um aquecimento seguido por uma secagem (Juliano, 1985e).

#### *1.5.4.1 - Técnica convencional de estabilização por calor seco*

A estabilização por calor seco é basicamente um processo de secagem do farelo, com uma inativação parcial da lipase, por isso é necessária a manutenção de baixos valores de umidade durante a armazenagem. Nesta técnica, temperaturas de 100 a 110 °C são alcançadas usando um tostador de panela aberta; um secador de leito estacionário; um transportador helicoidal encamisado com aquecimento por vapor, gás, ou óleo; ou um secador de leito fluidizado (Sayre et al., 1982). Esta técnica tem as vantagens de simplicidade de operação, equipamentos mínimos e baratos, baixas exigências de energia, além disso, o aquecimento pode ser provido queimando casca de arroz. Os problemas associados com tratamento por calor seco são: o tempo de aquecimento prolongado (20 a 30 min.) e a dificuldade de alcançar uma temperatura uniforme no farelo de arroz que, tem condutividade térmica baixa. Além da possibilidade do calor causar danos ao farelo, os microorganismos e insetos podem não ser completamente destruídos, e também a formação de lipase pode acontecer durante armazenamento à umidade alta (> 7 %). Assim, um curto tempo de descanso para o farelo tratado é desejável antes da extração de óleo (Tao et al., 1993).

#### *1.5.4.2 - Técnica convencional de estabilização do farelo por aquecimento úmido*

O tratamento por aquecimento-úmido é geralmente mais eficiente do que por aquecimento-seco, alcançando a inativação da lipase em 3 minutos de tratamento a 100 °C, somente se o farelo for umedecido por igual (Srimani et al., 1977; Barber & Benedito de Barber, 1980). Os vários métodos estabilização do farelo por aquecimento úmido incluem transportadores helicoidais, tambor giratório, autoclave de leito estacionário, e extrusor cozedor com injetor de água ou vapor. As vantagens destes métodos são o tempo curto requerido para o aquecimento (de 3 a 5 minutos a 100-110 °C), a inativação enzimática e a esterilização mais efetiva (Sayre et al., 1982).

A inativação da lipase é permanente e não resultado da desidratação, como parece ser o caso com alguns tratamentos de calor seco. Os tratamentos com aquecimento mais curtos e mais moderados resultam em menores danos nutricionais para proteínas e vitaminas do farelo do que os de aquecimento a seco. Além disso, o vapor para o processo pode ser gerado pela queima da casca de arroz. As desvantagens mais graves do aquecimento com adição de umidade são: a necessidade de uma caldeira a vapor e sua operação e manutenção; além da necessidade de secagem do farelo estabilizado para um teor de umidade abaixo de 12 %, necessária para a armazenagem sem degradação do produto. As condições ótimas de aplicação de vapor a 100 °C por 15 minutos ou a 115 °C por 5 minutos, e as condições ótimas de secagem são de 110 °C por 45 a 60 minutos (Poovarodom, 1982).

A estabilização do farelo de arroz é praticada em Burma em escala comercial (Enochian et al., 1981). As unidades de estabilização do Japão são do tipo transportador helicoidal com três estágios (Yokochi, 1977). No primeiro estágio, vapor (1 kg/cm<sup>2</sup>) é injetado a 95-100°C por 3 min. No segundo estágio, o farelo é seco com aquecimento por vapor encamisado (3-4 kg/cm<sup>2</sup>) a 145-150 °C, durante um ciclo de 6 minutos. O farelo é resfriado com ar forçado no terceiro ciclo, o qual completa o processo de estabilização. O teor de umidade final do farelo estabilizado é de 3 a 4 %. O farelo estabilizado mostrou baixos valores de ácidos graxos livres de 3 a 5 %, comparado com os 20 % para o farelo não-estabilizado. Yokochi (1978) relatou que a temperatura do farelo alcança entre 85 e 90 °C no primeiro estágio e de 90 a 95 °C no segundo.

Barber et al. (1977) mostraram que em unidades com estabilizadores contínuos baseados na aplicação direta de vapor no farelo úmido, foram requeridos 22 min de aquecimento a 95, 121, ou 135 °C para inativar a peroxidase no farelo com 35 % de umidade, correspondendo ao tempo necessário para a temperatura do farelo alcançar a temperatura do vapor. À temperatura de 95 °C, foi alcançada 98 % de inativação da peroxidase para farelo com umidade entre 25 e 35 %, após 2 minutos de tratamento; com mais 30 segundos resultou na completa inativação. Para o farelo com 20 % de umidade, mais do que 20 % da atividade inicial da peroxidase persistiu após 2 minutos a 95 °C, e um minuto adicional foi necessário para a inativação total. Para farelo com 35 % de umidade a 121 °C, o nível inicial de peroxidase foi mais baixo com pH 2,1, aumentou com pH 4,5 e

elevou mais ainda com pH 7,1; a inativação total foi alcançada após 60 segundos de tratamento.

A aplicação de vapor no arroz em casca recém colhido por um período de 5 a 10 minutos inativou a lipase, e que também é completamente inativada pela autoclavagem do farelo de arroz por um período de 3 a 20 minutos ou pela parboilização (Kratzer & Payne, 1977). A localização da lipase na camada “periférica” do grão pode explicar a inativação mais eficiente pelo calor no arroz em casca que quando comparado ao farelo de arroz, que tem uma natureza fofa (Viraktamath & Desikachar, 1971). A atividade da peroxidase é totalmente inativada durante a etapa de autoclavagem no processo de parboilização (Barber et al., 1983).

#### *1.5.4.3 - Estabilização do farelo por aquecimento úmido com retenção de umidade*

Os métodos de aquecimento com retenção de umidade usam a umidade do farelo para ajudar na transferência de calor, na desnaturação de enzimas e na esterilização. Estes são do tipo tambor giratório fechado ou extrusor cozedor. No método de tambor giratório, o farelo é submetido a temperaturas entre 110 e 120 °C por aproximadamente 5 minutos (pressão de 1,3 a 1,5 kg/cm<sup>2</sup>). Depois que a pressão é retirada, o farelo é descarregado e deixado esfriar e secar; o processo inteiro gasta aproximadamente 30 minutos. A temperatura do cabeçote do extrusor tipo cozedor varia entre 130 e 146 °C; a densidade mássica aumenta (de 0,3 a 0,6 g/mL); e o teor de umidade cai (de 5 a 8 %) (Sayre et al., 1982).

Na estabilização do farelo por aquecimento úmido com retenção de umidade, a exposição do farelo à alta temperatura é uniforme e de curta duração, sendo que uma secagem adicional normalmente é necessária e as condições de armazenagem do farelo tratado são iguais, ou melhores, que aquelas resultantes de outros tipos de estabilização de farelo. As condições ótimas para a estabilização do farelo de arroz utilizando um extrusor cozedor Brady modelo 2160 foram na temperatura de extrusão de 130 °C, teor de umidade entre 12 e 13 % e por 3 minutos, com cozimento em ar ambiente (Randall et al., 1985). A vazão foi de 500 kg/hr, com um consumo de energia de 0,07 a 0,08 kWh/kg. Neste processo a redução na contagem microbiana é da ordem de 8 a 10 milhões/g para 900/g. O farelo estabilizado sai do elevador na forma de partículas de 2 a 3 mm de tamanho a uma

temperatura entre 43 e 48 °C e com 6 % de umidade. O farelo estabilizado e armazenado a 32 °C e a 85 % de umidade relativa durante quatro semanas apresentou o teor de ácidos graxos livres aumentados somente de 3 a 4 %, com relação ao farelo recém extraído. Por outro lado, no farelo natural, os ácidos graxos livres aumentaram de 4 % para 51 %.

#### *1.5.4.4 - Estabilização do farelo de arroz pela aplicação de microondas*

Numerosas tentativas têm sido feitas para a estabilização do farelo de arroz por vários métodos térmicos. Alguns estudos têm demonstrado que a inativação da lipase do farelo de arroz depende da temperatura, da duração do tratamento térmico e do teor de umidade, sendo este crítico (Barber & Benedito de Barber, 1980). A literatura publicada sobre o uso de energia de microondas para inativação de enzimas com o objetivo de estender o tempo de armazenamento de alimentos perecíveis é muito fragmentária, especialmente com respeito à estabilização do farelo de arroz. Alguns trabalhos relataram o uso de aquecimento por microondas para retardar deterioração oxidativa de alimentos (Brygidyr et al., 1977; Rzepecka-Stuchly, 1976; Ayoub et al., 1974; Sreenarayanan & Chattopadhyay, 1986; Rhee & Yoon, 1984 e Tao et al., 1993).

As evidências experimentais obtidas de estudos físicos, térmicos e nutricionais mostraram que o aquecimento por microondas é um método efetivo para a inativação da enzima lipase que é a responsável pela degradação do farelo de arroz e a instabilidade. O farelo de arroz, estabilizado por microondas na frequência de 2450 MHz por 3 minutos, demonstrou ser estável por até quatro semanas de armazenamento. O conteúdo de ácidos graxos livres (AGL) no farelo estabilizado por microondas aumentou de 4,0 % a 4,9 % no farelo de arroz de grãos longos e de 4,6 % a 6,3 % no farelo de arroz de grãos médios, até mesmo quando armazenado sob condições de armazenamento desfavoráveis (33 °C, 75 % umidade relativa). Em contraste, aumentos no farelo sem tratamento, com o teor de AGL variando de 4,0 % a 68,3 % e 4,6 % a 56,8 % em farelo de grão longos e médios, respectivamente (Tao et al., 1993).

Tao et al., (1993) no trabalho sobre aquecimento por microondas na estabilização de farelo de arroz, obtiveram resultados que demonstraram a possibilidade de estabilização do farelo de arroz pelo aquecimento por microondas para a inativação da enzima lipase. Em processo de aquecimento por microondas em batelada, o tamanho ótimo das amostras e da

duração do tratamento foi de 150 g e 3 min, respectivamente. Estas condições devem ser modificadas para operações contínuas em escala comercial. O farelo de arroz estabilizado por microondas e armazenado por três semanas, não apresentou nenhum odor de estragado. O farelo continha menos que 6,2 % de ácido oléico no final de quatro semanas de armazenamento, o qual está abaixo do nível (10 % de ácido oléico) aceitável para o consumo humano. O aquecimento por microondas não afetou adversamente outros constituintes (análise centesimal) ou a cor do farelo.

Ramezanzadeh et al., (1999a) no trabalho sobre prevenção da rancificação hidrolítica do farelo de arroz durante a armazenagem, examinaram os efeitos do aquecimento por microondas, do tipo de embalagem e da temperatura de armazenagem na produção de ácidos graxos livres (AGL) no farelo de arroz. O farelo de arroz recém beneficiado foi ajustado a 21 % de teor de umidade e aquecido em um forno de microondas de 850 W por 3 minutos. O farelo natural e o tratado por microondas foram empacotados em bolsas de polietileno fechadas por zíper ou seladas a vácuo e armazenados a 5 °C ou 25 °C por 16 semanas.

O conteúdo de AGL do farelo foi medido em intervalos de quatro semanas. O AGL total aumentou rapidamente durante o período de 16 semanas, do valor inicial de 2,5 % em farelo cru, armazenado a 25 °C a 54,9 % em bolsas seladas a vácuo e 48,1 % em bolsas com zíper. Porém, o conteúdo de AGL total do farelo cru armazenado a 5 °C aumentou a uma taxa mais lenta, de um valor inicial de 2,5 para 25,4 %, em bolsas seladas a vácuo e 19,5 % em bolsas com zíper. Depois de 16 semanas de armazenamento, o AGL total do farelo aquecido por microondas e armazenado a 25 °C aumentou de 2,8 para 6,9 e 5,2%, respectivamente, para amostras armazenadas em bolsas seladas a vácuo e bolsas com zíper. O AGL total de amostras tratadas por microondas armazenadas a 5 °C não alteraram significativamente com o tempo de armazenagem. Os resultados demonstraram que a rancificação hidrolítica do farelo pode ser prevenida pelo tratamento de aquecimento por microondas e que a condição de armazenagem recomendada para o farelo tratado por microondas é de 5 °C em bolsas com fechamento por zíper (Ramezanzadeh et al., 1999a).

Ramezanzadeh et al (1999b), no trabalho sobre prevenção da rancificação oxidativa do farelo de arroz durante a armazenagem, examinaram os efeitos do aquecimento por microondas na atividade de lipoxigenase (LOX) no farelo de arroz sob várias condições de

armazenamento. O farelo de arroz do cultivar *Lemont*, de grãos longos, com teor de umidade de 21 % foi aquecido em um forno de microondas de 850 W por 3 minutos. As amostras de farelo de arroz sem tratamento e tratadas por microondas foram embaladas em bolsas de polietileno fechada zíper ou seladas a vácuo e armazenadas a temperatura ambiente (25 °C) ou no refrigerador (5 °C) durante 16 semanas. As atividades de LOX para as amostras foram analisadas em intervalos de quatro semanas. As atividades de LOX não mudaram significativamente com relação ao seu valor inicial na semana zero, para amostras embaladas a vácuo ou em bolsas com zíper, armazenadas a temperaturas de 4 a 5 °C durante 12 semanas, mas diminuíram após 16 semanas. As amostras embaladas a vácuo não mostraram uma alteração significativa na atividade de LOX durante 16 semanas de armazenamento. Amostras tratadas por microondas e armazenadas no refrigerador não mostraram mudança significativa na atividade de LOX para até 12 semanas, mas mostraram diminuição significativa em 16 semanas. Os resultados mostraram que a rancificação oxidativa do farelo de arroz pode ser prevenida pelo tratamento das amostras pelo aquecimento por microondas, empacotamento em bolsas com fechamento por zíper e armazenamento a 5 °C por até 16 semanas.

O processamento do farelo de arroz por microondas resulta na inativação da lipase responsável pela rancificação hidrolítica (Tao, 1989; Malekian, 1992). A rancificação oxidativa envolve a reação entre o lipídio e a molécula de oxigênio. A reação ocorre na dupla ligação do ácido graxo insaturado e pode ser acelerada por radicais livres, íons metálicos (ferro, cobre e cobalto), luz, radiação e enzimas contendo um metal de transição no grupo prostético tal como a lipoxigenase (LOX) (Barnes & Galliard, 1991). Diferente da lipase e semelhante a muitas outras enzimas, a atividade LOX é acelerada pela adição de água no cereal (Barnes & Galliard, 1991). Sob condições apropriadas a LOX conduz para a deterioração das vitaminas lipossolúveis, dos ácidos graxos essenciais (ácidos linoléico e linolênico) e de óleos e gorduras. Também causa sabor e odor desagradáveis no alimento devido à sua reação com ácidos graxos insaturados (Ramezanzadeh et al., 1999b).

## 1.5.5 - Utilização do farelo de arroz

### *1.5.5.1 - Aplicação como alimento humano*

Quando obtido em boas condições de processamento estabilizado, o farelo de arroz pode ser incorporado na alimentação humana balanceada e saudável, como aditivo na fabricação de pão e na alimentação infantil e em muitos outros produtos (Hargrove, 1994). A fibra dietética abundante no farelo de arroz está sendo explorada agora como um ingrediente importante de alimentos funcionais (alimentos para a saúde). Considera-se que o óleo de farelo de arroz seja superior aos outros óleos comestíveis por causa de sua composição ideal de ácidos graxo (Houston & Kohler, 1972), sabendo-se que o farelo de arroz pode abaixar o colesterol do sangue (Vijayagopalan & Kurup, 1972). O farelo de arroz também é tão bom ou até melhor do que os farelos de trigo e de aveia na redução do colesterol do sangue, no aumento da retenção de água nas fezes, e na redução do risco de doença do coração (Hargrove, 1994).

O farelo integral com alto teor de fibras, com ou sem gorduras, é utilizado como regulador das funções intestinais, e com importantes efeitos positivos na saúde, pois atua também como antioxidante e rebaixador dos níveis do colesterol entre outros fatores positivos. O farelo com baixo teor de fibras, com teor de fibra igual ou inferior a 3,5 %, utilizado em muitos produtos como massas, pães, bolachas, sopas, cremes, pudins, alimentos matinais, etc. Das frações extraídas deste é possível a obtenção de óleo de arroz bruto, refinado e ainda a recuperação de vitaminas para uso em medicamentos ou complementos nutricionais. O farelo fracionado e com concentração protéica, com índices de proteínas superiores a 50 %, utilizado diretamente em rações para animais ou purificado (descolorido e desodorizado) para uso humano, em especial para atletas ou pessoas que necessitem de proteínas de alta qualidade e fácil digestão. O concentrado de fibras para nutrição especial, utilizado como laxante, ou ainda para a fabricação de alimentos ricos em fibras como flocos, barras energéticas e biscoitos (Hargrove, 1994).

Quanto mais alto o conteúdo de proteínas da farinha de trigo, mais alto é o nível de farelo de arroz que pode ser usado vantajosamente. O pão torna-se mais escuro com o nível de farelo de arroz aumentado. O farelo de arroz desengordurado é levemente hidrófilo, e para permitir uma hidratação adequada, deveria ser aumentado o teor de água de 40 a 50 %

do peso de farelo. Adição de farelo de arroz melhorou o conteúdo de lisina do pão e também contribuiu um sabor agradável suave (Lynn, citado em Luh et al., 1991). O farelo de arroz estabilizado pode ser substituto para a farinha de trigo em até 10 % em pão branco padrão (pão francês), de acordo com experiências do Centro de Pesquisa Regional Ocidental, mas acima de 10 % a textura se torna mais grossa e o sabor mais forte do farelo se torna mais evidente.

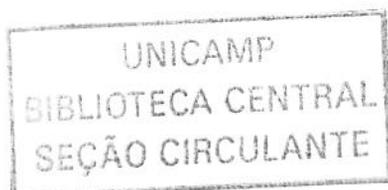
#### *1.5.5.2 - Aplicação farmacológica*

Talwalkar et al (citado por Luh et al., 1991) revisaram a preparação de remédios a partir do farelo de arroz. A extração com etano a 95 %, em um único passe, produz um concentrado de vitaminas do complexo B, e phytin foram recuperados da extração do farelo residual com 2 % HCl. A saponificação direta extraída com etanol a 95 % produziu um concentrado de tocoferol,  $\beta$ -sitosterol, ácidos graxos, e fitina, com a perda de vitaminas do complexo B. A extração em dois passes com acetona e etanol a 95 % seguida pela saponificação dos lipídios extraídos forneceu um concentrado de tocoferol,  $\beta$ -sitosterol, ácidos graxos, fitina, lecitina, e vitaminas do complexo B. Somente de 290 a 320 mg de  $\alpha$ -tocoferol e de 500 a 600 mg de sitosterol foram recuperados por quilograma de farelo, junto com 5-8 g de fitina e 30-37 g de ácidos graxos pela saponificação direta. A extração em dois passes forneceu 5-8 g de fitina, 300-320 mg de  $\alpha$ -tocoferol, 120 g de ácidos graxos livres, 400-600 mg de  $\beta$ -sitosterol, e 2-2,5 g de fosfatídeo (lecitina).

Historicamente, a alta concentração de vitaminas do grupo B no farelo de arroz contribuído com a maior parte dos avanços nas áreas de nutrição, medicina e química (Houston, 1972). O consumo de arroz integral no lugar de arroz polido preveniu a incidência de beribéri. O estrato de farelo (tikitiki) usada nas Filipinas é altamente efetivo no tratamento beribéri infantil. O farelo e o germe são matérias primas adequadas para obtenção de vitaminas B e outros produtos farmacêuticos (Yokochi, 1977), esqualene, e orizanol. O orizanol é facilmente extraído do farelo de arroz na forma cristalina; dele, um remédio conhecido como OZ tem sido desenvolvido no Japão (Yokochi, 1977). Orizanol tem efeito similar ao da vitamina E na aceleração do crescimento humano, facilitando a circulação do sangue e estimulando a secreção hormonal.

### 1.5.5.3 - Óleo de farelo de arroz

O farelo pode conter entre 12 a 25 % de óleo dependendo da qualidade do farelo e grau de polimento do grão. O óleo de farelo de arroz tem sido considerado como um óleo "superior", devido as suas características químicas. O seu baixo conteúdo de ácido linolênico e esteróides aliado ao alto teor de tocoferóis e orizanol asseguram-lhe alta estabilidade, retardando a rancidez e o aparecimento de sabores indesejáveis. Em razão de seu alto teor de tocoferóis (vitamina E), que dá uma maior estabilidade oxidativa ao óleo, o óleo de arroz é considerado toxicologicamente seguro para o consumo humano. O óleo de arroz contém elevados índices do ácido linoléico, em torno de 35 %, o qual é um ácido graxo essencial, ao passo que quase não possui em sua composição o indesejável ácido linolênico. Além de sua importância como óleo de cozinha, o óleo de arroz pode ser usado em saladas, misturado com óleo de oliva, na manufatura de produtos hidrogenados, maioneses, margarinas, em sabonetes, cosméticos e xampus. É importante em indústrias farmacêuticas e como óleo sulfonado em indústrias têxtil ou de couro, também como agente anticorrosivo e inibidor de ferrugem. Entretanto, características que depreciam e diferenciam o óleo de arroz bruto da maioria dos óleos vegetais são os altos teores de ceras e de ácidos graxos livres (AGL). O aumento rápido da acidez do óleo de arroz é devido à lipólise enzimática; o óleo sofre hidrólise com formação de AGL, o que dificulta o refino para fins comestíveis (Moretto & Fett, 1998).





## **Capítulo 2 - ESTUDO DO EFEITO DO TRATAMENTO POR MICROONDAS NO RENDIMENTO DE INTEIROS DO ARROZ RECÉM COLHIDO**

### **2.1 - Introdução**

O arroz, ao contrário de outros cereais, é consumido preferencialmente na forma de grãos inteiros, assim, um critério importante para a indústria de processamento de arroz é o de maximizar o seu rendimento em grãos inteiros após o beneficiamento. Para o consumo final o arroz precisa ser beneficiado, ou seja, descascado e brunido até o estado de branco polido. Durante as etapas de secagem e beneficiamento os grãos estão sujeitos a esforços mecânicos que podem causar trincas e fissuras, responsáveis pela sua quebra. A secagem é uma das operações que mais contribui para tal ocorrência, quando a massa de grãos alcança temperaturas superiores a 45 °C, levando a uma taxa excessiva de transporte de umidade no seu interior, estabelecendo-se aí elevados gradientes de umidade que produzem tensões geradoras de trincas e fissuras no grão. Os danos mecânicos no arroz estão intimamente relacionados com a severidade do processo de secagem e especialmente com a extensão do gradiente de umidade (Bautista et al., 2000a; Frias et al., 2000).

A energia de microondas possui características intrínsecas de aquecimento capazes de produzir calor simultaneamente em um corpo, desde o centro até a superfície (Buffler, 1992). Esta forma de aquecimento, quando aplicada ao grão de arroz em casca úmido, possibilita alcançar temperaturas elevadas no grão sem causar a formação de elevados gradientes de temperatura e umidade, com isso produzir uma gelatinização parcial do amido, que após a retrogradação aumenta a sua resistência mecânica e conseqüentemente aumenta o rendimento de arroz inteiro (Rocha, 1998).

### **2.2 - Objetivos**

Estudar os efeitos nos resultados de rendimento de arroz inteiro após o beneficiamento dos tratamentos por microondas no arroz úmido em casca recém colhido, a partir da montagem de um planejamento experimental, com as variáveis: temperatura tratamento dos grãos, tempo de processamento e umidade dos grãos. E identificar as condições de tratamento que resultem no maior aumento de rendimento com relação ao rendimento do arroz “in natura” (sem tratamento).

## 2.3 - Material e Métodos

### 2.3.1 - Matéria-prima

O arroz (*Oryza Sativa* L.) cultivar *IAC-103* foi utilizado como matéria prima básica nos experimentos. Este cultivar de arroz pertence à classe de grão longo fino e sistema de cultivo por inundação, com uma produtividade média de 4.800 a 5.400 kg/ha e rendimento médio de arroz inteiro de 53 a 57 % após beneficiamento. Os materiais utilizados foram produzidos nas safras de 2000 e 2001, na Estação Experimental de Pindamonhangaba do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) / SP. As amostras de arroz da safra 2001 foram colhidas com maior conteúdo de umidade possível, no dia da realização dos experimentos, e acondicionado em embalagens plásticas para manter a umidade durante o transporte. As amostras de arroz da safra 2000 já se encontravam secas e armazenadas desde a colheita (período de um ano) com umidade de 12 %.

### 2.3.2 - Equipamentos

#### 2.3.2.1 - Aplicador de microondas com controle automático de temperatura

O forno de microondas é fabricado pela empresa CEM Corporation, USA, modelo MDS-2100, com potência de microondas ( $950 \pm 50$  W) para um aquecimento rápido de até doze amostras de volume unitário aproximado de 100 mL (Fig. 2.1).

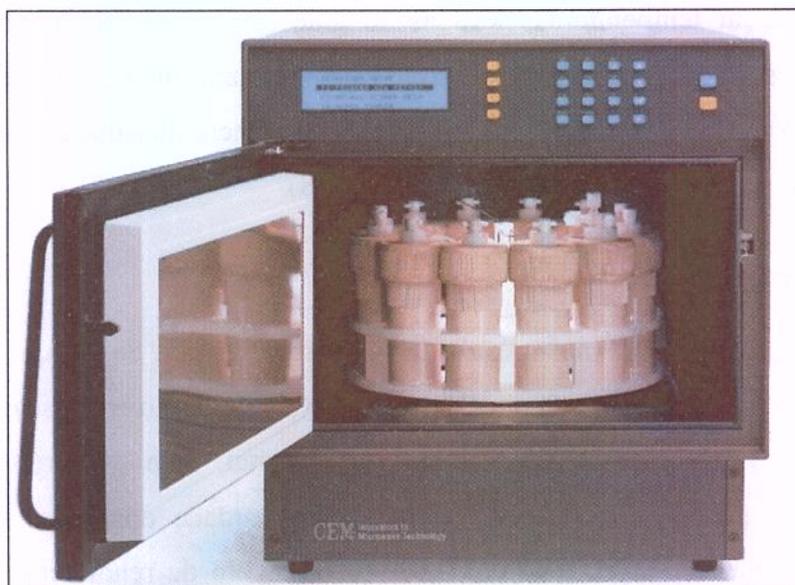


Figura 2.1 - Forno aplicador de microondas marca CEM, modelo MDS-2100

O forno é equipado com circuito eletrônico microprocessado, programado para variar, de 0 a 100 %, a potência de microondas gerada pelo magnetron (950 W), possuindo um circuito de medição da temperatura do produto por meio de um sensor de fibra óptica, permitindo monitorar e controlar automaticamente a temperatura do produto pelo controle da potência de microondas gerada pelo magnetron (Fig. 2.2). Possibilitando processar o produto dentro dos recipientes de teflon (Fig. 2.3), com a temperatura controlada em um valor pré-estabelecido. O forno possui também um sistema de temporização que possibilita um controle automático do tempo de processamento, dividido em duas partes: tempo da rampa de aquecimento e tempo de tratamento na temperatura escolhida.

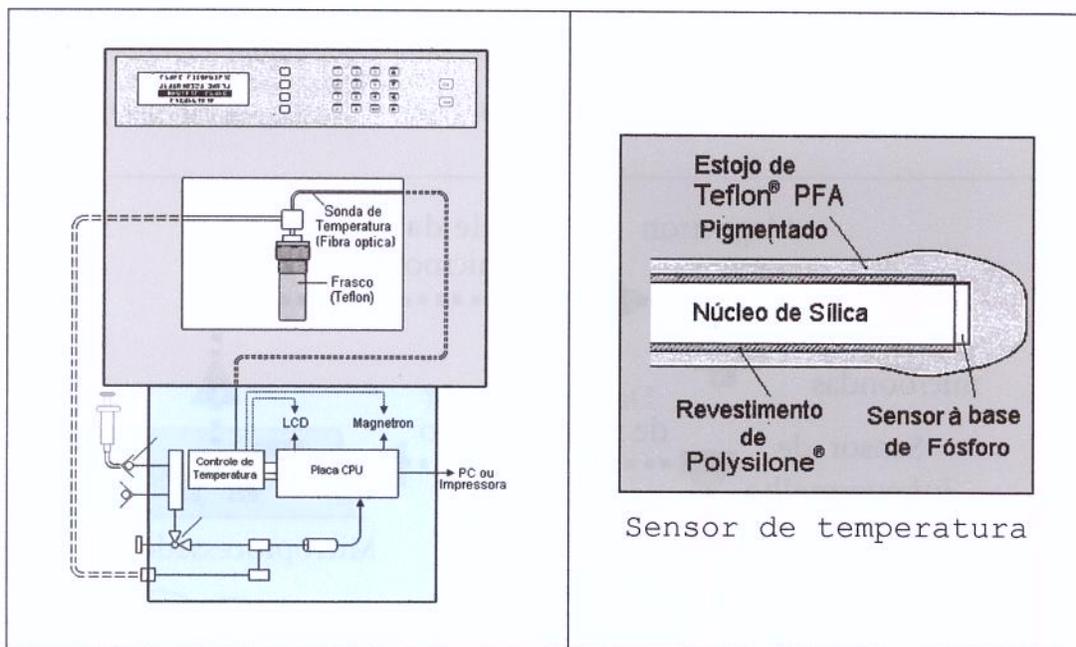


Figura 2.2 - Detalhes do sensor e do sistema de controle de temperatura



Figura 2.3 - Recipientes para tratamento das amostras

O sensor de temperatura do forno MDS-2100 é constituído por uma sonda especial de fibra óptica, imune a microondas, resistente a alta temperatura e umidade elevada. O forno possui um carrossel de suporte de doze conjuntos completos de recipientes de teflon onde as amostras são colocadas para serem levadas ao forno aplicador de microondas.

### 2.3.2.2 - Aplicador de microondas com controle de temperatura e pesagem automática

A Fig. 2.4 mostra o forno CEM, modelo Smart-5, com o sistema de controle de temperatura e detalhes do sensor de temperatura. O sensor de temperatura é do tipo sensível ao calor da radiação de infravermelho, sem necessidade de contato com a superfície do produto. O forno também possui uma balança interna que possibilita a leitura do peso das amostras durante a aplicação de microondas e uma impressora para registro dos dados.

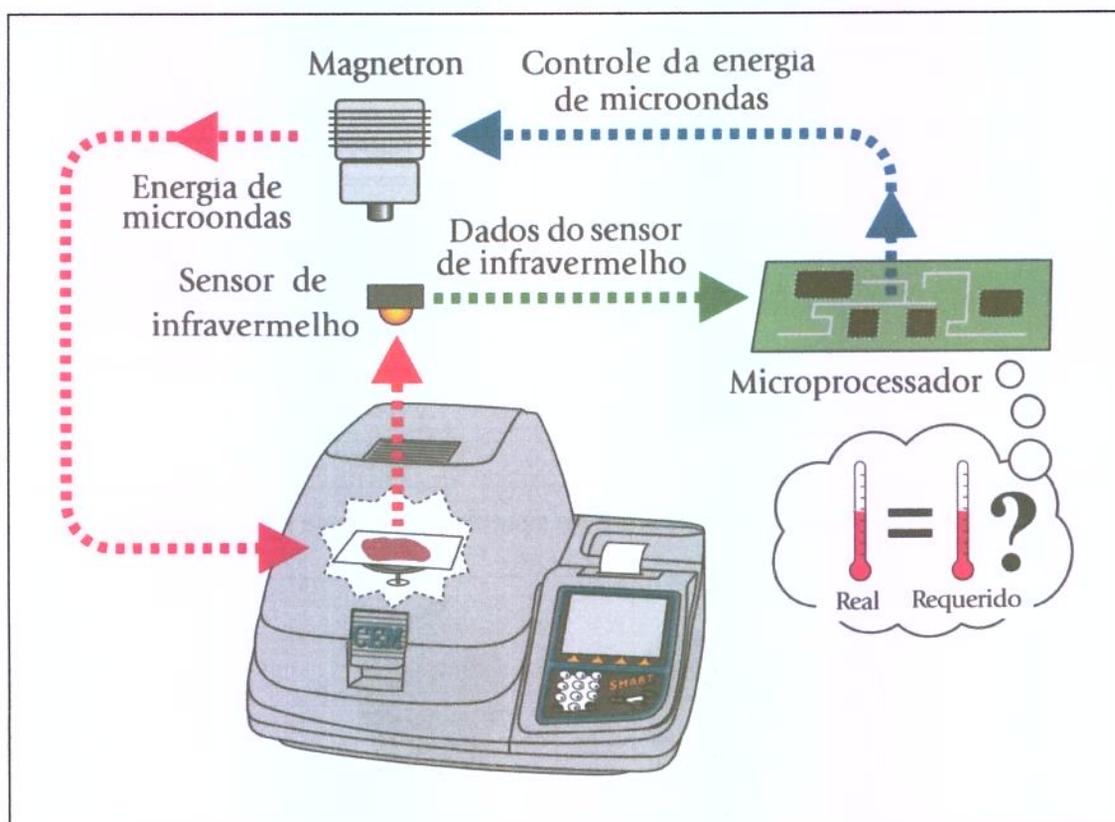


Figura 2.4 - Forno aplicador de microondas marca CEM, modelo Smart-5 e acessórios

### 2.3.2.3 - Estufa climatizada

Estufa marca FANEM, modelo 330, com dimensão de 150 x 72 x 93 cm da câmara de secagem e 12 cm de altura entre bandejas, possuindo circulação forçada de ar e controle da temperatura do ambiente interno. A estufa é utilizada para a secagem das amostras de arroz colocadas em bandejas de alumínio, com temperatura média de 35 °C, até atingirem 12 % de umidade.

### 2.3.2.4 - Beneficiador padrão para arroz

As amostras de arroz foram beneficiadas utilizando o beneficiador de arroz SUZUKI, modelo MT81 (beneficiador de prova, “de bancada”). Neste equipamento o descascamento do arroz é efetuado por dois cilindros de borracha que giram com velocidades diferentes e exercem uma pressão de cisalhamento na casca do arroz, separando-as do grão. O brunimento dos grãos descascados é realizado por cilindros de pedra abrasiva girando em alta rotação. A separação do arroz inteiro do quebrado é realizada em um “*trieur*”, sendo utilizado o “*trieur*” de separação de 3/4”, que consiste de um cilindro horizontal rotativo, cujas paredes laterais contêm pequenos alvéolos de dimensões que permitem acomodar grãos quebrados, menores que 3/4 do comprimento dos grãos inteiros, que são elevados até uma determinada posição de onde caem em um recipiente central, com altura regulável, onde são recolhidos posteriormente. Os grãos inteiros e maiores que 3/4 do comprimento permanecem deslizando na superfície do cilindro. O beneficiador de arroz Suzuki MT-81 e os detalhes do seu funcionamento estão mostrados na Fig. 2.5.

## 2.3.3 - Instrumentos

### 2.3.3.1 - Espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIRSystem)

Analisador por varredura espectrofotométrica de infravermelho próximo, fabricado pela Perstop Analytical Inc., modelo 6500 (NIRSystem Scanning Spectrophotometer), com software de análise espectral VISION e programas “Chemometric NSAS / IQ<sup>2</sup>”. Este instrumento foi ajustado com a curva de calibração fornecida pela Universidade Estadual da Louisiana, LA, EUA e utilizado para análises de teor de amilose, proteínas e análise rápida de umidade das amostras de arroz.

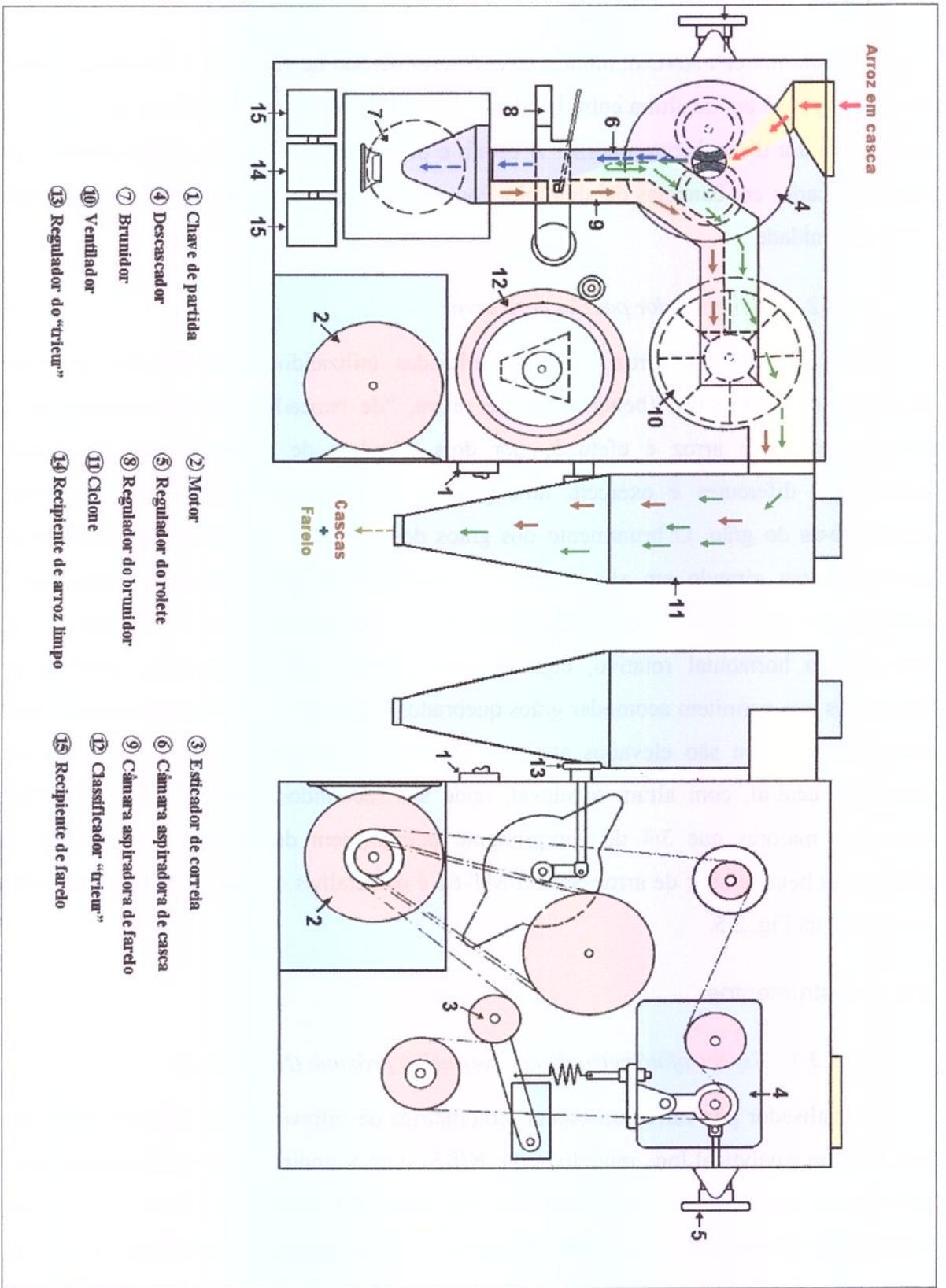


Figura 2.5 - Beneficiador de arroz Suzuki MT

#### *2.3.3.2 - Balanças semi-analítica eletrônica*

Balança semi-analítica, marca AINSWORTH, modelo DE-3100D, com precisão de 0,01g para carga até 310 g e 0,1 para carga até 3100 g.

#### *2.3.3.3 - Balanças analítica eletrônica*

Balança analítica, modelo AB-250D, fabricada pela Denver Instruments Company, EUA. Com faixa de medição: de 0 a 52 g com incremento de 0,01 mg; precisão de 0,02 mg; linearidade de  $\pm 0,03$  mg.

#### *2.3.3.4 - Estufa de secagem para determinação de umidade*

Estufa marca NOVA TÉCNICA, modelo MA-035, com aquecimento até 250 °C (pressão atmosférica) e controle automático por termostato para a temperatura programada.

#### *2.3.3.5 - Instrumento para determinação rápida de umidade*

Balança OHAUS para determinação de umidade modelo MB200, aquecida por infravermelho, com as seguintes especificações: capacidade 200 g; incremento: 0,01 g; precisão:  $\pm 0,007$  g; linearidade:  $\pm 0,01$  g; Faixa de umidade: 0 a 100 %; Relógio: 0 a 180 (minutos); programação de temperatura: 35 °C a 205 °C de 1 °C em 1 °C.

### 2.3.4 - Métodos

#### *2.3.4.1 - Teor de amilose*

Os teores de amilose dos cultivares de arroz foram medidos utilizando o NIRS ajustado com a curva de calibração fornecida pela Universidade da Louisiana, LA, EUA.

#### *2.3.4.2 - Conteúdo de umidade (medida padrão)*

Os conteúdos de umidade das amostras de arroz em casca foram determinados de acordo com o método descrito pela AOAC (1993) com amostras de 100 g mantidas em uma estufa a temperatura de 103 °C até atingir peso constante.

#### *2.3.4.3 - Medição rápida de umidade*

As amostras de arroz em casca úmido foram descascadas no beneficiador e trituradas em um liquidificador e passadas por uma peneira n. 40 (padrão ABNT, com uma abertura de 0,42 mm), em seguida medida a umidade usando a Balança semi-analítica de medição de umidade, aquecida por infravermelho, marca OHAUS, modelo MB-200, com temperatura programada para 150 °C por 20 minutos. A utilização desta medida foi ajustada a partir da calibração contra o padrão primário de determinação citado anteriormente.

#### *2.3.4.4 - Rendimento de arroz inteiro*

O rendimento de arroz inteiro, realizado no beneficiador padrão de arroz, marca Suzuki, modelo MT-81, é executado primeiro pelo descascamento das amostras de 100 g de arroz, em seguida o arroz descascado é brunido por 1 minuto e os quebrados são separados no “trieur”, obtendo assim quantidade de arroz inteiro e quebrados.

#### **2.3.5 - Procedimento experimental**

A utilização da energia de microondas no tratamento do arroz em casca recém colhido para aumentar o rendimento de arroz inteiro é um procedimento novo, sem referência na literatura até este momento, necessitando assim de um estudo detalhado dos fatores que levam à quebra dos grãos e como o tratamento por microondas pode contribuir para reduzir esta quebra e aumentar o rendimento de arroz inteiro.

No estudo dos efeitos dos tratamentos por microondas nos resultados de rendimento de arroz inteiro optou-se pela utilização de um planejamento experimental para a montagem e execução dos ensaios. A técnica de planejamento fatorial associada à análise de superfície de resposta, foi a escolhida, pois além de possibilitar a avaliação dos efeitos principais das variáveis nas respostas desejadas, bem como a suas interações, esta técnica permite verificar a influência de diversos fatores ou variáveis independentes com a realização de um número reduzido de experimentos, permitindo assim uma análise estatística mais consistente das variáveis dependentes, possibilitando explorar o processo numa faixa ampla a um custo e tempo reduzidos, além da otimização. Porém para utilização dessa metodologia necessitou do conhecimento prévio das variáveis envolvidas no processo.

### *2.3.5.1 - Estudo preliminar das condições de tratamento do arroz por microondas*

Antes da montagem do planejamento experimental é necessário identificar e escolher quais as variáveis de processo (variáveis independentes) que possuem influência sobre o rendimento de arroz inteiro (variável de resposta), e quais efetivamente podem ser controladas. Assim, torna-se necessário um estudo preliminar das condições de processo para o tratamento do arroz, definindo o equipamento de aplicação de microondas, suas condições de operação e também as propriedades do arroz utilizado como matéria prima nos tratamentos.

#### *a) Escolha da tecnologia do forno aplicador de microondas*

Dois equipamentos diferentes foram testados para a escolha da tecnologia do forno aplicador de microondas: - forno aplicador de microondas SMART System-5 (com recipiente aberto e condições atmosféricas); - forno aplicador de microondas modelo MDS-2100 (com recipientes de teflon hermeticamente fechados), ambos fabricados pela CEM Corporation, EUA. No sistema com recipiente aberto e condições atmosféricas o sensor de temperatura é do tipo sensível à radiação de infravermelho sem necessidade de contato físico, já no sistema com recipientes de teflon hermeticamente fechados o sensor de temperatura é constituído por uma sonda especial de fibra óptica, imune a microondas, resistente a alta temperatura e umidade elevada. Assim estes dois equipamentos permitem o tratamento do arroz com microondas em uma temperatura programada.

A principal diferença entre as duas tecnologias está relacionada com a taxa de secagem a que os grãos de arroz são submetidos durante o tratamento. Pois, como os grãos são constituídos de material higroscópico, que respondem física e dinamicamente às mudanças de umidade e temperatura a que estão expostos, sendo que os efeitos das variações na umidade interna dos grãos na formação de trincas e conseqüente quebra são muito mais intensos que os da variação da temperatura. Assim, nos ensaios preliminares, a utilização do sistema com recipientes de teflon hermeticamente fechados possibilitou o tratamento do arroz com baixa taxa de perda de umidade dos grãos, reduzindo a formação de trincas e conseqüentemente aumentando o rendimento de arroz inteiro. Este aumento foi de 10 %, em média, acima do obtido com a utilização de recipiente aberto e condições atmosféricas e conseqüente alta taxa de perda de umidade dos grãos.

### *b) Condições iniciais do arroz em casca antes do tratamento*

As amostras de arroz foram testadas em várias condições, como as do arroz recém colhido com 25,5 % de umidade e imediatamente submetido ao tratamento, arroz com descanso de 24 horas após a colheita, arroz seco até 12 % e re-hidratado, a temperatura ambiente, até 25,5 % de umidade e também de arroz colhido na safra anterior, mantido a 12 % e re-hidratado até 25,5 % de umidade. A utilização de amostras de arroz recém colhido e descansado por 24 horas forneceu os melhores resultados de rendimento de arroz inteiro nos testes preliminares, com diferenças maiores que 8 % no rendimento com relação ao arroz re-hidratado por maceração a temperatura ambiente.

### *c) Técnica de execução dos tratamentos por microondas*

Dois tipos de resfriamento do arroz após o tratamento por microondas podem ser utilizados: - Resfriamento rápido x resfriamento lento.

Em ensaios preliminares foram realizados testes para avaliar a influência da velocidade de resfriamento do arroz após o tratamento no rendimento de arroz inteiro. O resfriamento rápido consistiu no procedimento onde o arroz foi retirado dos recipientes de teflon hermeticamente fechado imediatamente após o tratamento, produzindo uma queda rápida da temperatura. Já no resfriamento lento, o arroz foi mantido dentro do recipiente hermeticamente fechado a temperatura diminuiu lentamente exigindo até 45 minutos para atingir valores abaixo de 45 °C, bem mais que os 3 minutos gastos no resfriamento rápido, isto devido à grande massa de teflon do recipiente, aproximadamente 150 g cada um e massa das amostras de arroz de 50 g. Os resultados de rendimento de arroz inteiro obtidos com resfriamento rápido foram superiores aos obtidos com resfriamento lento, na maioria das condições testadas.

## *2.3.5.2 - Montagem do planejamento experimental*

### *a) Escolha das variáveis independentes*

Após os ensaios preliminares que possibilitaram a escolha do equipamento de aplicação de microondas, do tipo de resfriamento e da condição inicial do arroz, foi necessário determinar quais as condições de tratamento envolvendo as variáveis

independentes: - tempo de tratamento; - temperatura de tratamento e conteúdo de umidade do arroz que produzissem o melhor resultado.

*b) Escolha do tipo de planejamento fatorial*

Como há três variáveis a serem estudadas, um planejamento experimental de três fatores, não fatorial, com pontos distribuídos em estrela e ponto central foi montado, visando racionalizar a realização dos ensaios de tratamento por microondas do arroz em casca. O objetivo deste planejamento foi o de estudar as condições de tratamento que fornecessem os melhores resultados de rendimento de arroz inteiro, e que fosse elaborado de forma a minimizar a quantidade de experimentos necessários e que possibilitasse a montagem de superfícies de respostas, da variável dependente com relação às independentes baseado na descrição de Barros Netto (1995).

As combinações das três variáveis independentes incluindo tempo de tratamento ( $X_1$ ), temperatura de tratamento ( $X_2$ ) e conteúdo de umidade ( $X_3$ ), variando cada uma em cinco níveis diferentes codificados como: (-1,682), (-1), ( 0 ), (+1) e (+1,682) foram estudadas como mostrado na Tab. 2.1. O planejamento experimental foi utilizado para calcular os efeitos principais das variáveis e suas interações através dos coeficientes de regressão ( $B_i$ ,  $B_{ii}$ , e  $B_{ij}$ ) das três variáveis independentes ( $X_1$ ), ( $X_2$ ) e ( $X_3$ ). Com os valores destes coeficientes é possível montar um modelo empírico utilizando polinômio de segundo grau de acordo com a equação:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{11}(X_1)^2 + B_{22}(X_2)^2 + B_{33}(X_3)^2$$

Onde:

$Y$  - variável dependente (rendimento de grãos inteiros)

$B_i$ ,  $B_{ii}$ ,  $B_{ij}$  - coeficientes codificados de regressão correspondente às variáveis independentes e às suas interações.

Dezessete ensaios de tratamentos por microondas das amostras de arroz recém colhido (cultivar *IAC 103*) foram executados de acordo com o planejamento experimental (Tab. 2.2). A experiência consistiu em observações duplicadas de dois fatoriais completos

(oito tentativas), seis pontos fora da região cúbica (“star point”) para medir superfície de resposta (seis tentativas) e seis pontos centrais de réplica para calcular os erros experimentais (seis tentativas).

A partir da análise de variância (tabela ANOVA) pode-se propor um modelo probabilístico adequado que correlaciona as respostas em função das variáveis estudadas, construindo-se as superfícies de respostas para determinar as faixas ótimas de operação, proporcionando um melhor conhecimento sobre a resposta do sistema frente às variações ou perturbações que podem ocorrer dentro das faixas de operações estabelecidas, fornecendo subsídios para uma melhor estratégia de controle operacional.

#### *2.3.5.3 - Escolha do nível para as variáveis independentes*

##### *a) Escolha da faixa de conteúdo de umidade do arroz que seria estudada no planejamento*

A umidade média dos grãos de arroz durante a colheita é de 25 %, podendo variar de 22 a 27 %. Na escolha dos valores de conteúdo de umidade para o arroz em casca recém colhido, correspondente aos cinco níveis diferentes (-1,682), (-1), ( 0 ), (+1) e (+1,682), que foram utilizados nos experimentos, partiu-se do máximo conteúdo obtido nas várias coletas diretas na plantação da fazenda experimental do IAC, onde foram realizadas 3 coletas, tendo sido o valor médio do conteúdo de umidade mais elevado de 25,5 %, assim este valor foi assumido como correspondente ao ponto (+1,682). Por outro lado, o menor conteúdo obtido, correspondente à umidade de equilíbrio, com secagem natural do arroz recém colhido, foi de 13,5 %. Com isso tornando possível distribuir os demais pontos dentro desta faixa, 24 %, 20 % e 16 %, correspondentes aos pontos (+1), ( 0 ) e (-1), respectivamente, obtidos a partir da secagem do arroz com 25,5 % de umidade.

##### *b) Escolha da faixa de temperatura de tratamento estudada no planejamento*

Na escolha dos valores para a temperatura do tratamento por microondas correspondente aos cinco níveis diferentes (-1,682), (-1), ( 0 ), (+1) e (+1,682), utilizados nos experimentos, partiu-se de um valor um pouco abaixo da temperatura de gelatinização do amido extraído do arroz de 64 a 68 °C, citado por (Vellupilai *et al.*, 1983), assim 61 °C foi o valor assumido como correspondente ao ponto (-1,682). Por outro lado, a maior

temperatura correspondente à gelatinização total do amido, como mostrado no trabalho de (Normand et al., 1989), é de 99 °C, que corresponde ao ponto (+1,682). Com isso foi possível distribuir os demais pontos dentro desta faixa, 68 °C, 80 °C e 92 °C, correspondentes aos pontos (+1), ( 0 ) e (-1), respectivamente.

c) *Escolha da faixa de tempo de tratamento que seria estudada no planejamento*

A partir da análise dos melhores resultados de rendimento de inteiro obtidos nos trabalhos realizados por (Roberts, 1977), com a aplicação de microondas por 2 a 5 minutos no arroz em casca macerado com teor de 30 a 34 % de umidade e (Rocha, 1998) com aplicação microondas de microondas por 1 minuto (após rampa de aquecimento de 3 minutos) no arroz em casca com teor de umidade de 28,0 %, porém com temperatura mantida em 95 °C, verifica-se que o tempo de aplicação de microondas é bastante curto, da ordem de 2 a 5 minutos, assim optou-se por escolher o intervalo de 1'10" a 3'50", correspondendo aos pontos (-1,682) e (+1,682). Com isso foi possível distribuir os demais pontos dentro desta faixa, 1'40", 2'30" e 3'20" correspondentes aos pontos (+1), ( 0 ) e (-1) respectivamente.

Considerado o tempo de tratamento como o período em que o arroz em casca é mantido na temperatura desejada, após uma rampa de aquecimento de 1 minuto, necessária para elevar a temperatura dos grãos de arroz da temperatura ambiente até a desejada para o tratamento. Esta rampa pode ser realizada no forno MDS-2100, utilizando 950 W de potência de microondas aplicada a 300 g de arroz colocado em 6 recipientes de teflon com 50 g em cada um. A partir das considerações levantadas acima foi possível escolher os valores assumidos pelas variáveis independentes: conteúdo de umidade, temperatura de tratamento e tempo de tratamento, que estão mostradas na Tab. 2.1. O planejamento experimental com os valores assumidos pelas variáveis independentes e os resultados dos tratamentos no rendimento de arroz inteiro estão mostrados na Tab. 2.2.

Tabela 2.1 - Planejamento experimental dos tratamentos por microondas

Variáveis independentes	NÍVEIS				
	- $\alpha$	-1	0	1	+ $\alpha$
$X_1$	1'10"	1'40"	2'30"	3'20"	3'50"
$X_2$	61,0	68,0	80,0	92,0	99,0
$X_3$	13,5	16,0	20,0	24,0	26,5

Onde:  $X_1$  = Tempo de tratamento (min.);  $X_2$  = Temperatura de tratamento (°C);

$X_3$  = Conteúdo de umidade (%);  $\pm |\alpha| = 1,682$

#### 2.3.5.4 - Preparação das amostras de arroz em casca para os tratamentos

O arroz cultivar *IAC-103* foi colhido com o maior conteúdo de umidade possível, acondicionado em embalagem plástica e armazenado em caixas térmicas de forma a não perder umidade. Na preparação das amostras, o arroz passou por uma pré-limpeza com corrente de ar frio, para retirar impurezas e grãos muito leves, e em seguida passou por um “trieur” para retirada de grãos descascados e quebrados. Após a pré-limpeza mediu-se a umidade do arroz recém colhido, obtendo-se de 26,5 % de umidade, e este arroz úmido foi utilizado no tratamento por microondas, correspondendo ao ensaio com maior conteúdo de umidade do planejamento experimental. Para os demais ensaios o arroz úmido foi dividido em 4 partes e cada parte foi seca em uma estufa, com temperatura de 35 °C, até serem obtidas as umidades de 24,0; 20,0; 16,0 e 13,5 %, necessárias à realização dos demais ensaios.

#### 2.3.5.5 - Execução dos ensaios de tratamento por microondas

Na execução dos ensaios as amostras foram colocadas nos recipientes de teflon, 50 g em cada um, num total de 6 recipientes por ensaio, e levados ao forno aplicador de microondas MDS-2100. O sensor de temperatura por fibra ótica foi introduzido em um dos recipientes de teflon para a medida e o controle automático da temperatura.

Cada um dos ensaios do planejamento experimental foi programado via teclado do equipamento, com as respectivas condições de tratamento (parâmetros das variáveis

independentes: temperatura de tratamento e tempo de tratamento, subdividido em tempo da rampa de aquecimento e tempo de manutenção na temperatura de tratamento), sendo os tratamentos executados automaticamente pelo forno, após o início do programa.

As variações de temperatura foram monitoradas durante cada ensaio e também após o seu término, mantendo o arroz nos recipientes de teflon. Isto permitiu prosseguir a medida de temperatura até atingir níveis abaixo de 40 °C, quando o arroz foi retirado e levado para a secagem. Um destes gráficos está mostrado na Fig. 2.6, o qual ilustra a variação de temperatura das amostras com o tempo durante o aquecimento pela aplicação de microondas e durante o resfriamento, dentro dos recipientes de teflon.

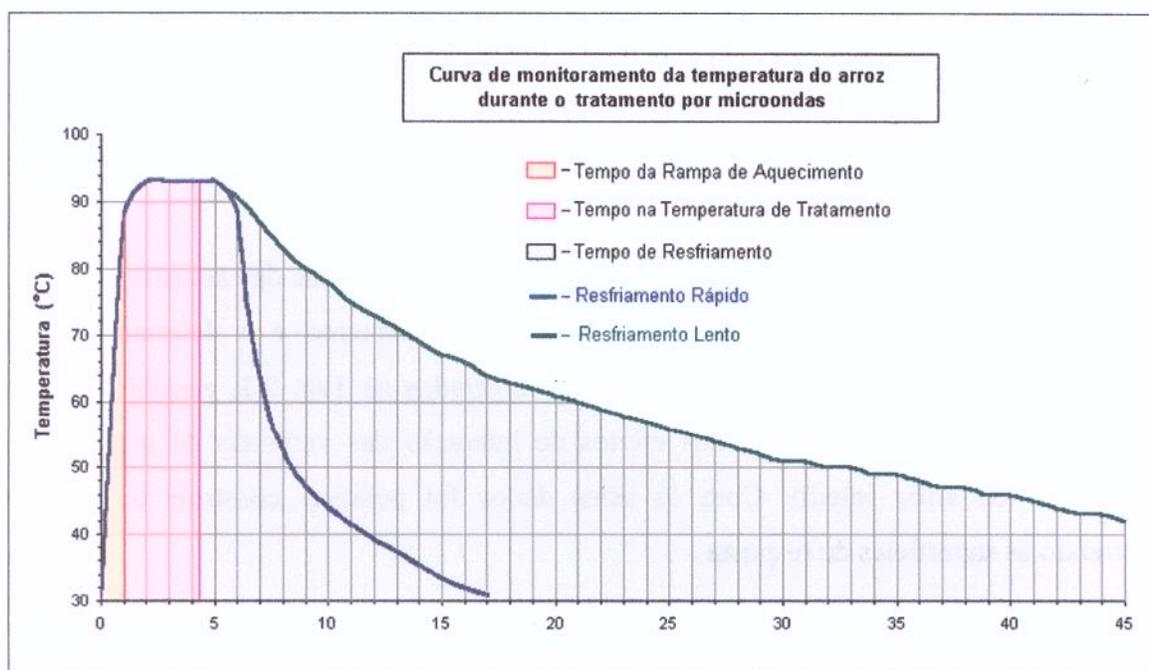


Figura 2.6 - Curva de variação da temperatura do arroz tratado durante o resfriamento

#### 2.3.5.6 - Secagem das amostras tratadas por microondas

A secagem foi realizada na estufa climatizada FANEM, modelo 330, com ar aquecido a uma temperatura média de 35 °C, condição necessária para que ocorresse de forma mais suavemente possível. O processo de secagem foi realizado por aproximadamente 24 horas, tempo necessário para que a umidade dos grãos de arroz atingisse 12 %. As condições de secagem foram escolhidas as mais brandas possíveis para que não interferissem nos resultados do tratamento por microondas.

### *2.3.5.7 - Beneficiamento das amostras de arroz tratadas por microondas*

Após o término da secagem, as amostras contendo 100 g de arroz seco foram levadas para o beneficiador padrão SUZUKI, modelo MT81 onde o arroz foi descascado, obtendo uma quantidade média de casca de 22,3 a 22,8 g. Em seguida as amostras de arroz descascado passaram pelo brunidor. A etapa de brunimento foi realizada em 1 minuto, tendo sido retirado em média de 7,1 a 7,5 g de farelo, sendo que praticamente todo farelo do arroz foi retirado, resultando em arroz branco polido. E em seguida foi determinado o rendimento de arroz inteiro utilizando-se o “trieur de separação de 3/4”. Assim pode-se obter o total de grãos inteiros resultante de cada ensaio experimental, sendo este resultados mostrados na Tab. 2.2.

## **2.4 - Resultados e discussão**

O teor de amilose do arroz IAC 103 foi de 25,5 %, medido no NIRS, demonstrando ser um cultivar de alto teor de amilose.

Após a execução dos ensaios de tratamento por microondas das amostras de arroz recém colhido foram realizados: a secagem, o beneficiamento e a determinação do rendimento de arroz inteiro, com os resultados mostrados na Tab. 2.2, possibilitando os cálculos dos efeitos principais e dos efeitos de interação das variáveis de processo no rendimento de arroz inteiro. Com os estes dados foi possível construir os gráficos mostrando as superfícies de resposta.

A Fig. 2.7 mostra a superfície de resposta do Rendimento em função da Temperatura x Umidade p/ Tempo 2'30''.

Tabela 2.2 - Combinações de tratamentos do arroz: Umidade, Temperatura e Tempo de tratamento por microondas Versus Rendimento

Ensaio	VARIÁVEIS INDEPENDENTES			VARIÁVEL DEPENDENTE
	X <sub>1</sub> (min)	X <sub>2</sub> (°C)	X <sub>3</sub> (%)	Y (%)
01	-1,0 (1'40'')	-1,0 (68,0)	-1,0 (16,0)	40,1
02	-1,0 (1'40'')	-1,0 (68,0)	1,0 (24,0)	51,2
03	-1,0 (1'40'')	1,0 (92,0)	-1,0 (16,0)	32,5
04	-1,0 (1'40'')	1,0 (92,0)	1,0 (24,0)	64,4
05	1,0 (3'20'')	-1,0 (68,0)	-1,0 (16,0)	38,0
06	1,0 (3'20'')	-1,0 (68,0)	1,0 (24,0)	47,5
07	1,0 (3'20'')	1,0 (92,0)	-1,0 (16,0)	33,7
08	1,0 (3'20'')	1,0 (92,0)	1,0 (24,0)	66,5
09	-1,682 (1'10'')	0,0 (80,0)	0,0 (20,0)	48,1
10	1,682 (3'50'')	0,0 (80,0)	0,0 (20,0)	49,9
11	0,0 (2'30'')	-1,682 (61,0)	0,0 (20,0)	49,3
12	0,0 (2'30'')	1,682 (99,0)	0,0 (20,0)	60,8
13	0,0 (2'30'')	0,0 (80,0)	-1,682 (13,5)	22,1
14	0,0 (2'30'')	0,0 (80,0)	1,682 (26,5)	55,5
15	0,0 (2'30'')	0,0 (80,0)	0,0 (20,0)	45,0
16	0,0 (2'30'')	0,0 (80,0)	0,0 (20,0)	45,1
17	0,0 (2'30'')	0,0 (80,0)	0,0 (20,0)	45,3
"in natura"	---	---	---	55,8

Onde: X<sub>1</sub> = Tempo de tratamento (min.); X<sub>2</sub> = Temperatura de tratamento (°C);  
X<sub>3</sub> = Conteúdo de umidade (%); Y = Rendimento (%)



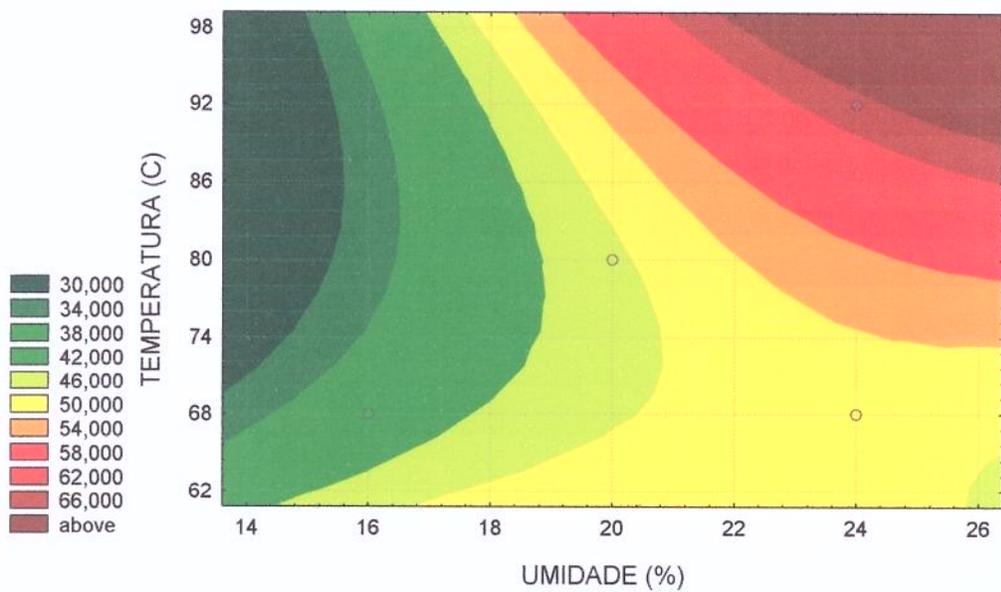
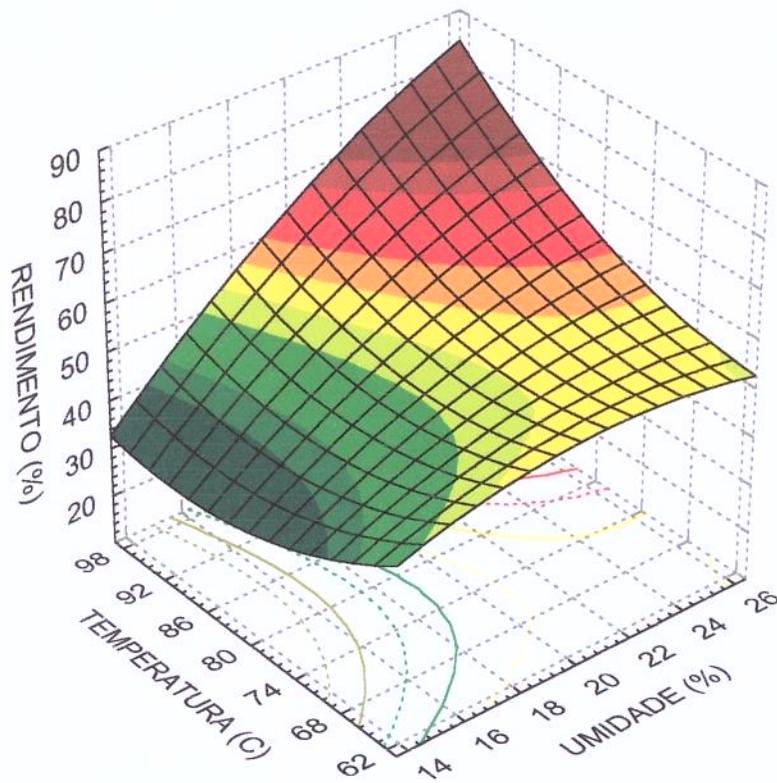


Figura 2.7 - Rendimento em função da Temperatura x Umidade p/ Tempo 2'30''



### 2.4.1 - Cálculos dos efeitos e análise estatística dos resultados

Os dados da Tab. 2.2, correspondentes aos efeitos das variáveis: conteúdo de umidade, temperatura e tempo de tratamento no rendimento arroz inteiro, foram utilizados no programa *Statistica v-6.0* para calcular os coeficientes de regressão mostrados na Tab. 2.3, e a análise da validação estatística utilizando o teste F está mostrada na Tab. 2.4.

Tabela 2.3 - Análise de regressão do rendimento de arroz inteiro

FATORES	Coefficientes de regressão	Desvio padrão coeficientes	t (2)	p
<b>B<sub>0</sub></b> {Constante}	45,190	0,095	476,988	0,000
<b>B<sub>1</sub></b> {(1) Tempo [L]}	0,038	0,045	0,858	0,481
<b>B<sub>11</sub></b> {Tempo [Q]}	1,147	0,049	23,418	0,002
<b>B<sub>2</sub></b> {(2)Temperat.[L]}	2,897	0,045	65,109	0,000
<b>B<sub>22</sub></b> {Temperat. (Q)}	3,285	0,049	67,095	0,000
<b>B<sub>3</sub></b> {(3) Umidade [L]}	10,362	0,045	232,916	0,000
<b>B<sub>33</sub></b> {Umidade (Q)}	-2,475	0,049	-50,544	0,000
<b>B<sub>12</sub></b> {(1)[L] x (2)[L]}	1,123	0,058	19,310	0,003
<b>B<sub>13</sub></b> {(1)[L] x (3)[L]}	-0,088	0,058	-1,505	0,271
<b>B<sub>23</sub></b> {(2)[L] x (3)[L]}	5,518	0,058	94,916	0,000

$p > 0,01$

Os coeficientes de regressão com valores absolutos maiores que o valor de p (0,01) foram descartados e não foram utilizados no modelo empírico.

Tabela 2.4 - Análise estatística utilizando o teste F

Fonte variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F (calculado)	F (tabelado 95% confiança)
Regressão	2115,297	7	302,185	183,923	3,79
Resíduos	11,150	7	1,643	-	-
Falta de ajuste	11,096	5	-	-	-
Erro puro	0,054	2	-	-	-
Total	2126,447	16	-	-	-

% de variação explicada ( $R^2$ ) =  $SQ_R/SQ_T = 0,9476$

Coefficiente de Correlação = 0,9979

Os resultados foram analisados estatisticamente utilizando o teste F para determinar se as diferenças entre os tratamentos foram significativas. O valor de F(tabelado) para 5 % e Var(1) = 7 graus de liberdade e Var(2) = 7 graus de liberdade foi de 3,79. Com os resultados mostrados na Tab. 2.4, pode-se verificar que o F(calculado) foi maior que 48 vezes o F (tabelado), concluindo que o modelo empírico é válido.

A equação polinomial que descreve o modelo é expressa como:

$$\text{Rendimento} = 45,19 + 2,90 * X_2 + 10,36 * X_3 + 1,12 * X_1 * X_2 + 5,52 * X_2 * X_3 + 1,15 * X_1^2 + 3,29 * X_2^2 - 2,48 * X_3^2 \text{ (\%)}$$

Obs: Os valores das variáveis:  $X_1$ (Umidade)  $X_2$ (Temperatura) e  $X_3$ (Tempo), estão parametrizados e variam de - 1,682 a + 1,682 na equação, correspondendo aos valores de 13,5 a 26,5 (%); 61,0 a 99,0 (°C) e 1'10" a 3'50" (min) respectivamente.

## 2.4.2 - Análise dos resultados

### 2.4.2.1 - Análise dos resultados de rendimento de arroz inteiro

O melhor resultado de rendimento de arroz inteiro do planejamento experimental foi de 66,48 % (66,48 g em 100 g de arroz em casca). Resultado obtido quando com o tratamento dos grãos de arroz com teor de umidade de 24 %, a uma temperatura de 92 °C durante 3'20". Ao comparar este resultado com o rendimento de inteiro do arroz "in natura" (arroz sem tratamento), que foi de 55,75 g, verifica-se um aumento de 10,73 g no rendimento, significando um aumento de 55,75 g para 66,48 g, que em termos percentual representa 19,25 % de aumento no rendimento de arroz inteiro, na melhor condição de tratamento.

### 2.4.2.2 - Análise dos resultados mostrados nas superfícies de respostas

Analisando as superfícies de respostas pode-se verificar que somente em determinadas condições de tratamento se obteve resultados satisfatórios, particularmente para conteúdos de umidade acima de 20 % e temperatura acima de 92 °C, simultaneamente.

Os melhores resultados foram obtidos com um tempo de tratamento de 2,30 minutos a uma temperatura de 92 °C e com o conteúdo de umidade do arroz em 26,5%.

Uma comparação do rendimento do arroz "in natura" (sem tratamento) com os rendimentos resultantes dos tratamentos por microondas pode de ser feita dividindo a superfície de resposta em duas regiões: (1) - Região com rendimento abaixo do rendimento do arroz "in natura"; (2) - Região com rendimento acima do rendimento do arroz "in natura".

A região com resultados acima do rendimento do arroz "in natura" esta limitada por uma curva que passa pela temperatura mínima de 77 °C, em uma extremidade e pela umidade mínima de 18 % na outra. Estes resultados são dependentes do estado físico em que o material dos grãos se encontra durante o tratamento (estado amorfo ou cristalino) e da extensão da gelatinização do amido dos grãos, resultante do aquecimento produzido pela aplicação de microondas.

O material dos grãos de arroz, dependendo das condições de umidade e temperatura, pode se apresentar no estado cristalino ou amorfo. Assim para se obter resultado satisfatório do tratamento no rendimento de arroz inteiro é necessário realizar o tratamento com os grãos no estado amorfo, onde suportam maiores os esforços mecânicos, e também a temperatura de tratamentos deve atingir valores acima da temperatura gelatinização da maior parte dos grãos de arroz, produzindo uma gelatinização parcial do amido, que após a retrogradação aumenta a resistência dos grãos.

A gelatinização é um fenômeno hidrotérmico irreversível, que ocorre com o amido alterando completamente a sua estrutura, liderando as cadeias de amilose e amilopectina no meio úmido do interior das células dos grãos de arroz, que durante a secagem sofrerá retrogradação, aumentando a resistência dos grãos e reduzindo a sua susceptibilidade à quebra.

### 2.4.2.3 - Análise dos resultados utilizando o gráfico de Pareto

Analisando os resultados dos efeitos das variáveis de processo, mostrados no gráfico da Fig. 2.8, é possível observar que o mais significativo é o efeito principal da umidade do arroz, seguido pelo efeito de interação entre umidade e temperatura, em terceiro lugar esta o efeito principal da temperatura.

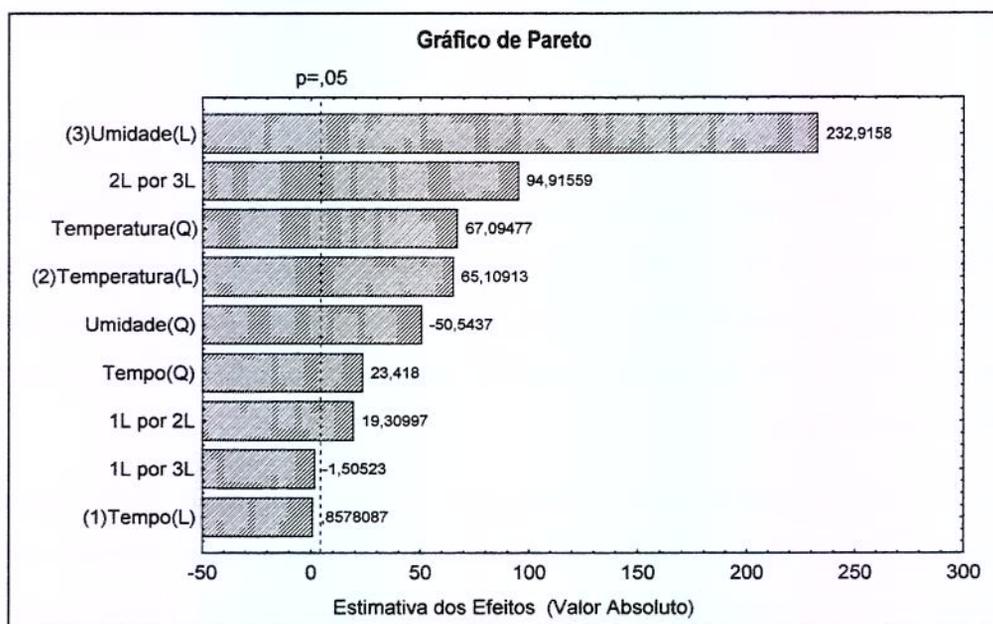


Figura 2.8 - Gráfico de Pareto para os efeitos

### 2.4.3 - Otimização das variáveis de processo

Os dados obtidos do rendimento de grãos inteiros no tratamento por microondas demonstraram que este é um método efetivo para melhorar a qualidade de beneficiamento do arroz recém colhido, desde que as condições de tratamento sejam adequadas, pois senão há uma quebra significativa no rendimento de arroz inteiro, inviabilizando o processo.

A otimização das variáveis de processo para obter o máximo de rendimento possível pode ser obtida quando o arroz recém colhido apresenta conteúdo de umidade mais elevado possível (> 24 %), utilizando a temperatura de tratamento dos grãos acima 92 °C, independente do tempo de tratamento.

O tempo de tratamento não foi significativo quando analisado como tempo em que o arroz permanece na temperatura de tratamento após rampa de aquecimento de 1 minuto. Praticamente toda a energia de microondas gasta no tratamento é gasta na rampa de

aquecimento, que depende da relação entre a potência de microondas emitida pelo forno e a quantidade de arroz a ser tratado, sendo que nos experimentos foi mantida constante em aproximadamente 3 W/g ( $950 \pm 50$  W por  $300 \pm 10$  g), sem considerar a massa dos recipientes de teflon.

Assim pode-se verificar que o menor tempo de tratamento (1'10") foi suficiente para permitir resultados próximos ao maximizado. Indicando que, uma vez atingida a temperatura de tratamento é possível obter os resultados desejados e que o tempo restante é apenas para garantir que a maior quantidade possível de grãos alcance a temperatura de tratamento.

#### 2.4.4 - Discussão dos resultados

Um fator que tem uma influência considerável sobre os resultados de rendimento de arroz inteiro e fato do arroz ser um sistema particulado, formado de muitos grãos individuais. Assim suas propriedades são observadas como a média das propriedades de cada grão individual, porém quando os grãos apresentam propriedades individuais diferentes em relação à média, principalmente para a distribuição de umidade dos grãos, estes terão propriedades dielétricas diferentes, resultando em taxas de aquecimento diferentes, podendo alguns grãos atingir temperaturas elevadas e outros ainda estarem frios, uma vez que o aquecimento por microondas é muito rápido e a temperatura lida pela sonda é a média da massa de grãos. Com isso uma parcela de erro pode ter sido introduzida no rendimento de arroz inteiro devido à dificuldade de homogeneizar as propriedades dos grãos antes dos tratamentos e mesmo antes do beneficiamento.

Outro fator de grande influência no rendimento é a taxa de remoção de água durante o tratamento e na secagem. A taxa de remoção de água durante a secagem tem grande influência no rendimento de grãos inteiros. Quanto mais rápida a remoção de umidade maior é o gradiente de umidade criado, pois a superfície seca mais rapidamente que a parte interna do grão. As diferenças de gradiente de umidade dentro do grão de arroz produzem tensões que podem causar trincas no grão quando estas excedem a resistência à ruptura do material do grão de arroz (Bautista, 1998).

Sendo a taxa de evaporação o principal fator responsável pela redução da qualidade do grão, quando esta permanece baixa durante a secagem, o rendimento de arroz inteiro não é afetado pelas altas temperaturas (Archila et al., 1998).

As propriedades físicas e térmicas dos materiais amorfos, como calor específico, volume específico, coeficientes de expansão e módulo elasticidade mudam quando eles passam por uma temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). Em temperaturas abaixo da  $T_g$ , os materiais amorfos são vítreos com alta viscosidade e densidade, mas com baixo coeficiente de expansão. Nas temperaturas acima da  $T_g$ , eles são amorfos com coeficiente de expansão mais alto e densidade mais baixa (Slade & Levine, 1995).

## 2.5 - Conclusões

O tratamento por microondas demonstrou ser um método efetivo para aumentar o rendimento de inteiro do arroz recém colhido, desde que as condições de tratamento sejam adequadas, pois senão há uma quebra significativa no rendimento de arroz inteiro, inviabilizando o processo.

A otimização do processo para o máximo de rendimento possível pode ser obtida quando a umidade do arroz recém colhido é elevada (> 24 %) e a temperatura de utilizada no tratamento dos grãos está acima 92 °C. O tempo de tratamento não foi muito significativo, indicando que o menor tempo de tratamento (1'10") foi suficiente para permitir resultados próximos ao maximizado, pois uma vez atingida a temperatura de tratamento é possível obter os resultados desejados e o tempo restante é necessário apenas para garantir que a maior quantidade possível de grãos alcance a temperatura de tratamento.

A variável de tratamento que teve o maior influência no rendimento foi a umidade do arroz com o maior valor (20,73), seguido pelo efeito da temperatura de tratamento (5,79), já para o tempo de tratamento não foi significativo. O efeito de interação entre as variáveis de processamento foi elevado para interação da temperatura com a umidade (11,03), já para as outras interações não foi significativo.

O melhor resultado de rendimento de arroz inteiro do planejamento experimental foi de 66,48 % (66,48 g em 100 g de arroz em casca). Resultado obtido quando o tratamento foi realizado com teor de umidade de 24 % para os grãos de arroz e a uma temperatura de

92 °C durante 3'20". Ao comparar este resultado com o rendimento de inteiro do arroz "in natura" (arroz sem tratamento), que foi de 55,75 g, verifica-se um aumento de 10,73 g no rendimento, significando um aumento de 55,75 g para 66,48 g, que em termos percentual representa 19,25 % de aumento no rendimento de arroz inteiro, na melhor condição de tratamento.



## **Capítulo 3 - ESTUDO DAS ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO ARROZ RECÉM COLHIDO COMO EFEITO DO TRATAMENTO POR MICROONDAS**

### **3.1 - Introdução**

A dificuldade de se manter constante a qualidade do arroz comercializado durante o ano, nos períodos de safra e entressafra, causa sérios transtornos para as empresas beneficiadoras, pois o arroz recém colhido não apresenta o mesmo padrão de qualidade que o colhido e armazenado por seis meses ou mais (envelhecido). Para evitar uma brusca alteração no padrão de qualidade as empresas fazem uma mistura de arroz envelhecido com o recém colhido. Assim, durante a safra, o custo do arroz mesclado torna-se maior do que o do arroz recém colhido, viabilizando o desenvolvimento de tecnologias capazes de produzir um envelhecimento artificial acelerado, a partir de alterações nas propriedades físico-químicas do arroz recém colhido, tornando-o mais parecido com o arroz envelhecido.

A aplicação do aquecimento por microondas no tratamento de envelhecimento artificial acelerado do arroz pode ser feita no arroz em casca, no descascado, ou no arroz branco polido. Para produzir as alterações físico-químicas que caracterizam o envelhecimento é necessário elevar a temperatura do grão acima da temperatura de gelatinização do amido do arroz ( $\approx 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Mas se estas temperaturas forem obtidas por processos convencionais, que dependem da convecção e condução do calor, produzirá elevados gradientes de temperatura e umidade, e conseqüentemente enormes tensões interna ao grão, podendo causar a sua quebra e uma excessiva redução no rendimento de grãos inteiro após o beneficiamento do arroz. Com a utilização da energia de microondas é possível obter um aquecimento da massa do grão com um todo, sem que haja o surgimento de gradientes de temperatura, umidade e elevadas tensões internas ao grão de arroz.

### **3.2 - Objetivos**

Estudar os efeitos do tratamento por microondas nas alterações físico-químicas do arroz recém colhido quando tratado na condição de maior rendimento de arroz inteiro obtidos no Cap. 2 e demonstrar a viabilidade técnica da aplicação de microondas para, simultaneamente, aumentar o rendimento de arroz inteiro e produzir um efeito de envelhecimento artificial acelerado nos grãos de arroz recém colhido.

### **3.3 - Material e Métodos**

#### **3.3.1 - Matéria-prima**

O arroz (*Oryza Sativa* L.) cultivar *IAC-103* foi utilizado como matéria prima básica nos experimentos. Este cultivar de arroz pertence à classe de grão longo fino e sistema de cultivo por inundação. Os materiais utilizados foram produzidos nas safras de 2000 e 2001, na Estação Experimental de Pindamonhangaba do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) / SP. As amostras de arroz da safra 2001 foram colhidas com maior conteúdo de umidade possível, no dia da realização dos experimentos, e acondicionado em embalagens plásticas para manter a umidade durante o transporte. As amostras de arroz da safra 2000 já se encontravam secas e armazenadas desde a colheita (período de um ano) com teor de umidade de 12 %.

#### **3.3.2 - Equipamentos**

##### *3.3.2.1 - Forno de microondas com sensor e controle automático de temperatura*

O forno de microondas especial para laboratório, modelo MDS-2100, fabricado pela CEM Corporation, EUA (equipamento descrito no Cap. 2).

##### *3.3.2.2 - Estufa climatizada*

Estufa marca FANEM, modelo 330, com câmara de secagem com dimensão de 150 cm x 72 cm x 93 cm e 12 cm de altura entre bandejas, possuindo circulação forçada de ar e controle de temperatura do ambiente interno. Estufa utilizada para a secagem das amostras de arroz em bandejas de alumínio, mantidas a uma temperatura média de 35 °C, até atingirem 12 % de umidade.

##### *3.3.2.3 - Beneficiador padrão para arroz*

Beneficiador padrão para arroz marca SUZUKI, modelo MT81, constituído de descascador, brunidor e “trieur” para separação de grãos inteiros e quebrados (equipamento descrito no Cap. 2).

### 3.3.2.4 - Panela com aquecimento elétrico para teste de cozimento

Panela elétrica para aquecer / cozer arroz marca ZOJIRUSHI, modelo NRC-10 com 28 cm de largura, 26 de profundidade e 25 de altura e 480 W de potência (Fig. 3.1).

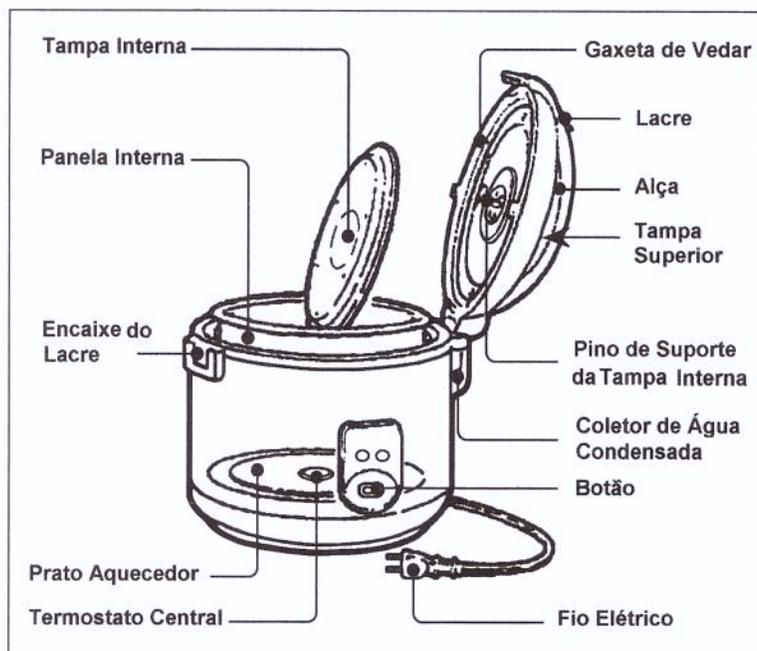


Figura 3.1 - Panela com aquecimento elétrico

### 3.3.3 - Instrumentos

#### 3.3.3.1 - Espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIRSystem)

Analizador por varredura espectrofotométrica de infravermelho próximo, fabricado pela Perstop Analytical Inc., modelo 6500 (NIRSystem Scanning Spectrophotometer), com software de análise espectral VISION e programas “Chemometric NSAS /IQ<sup>2</sup>”. Este instrumento foi ajustado com a curva de calibração fornecida pela Universidade Estadual da Louisiana, LA, USA e utilizado para análises de teor de amilose, proteínas e análise rápida da umidade de amostras de arroz.

#### 3.3.3.2 - Balanças eletrônicas analítica e semi-analítica

Balança eletrônica analítica, modelo AB-250D, fabricada pela Denver Instruments Company, EUA. Faixas de medição: de 0 a 52 g com incremento de 0,01 mg; precisão de 0,02 mg; linearidade de  $\pm 0,03$  mg e de 0 a 205 g com incremento de 0,1 mg; precisão de 0,1 mg; linearidade de  $\pm 0,2$  mg.

Balança eletrônica semi-analítica marca AINSWORTH, modelo DE-3100D, com precisão de 0,01g para carga até 310 g e 0,1 para carga até 3100 g.

#### 3.3.3.3 - Estufa para determinação de umidade

Estufa marca NOVA TÉCNICA, modelo MA-035, com aquecimento até 250 °C e controle automático por termostato para a temperatura programada.

#### 3.3.3.4 - Aparelhos para determinação rápida de umidade e teor de sólidos solúveis

Forno aplicador de microondas CEM, modelo Smart-5, com balança interna (equipamento descrito no Cap. 2).

Balança OHAUS para determinação de umidade, modelo MB200, aquecida por infravermelho, com as seguintes especificações: capacidade 200 g; incremento: 0,01 g; precisão:  $\pm 0,007$  g; linearidade:  $\pm 0,01$  g; Faixa de umidade: 0 a 100 %; Relógio: 0 a 180 (minutos); programação de temperatura: 35 °C a 205 °C de 1 °C em 1 °C.

#### 3.3.3.5 - Viscoamilógrafo RVA

O viscoamilógrafo RVA (“Rapid Viscosity Analyser”) é utilizado para medir a viscosidade de pasta de farinhas de produtos amiláceos. Os detalhes deste equipamento (console de ensaios, torre com motor e hélices de teste) estão mostrados na Fig. 3.2.

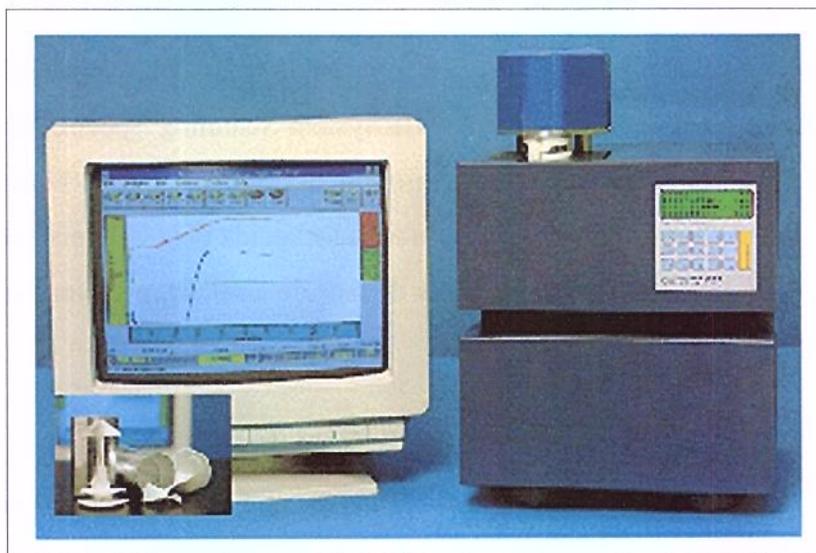


Figura 3.2 - Viscoamilógrafo RVA

O resultado da análise viscoamilográfica é uma curva da viscosidade em função da rampa de temperatura e do tempo de execução do ensaio como mostra a Fig. 3.3.

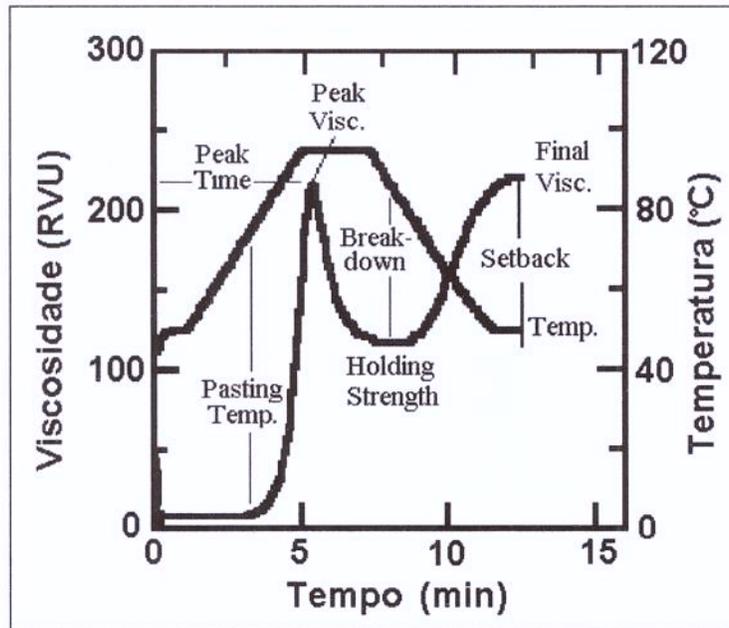


Figura 3.3 - Curvas de comportamento da viscosidade no RVA

#### 3.3.3.6 - Texturômetro TA-XT2

O texturômetro TA-XT2 é um equipamento baseado no sistema de deslocamento de uma sonda de teste com velocidade constante e um sensor da força exercida para efetuar o deslocamento. Este equipamento é utilizado para medir a força de resistência à compressão de uma determinada amostra, e também pode medir a tensão de tração após a compressão, caso a amostra apresente aderência à superfície da sonda. A textura está diretamente ligada à dureza do material da amostra, assim quanto maior a força necessária para vencer a resistência à compressão do material, maior a sua dureza. A adesividade está ligada à capacidade do material em aderir à superfície da sonda, após a compressão, e resistir à força de tração da sonda, durante o seu deslocamento em direção à sua posição inicial.

Durante a execução de um ensaio, a sonda se desloca em direção a base até encostar-se na amostra e uma vez atingida a força para disparar o gatilho inicia-se a elaboração do gráfico. Quando a amostra tiver sido comprimida em 90 % do seu tamanho, a sonda então retorna (na velocidade máxima), na qual o parâmetro de adesividade é medido. Este valor é a força necessária para separar a amostra da superfície da sonda após a

compressão ter sido realizada e uma boa área superficial tenha sido produzida. A Fig. 3.4 mostra os detalhes do texturômetro TA-XT2 e a Fig. 3.5 mostra um exemplo do conjunto de curvas resultantes de 4 ensaios.



Figura 3.4 - Texturômetro TA-XT2

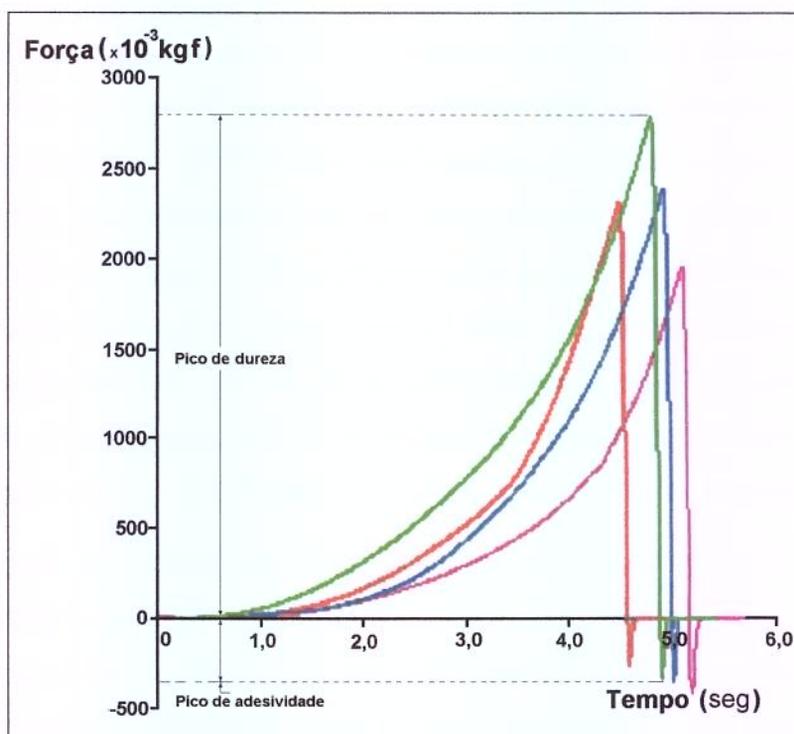


Figura 3.5 - Curvas de textura de adesividade no texturômetro

### 3.3.3.7 - Colorímetro

O Colorímetro Hunter Lab, modelo Color Quest II, utilizando a escala de cores oponentes (Hunter Lab, CIE 1976 L\* a\* b\*, e CIELCh). Assim, na escala **Hunter**, o parâmetro L mede a luminosidade ou brancura e varia de 100 para o branco perfeito até zero para o preto, aproximadamente como os olhos seriam capazes de avaliar e discernir. Os parâmetros de cromaticidade (**a** e **b**) fornecem uma interpretação compreensível da cor como segue:

- a - mede a intensidade de cor vermelha quando positivo, cinza quando zero, e intensidade de cor verde quando negativo.
- b - mede a intensidade de cor amarela quando positivo, cinza quando zero, e intensidade de cor azul quando negativo.

### 3.3.4 - Métodos

#### 3.3.4.1 - Teor de amilose

O teor de amilose do cultivar de arroz IAC-103 foi medido utilizando o espectrofotômetro de infravermelho próximo PERSTOP, modelo 6500, ajustado com a curva de calibração fornecido pela Universidade da Louisiana, LA, EUA.

#### 3.3.4.2 - Conteúdo de umidade (medida padrão)

Os conteúdos de umidade das amostras de arroz em casca foram determinados de acordo com o método descrito pela AOAC (1993) com amostras de 100 g mantidas em uma estufa à temperatura de 103 °C até atingir peso constante.

#### 3.3.4.3 - Medição rápida de umidade

As amostras de arroz em casca úmido foram descascadas (no beneficiador SUZUKI), trituradas (em um liquidificador) e passadas por uma peneira com abertura de 0,42 mm (padrão ABNT, n. 40). Em seguida a umidade foi determinada usando a balança aquecida por infravermelho, marca OHAUS, modelo MB-200, com temperatura programada para 150 °C por 20 minutos. Os resultados destas medidas foram corrigidos a

partir da calibração contra o padrão primário de determinação (medida padrão) citado anteriormente.

#### 3.3.4.4 - *Análise de viscosidade amilográfica (RVA)*

Determinação das propriedades amilográficas do arroz com o RVA (“Rapid Visco-Analyser”), método aprovado pela American Association of Cereal Chemists (AACC), [AACC 61-02, 1995].

#### 3.3.4.5 - *Análise de textura (dureza e adesividade) do arroz cozido*

As análises comparativas da textura (dureza e adesividade) das amostras de arroz foram realizadas nos grãos de arroz cozido utilizando-se o método descrito no manual do fabricante do texturômetro TA-TX2 para comparação de dureza e adesividade de arroz cozido.

#### 3.3.4.6 - *Testes de cozimento*

1) - *Tempo ótimo de cozimento*: é o tempo necessário para o total desaparecimento dos núcleos brancos no centro do produto que está sendo cozido. É determinado mediante a colocação de 10 g de arroz em 300 mL de água em ebulição e, após um tempo de cozimento determinado, é verificada a existência de pontos brancos no arroz cozido através da compressão dos grãos entre duas lâminas de vidro.

2) - *Absorção de água*: é determinada pelo aumento de peso durante o cozimento. Colocam-se 10 g de arroz em 300 mL de água em ebulição e cozinha-se durante o tempo ótimo de cozimento. O arroz é então drenado por centrifugação e pesado, a absorção de água é dada pela relação peso de arroz cozido / peso de arroz cru.

3) - *Aumento de volume*: mede-se, em uma proveta graduada, o volume de água deslocado por 10 g de arroz, antes e depois do cozimento.

4) - *Perda de sólidos solúveis*: é dada pela percentagem de sólidos solúveis presentes na água de cozimento. É determinada pelo teor de sólidos presente na água residual do cozimento de 10 g de arroz em 300 mL de água, quando atingido o tempo ótimo de cozimento.

### 3.3.5 - Procedimento experimental

Neste capítulo foram realizados vários experimentos e análises para estudar as alterações físico-químicas ocorridas nas amostras de arroz recém colhido tratado por microondas, no envelhecido naturalmente (safra 2000) e no arroz parboilizado pelo processo convencional, com relação ao arroz safra 2001 sem tratamento (controle).

#### 3.3.5.1 - *Preparação das amostras para os tratamentos por microondas*

O arroz cultivar *IAC-103* foi utilizado como matéria prima em todos os ensaios realizados. Na preparação inicial das amostras o arroz safra 2001 (recém colhido) e o arroz safra 2000 (envelhecido) passaram por uma pré-limpeza com corrente de ar para retirar impurezas e grãos muito leves, em seguida passaram por um “trieur” para retirada de grãos descascados e quebrados. As amostras de arroz safra 2001 colhido com umidade em torno de 25 % foram secas, na estufa FANEM, modelo 330, com temperatura de 35 °C até atingir 12 % de umidade. Estas amostras foram utilizadas como referência de arroz recém colhido (arroz safra 2001 sem tratamento). As amostras de arroz safra 2000 (envelhecido) já se encontravam com 12 % de umidade, não necessitando de secagem, estas amostras foram utilizadas como referência de arroz envelhecido (arroz safra 2000 envelhecido). O arroz safra 2001 (recém colhido), antes de ser tratado por microondas, foi deixado descansar por 24 horas, mantendo uma umidade de 24 %.

#### 3.3.5.2 - *Execução dos tratamentos por microondas no arroz em casca*

As amostras de arroz safra 2001 (recém colhido), com 24 % de umidade e descansado por 24 horas, foram submetidas aos tratamentos pela aplicação de microondas, a temperatura de tratamento de 92,0 °C e o tempo de tratamento de 3'20" (condições de processo que resultaram no melhor rendimento, ver Cap. 2). Estas amostras foram utilizadas como referência de arroz recém colhido (arroz safra 2001 tratado por microondas).

Um outro lote de amostras de arroz safra 2001 (recém colhido) foi submetido ao processo de parboilização convencional, passando por uma etapa de maceração de 6 horas em água a 70 °C e em seguida por uma gelatinização por aplicação de vapor (pressão de 10 bar) por 15 minutos, seguido por uma secagem até atingir 12 % de umidade. Estas

amostras foram utilizadas como referência de arroz recém colhido parboilizado (arroz safra 2001 parboilizado).

Na execução dos ensaios as amostras foram colocadas nos recipientes de teflon, 50 g em cada um, num total de 6 recipientes por ensaio e levados ao forno aplicador de microondas MDS-2100. Este forno opera com uma frequência de 2450 MHz, 950 W de potência de saída e com sensor de temperatura por fibra ótica introduzida em um dos recipientes de teflon para medida e controle automático da temperatura. O forno foi programado para cada ensaio, via teclado do equipamento, com as condições de tratamento (temperatura de tratamento e tempo de tratamento, subdividido em tempo da rampa de aquecimento e tempo de manutenção na temperatura de tratamento), sendo os tratamentos executados automaticamente pelo forno, após o início do programa.

#### *3.3.5.3 - Secagem das amostras tratadas por microondas*

A secagem foi realizada na estufa climatizada FANEM, modelo 330, com ar aquecido a uma temperatura em torno de 35 °C de forma que a secagem ocorresse o mais suavemente possível. O processo de secagem foi realizado por aproximadamente 24 horas, tempo necessário para que a umidade dos grãos de arroz atingisse 12 %. As condições de secagem foram escolhidas as mais brandas possíveis para que não interferissem nos resultados do tratamento por microondas.

#### *3.3.5.4 - Beneficiamento das amostras de arroz*

Após o término da secagem, 100 g de amostra de arroz seco (12 % de umidade) foram levadas ao beneficiador de arroz SUZUKI, modelo MT81, onde foram descascadas e em seguida brunidas. O brunimento foi realizado em 1 minuto, sendo que praticamente todo farelo do arroz foi retirado, restando apenas os grãos de arroz polido. Estes grãos foram selecionados utilizando o “trieur” do beneficiador para a retirada dos grãos quebrados. Os grãos inteiros de arroz polido foram usados como amostras para as análises dos efeitos dos tratamentos por microondas.

### *3.3.5.5 - Determinação da cor e aspectos visuais dos grãos de arroz*

Acompanhando os vários tratamentos por microondas, a cor das amostras de arroz beneficiado foi determinada utilizando o colorímetro Hunter Lab Color Quest II. Na execução das leituras das componentes de cor, 50 g de arroz de cada uma das amostras acima mencionadas foram moídas em um moinho Brabender e passadas por uma peneira com abertura de 0,42 mm (padrão ABNT, n. 40). Em seguida 10 g de cada uma destas amostras de arroz moído e peneirado foi colocada em um recipiente com tela de cristal, apropriado para leitura de cor sem causar interferência, e levada ao colorímetro onde foram realizadas as leituras.

Os aspectos visuais dos farelos de arroz foram capturados a partir da digitalização da imagem das amostras de arroz posicionadas diretamente na superfície de leitura do “scanner” marca Hewlett Packard, modelo 3400 C. As amostras de arroz polido: safra 2001 tratado por microondas; safra 2001 sem tratamento (recém colhido); safra 2000 sem tratamento (envelhecido) e safra 2001 parboilizado convencionalmente tiveram suas imagens digitalizadas.

### *3.3.5.6 - Execução dos ensaios viscoamilográficos das amostras de arroz*

As amostras de arroz polido foram moídas em um moinho Brabender, passadas por uma peneira com abertura de 0,42 mm (padrão ABNT, n. 40) e amostras com  $3,50 \pm 0,01$  g de arroz (com 14,0 % de umidade) moído e peneirado foram pesadas e transferidas para o recipiente de ensaio contendo água. Na execução de cada ensaio no viscoamilógrafo RVA utilizou-se  $25,0 \pm 0,1$  mL de água destilada, quantidade corrigida em cada ensaio para compensar a diferença de umidade da amostra em relação ao padrão de 14,0 %.

A hélice de teste foi posicionada no recipiente de ensaio e agitada vigorosamente para cima e para baixo através da amostra, pelo menos 10 vezes. Em seguida o recipiente de ensaio foi inserido no instrumento. O ciclo de análise foi iniciado abaixando a torre com o motor do instrumento, após a conclusão do ensaio o recipiente foi removido e o material ensaiado foi descartado. As análises foram realizadas com os seguintes parâmetros de operação do viscoamilógrafo descrito no método [AACC 61-02, 1995] (Tab. 3.1).

Tabela 3.1 - Parâmetros de operação do viscoamilógrafo RVA

Tempo	Tipo	Valor
00:00:00	Temperatura	50 °C
00:00:00	Velocidade	960 rpm
00:00:10	Velocidade	160 rpm
00:01:00	Temperatura	50 °C
00:04:48	Temperatura	95 °C
00:07:18	Temperatura	95 °C
00:11:06	Temperatura	50 °C

As curvas com os dados dos ensaios foram armazenadas para serem desenhadas posteriormente em um único gráfico junto com as análises das outras amostras, fornecendo assim uma visualização comparativa do comportamento viscoamilográfico das diferentes amostras ensaiadas.

#### 3.3.5.7 - Execução dos ensaios de textura e adesividade do arroz

*Preparação das amostras:* Para cada análise, 200 g de arroz polido foi lavado 4 vezes, drenado e em seguida colocado em uma panela antiaderente e a ele foi adicionado 500 mL de água. A panela foi colocada sobre um chapa com aquecimento elétrico e o cronômetro foi disparado neste momento. O arroz foi mantido fervente em aquecimento médio até o cronômetro atingir 20 minutos a partir deste ponto a chapa de aquecimento foi desligada. Uma tampa foi colocada sobre a panela que foi mantida na chapa de aquecimento por mais 10 minutos.

Antes de iniciar o primeiro teste de compressão, a sonda foi calibrada para reconhecer a posição da superfície base. Isto foi feito utilizando os comandos do painel de controle do texturômetro e especificando a distância que a sonda deve percorrer, depois de compressão da amostra, para cada teste. A distância utilizada para o retorno da sonda foi de 5 mm.

No início de cada teste, três grãos de arroz foram selecionados e retirados do centro da panela, com a ajuda de uma espátula. Estes grãos foram colocados cuidadosamente embaixo da sonda, tendo certeza que a posição deles fosse centralizada. Este procedimento

foi repetido várias vezes, tão depressa quanto possível para evitar a secagem da amostra durante o resfriamento. Um gráfico contendo as curvas destes ensaios foi armazenado após a realização de pelo menos 10 ensaios com diferentes grãos da mesma amostra de arroz. A partir dos dados deste gráfico foi possível obter os valores médios de dureza e adesividade do arroz em teste. Os ensaios foram realizados com os seguintes parâmetros de operação do texturômetro:

Tabela 3.2 - Parâmetros de operação do texturômetro TA-TX2

Parâmetros de operação do texturômetro	
Modo de operação:	Medida de força de compressão
Opção:	Retorno ao início
Velocidade de pré-teste:	5,0 mm/s
Velocidade de teste:	0,5 mm/s
Velocidade de pós-teste:	10,0 mm/s
Percentual de compressão	90 %
Tipo de gatilho	Automático 3 g
Taxa de aquisição de dados	400 pps

#### 3.3.5.8 - Determinação das características de cozimento das amostras de arroz

As determinações das características de cozimento das amostras de arroz IAC-103: safra 2001; safra 2000; tratado por microondas e parboilizado foram realizadas inicialmente pela determinação do tempo ótimo de cozimento de cada amostra. Este foi determinado pela realização do cozimento de amostras de 30 g de arroz em 900 mL de água. O teste de cozimento foi iniciado com a água em ebulição, e após 10 minutos de cocção, foram retiradas amostras de 0,5 em 0,5 minuto para verificar a existência de pontos brancos no arroz cozido, comprimindo os grãos entre duas lâminas de vidro. No tempo onde não mais existiram pontos brancos foi assumido como tempo ótimo de cozimento.

A absorção de água foi determinada cozinhando 30 g de arroz em 900 mL de água, durante o tempo ótimo de cozimento. Após o cozimento, o arroz foi retirado, drenado em uma centrifuga de cesto e pesado. O coeficiente de absorção de água foi dado pela relação peso de arroz cozido / peso de arroz cru.

A determinação do aumento de volume do arroz durante o cozimento foi realizada no arroz cozido para a determinação da absorção de água, para isso uma proveta graduada foi utilizada para medir o volume de querosene deslocado por 30 g de arroz, antes e depois do cozimento. O coeficiente de aumento de volume é dado pela relação volume de arroz cozido / volume de arroz cru.

A perda de sólidos solúveis foi determinada medindo o teor de sólidos na água residual do cozimento de 30 g de arroz em 900 mL de água, durante o tempo ótimo de cozimento. A água residual após o cozimento foi coletada e sua massa, depois de escorrido o arroz, foi medida (por pesagem na balança semi-analítica). O teor de sólidos residuais na água de cocção foi determinado utilizando o forno aplicador de microondas CEM Smart-5, com as amostras colocadas em papel especial para secagem.

### 3.4 - Resultados e discussão

#### 3.4.1 - Medidas no espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIRSystem)

Os teores de amilose, proteína e umidade das amostras de arroz foram analisadas no espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIRs), utilizando a curva de calibração fornecida pela Universidade Estadual da Louisiana, LA, USA. Os resultados destas análises realizada em triplicata estão mostrados na Tab. 3.3.

Tabela 3.3 - Teor de amilose, proteína e umidade medidos no NIRSystem

Amostras de arroz (IAC-103)	Teor de amilose (b.s.)	Proteína (b.s.)	Umidade
Safra 2001 Recém colhido	26,57 ± 0,74 %	4,33 ± 0,11 %	11,66 ± 0,26 %
Safra 2000 Envelhecido	26,54 ± 0,61 %	4,59 ± 0,11 %	12,20 ± 0,14 %
Safra 2001 Tratado por M.O.	24,87 ± 0,91 %	4,22 ± 0,05 %	10,65 ± 0,08 %
Safra 2001 Parboilizado	22,21 ± 0,40 %	5,10 ± 0,04 %	9,26 ± 0,05 %

#### 3.4.2 - Efeito do tratamento por microondas na cor e aspectos visuais dos grãos

Nas análises de cor das amostras de arroz utilizou-se o colorímetro Hunter Lab, modelo Color Quest II, com a escala de cor **Hunter**, onde o L (mede a claridade ou luminosidade e varia de 100 para o branco perfeito até zero para o preto) e os parâmetros de

cromaticidade **a** (mede a intensidade de cor verde quando negativo e vermelha quando positiva) e **b** (mede a intensidade de cor verde quando negativo e amarela quando positivo), constituindo-se nos parâmetros mais importantes na avaliação de alteração de cor do arroz. Os resultados das análises de cor realizada em triplicata estão mostrados na Tab. 3.4.

Tabela 3.4 - Componentes de cor das amostras de arroz

Amostras (Arroz IAC-103)	Valores de cor		
	L	a	b
Safra 2001 - Recém colhido	89,89 ± 0,18	- 1,07 ± 0,01	3,15 ± 0,02
Safra 2000 - Envelhecido (1ano)	89,07 ± 0,04	- 0,96 ± 0,02	4,32 ± 0,04
Safra 2001 - Tratado por M.O.	88,97 ± 0,10	- 1,05 ± 0,00	3,76 ± 0,02
Safra 2001 - Parboilizado	87,12 ± 0,04	- 0,79 ± 0,02	7,03 ± 0,05

O arroz safra 2001 recém colhido apresentou o maior valor de L (89,89) e menor valor de b (3,15), demonstrando, como esperado, possuir maior brancura e menor componente de cor amarela, e sendo este o referencial (controle) para avaliar as alterações na cor do arroz. O arroz safra 2000 envelhecido teve o nível de brancura L (89,07) reduzido em 0,9 % e a componente de cor amarela b (4,32) aumentada em 37,1 %, devido às alterações causadas pela armazenagem (envelhecimento natural). O arroz safra 2001 tratado por microondas teve o nível de brancura L (88,97) reduzido em 1,0 % e a componente de cor amarela b (3,76) aumentada em 19,4 %, devido às alterações causadas pela aplicação de microondas. O arroz safra 2001 parboilizado convencionalmente teve o nível de brancura L (87,12) reduzido em 3,1 % e a componente de cor amarela b (7,03) aumentada em 123,2 %, devido às alterações causadas pelo processo de parboilização.

As imagens das amostras de arroz inteiro beneficiado foram digitalizadas em um “scanner” utilizando uma resolução de 300 dpi (fotografia colorida com 16,7 milhões de cores), para se ter mais detalhes dos grãos de arroz como mostra a Fig. 3.6. Sendo que a Fig. 3.7 mostra como o tempo de brunimento influência na cor dos grãos.

para o envelhecimento artificial acelerado do arroz recém colhido, não produziu alterações significativas que impedisse o produto obtido por este processo de ser classificado comercialmente como arroz natural. Assim o tratamento por microondas pode ser considerado uma etapa de processamento antecedente a secagem e que não altera a classificação comercial de arroz natural segundo a Secretaria Nacional de Abastecimento (1989), diferentemente do que ocorre com o processo de parboilização.

As imagens das amostras de arroz inteiro beneficiado foram digitalizadas em um “scanner” utilizando uma resolução de 300 dpi (fotografia colorida com 16,7 milhões de cores), para se ter mais detalhes dos grãos de arroz como mostra a Fig. 3.6. Sendo que a Fig. 3.7 mostra como o tempo de brunimento influência na cor dos grãos.



Figura 3.6 - Aspectos visuais do arroz polido das várias amostras





Figura 3.7 - Imagens dos grãos de arroz com vários graus de beneficiamento



### 3.4.3 - Efeito do tratamento por microondas na viscosidade amilográfica

A análise viscoamilográfica do comportamento do amido das amostras de arroz fornece informações importantes das alterações físico-químicas sofridas pelo arroz, sejam elas causadas pelo envelhecimento natural ou pelo tratamento por microondas (Fig. 3.8).

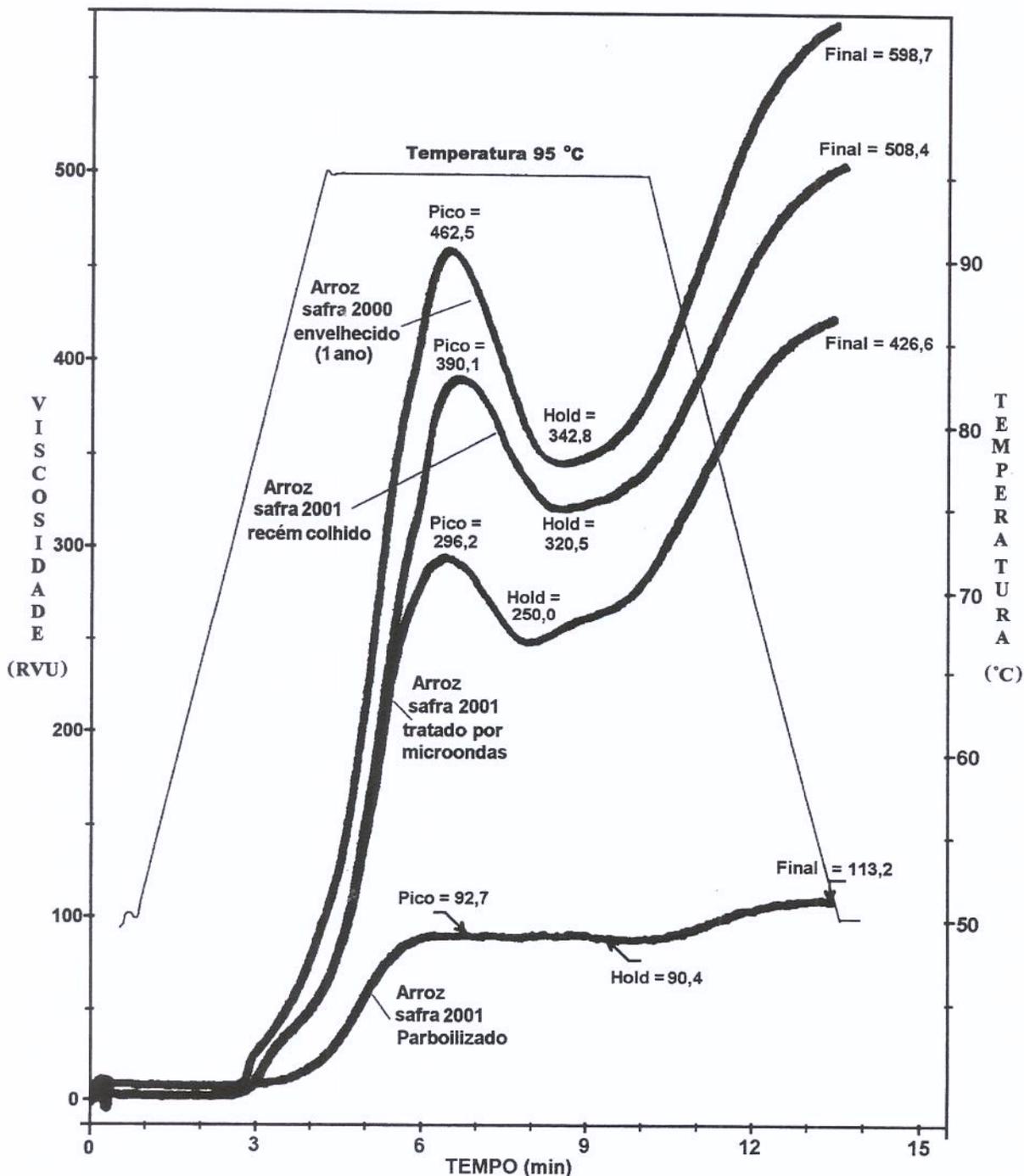


Figura 3.8 - Resposta viscoamilográfica das amostras de arroz

Tabela 3.5 - Comportamento viscoamilográfico das amostras de arroz

Amostras de arroz (IAC-103)	Pico de Visc. (RVU)	Hold (RVU)	Breakdown (RVU)	Visc. Final (RVU)
Safra 2001 - Recém colhido	390,1	320,5	69,6	508,4
Safra 2000 - Envelhecido (1ano)	462,5	342,8	119,7	598,7
Safra 2001 - Tratado por M.O.	296,2	250,0	46,1	426,6
Safra 2001 - Parboilizado	92,7	90,4	2,3	113,2

O tratamento por microondas reduziu a viscosidade do arroz, porém não afetou de forma considerável o padrão da curva viscoamilográfica característica do arroz em relação ao recém colhido. A redução da viscosidade de pico foi de 24 %, do valor de “breakdown” de 34 % e da viscosidade final de 16 %.

O arroz safra 2000 envelhecido apresentou aumentos significativos nos valores de viscosidade de pasta em relação ao recém colhido, tanto para o pico de viscosidade (19 % maior), quanto para o valor de “breakdown” (72 % maior) e viscosidade final (18 % maior).

O processo de parboilização, por ser um tratamento hidrotérmico muito intenso, alterou totalmente o padrão da curva viscoamilográfica característica do arroz, além da redução drástica da viscosidade de pasta, tanto para a viscosidade de pico (76 %), quanto para o valor de “breakdown” (97 %) e viscosidade final (78 %).

A curva de viscosidade amilográfica da farinha de arroz beneficiado da amostra de arroz safra 2000 envelhecido naturalmente indicou que os valores de viscosidade, tanto a de pico quanto a final, e o valor de “breakdown” aumentaram significativamente com a armazenagem (envelhecimento) quando comparado aos valores do arroz recém colhido, fato comprovado por vários autores (Barber, 1972; Villareal et al., 1976; Perez & Juliano, 1981; Perdon et al., 1997).

A amostra de arroz safra 2001 tratado por microondas apresentou uma curva amilográfica com os valores de viscosidade, tanto a de pico quanto a final, e o valor de “breakdown” significativamente menores que a apresentada pelo arroz safra 2001 recém colhido, porém mantendo o mesmo padrão de curva que as amostras de arroz recém colhido e valores muito acima da amostra de arroz safra 2001 parboilizado, sendo que este

apresentou uma curva totalmente alterada pela intensa gelatinização ocorrida durante a parboilização.

Os resultados da análise viscoamilográfica indicaram que o tratamento por microondas produz alterações físico-químicas de natureza diferente do envelhecimento natural, pois este causa uma redução dos valores de viscosidade enquanto o envelhecimento natural aumenta estes valores. Estes resultados sugerem um efeito semelhante ao da parboilização, que é a gelatinização do amido do arroz seguida de uma retrogradação, principalmente da amilose (Bhattacharya, 1985), porém com uma intensidade muito menor.

#### 3.4.4 - Efeito do aquecimento por microondas na textura e adesividade

Uma outra forma de avaliar as alterações físico-químicas sofridas pelo arroz, sejam elas causadas pelo envelhecimento natural ou pelo tratamento por microondas, é utilizando o texturômetro para analisar a textura (dureza e adesividade), pois são estas as principais características mensuráveis que indicam o envelhecimento do arroz. Os resultados das análises no texturômetro, das amostras de arroz cozido, estão mostrados na Tab. 3.6.

Tabela 3.6 - Textura e adesividade das amostras de arroz

Amostras de arroz	Dureza ( $\pm$ S.D.)	Adesividade ( $\pm$ S.D.)
Safra 2001 Recém colhido	2335 $\pm$ 114 ( $10^{-3}$ kgf)	- 422 $\pm$ 18 ( $10^{-3}$ kgf)
Safra 2000 Envelhecido (1 ano)	4256 $\pm$ 181 ( $10^{-3}$ kgf)	- 198 $\pm$ 39 ( $10^{-3}$ kgf)
Safra 2001 Tratado por M.O.	3868 $\pm$ 268 ( $10^{-3}$ kgf)	- 192 $\pm$ 27 ( $10^{-3}$ kgf)
Safra 2001 Parboilizado	6967 $\pm$ 290 ( $10^{-3}$ kgf)	- 130 $\pm$ 29 ( $10^{-3}$ kgf)

As amostras de arroz safra 2000 envelhecido cozido apresentaram uma textura com maior dureza que a do arroz recém colhido cozido quando medida pelo texturômetro, sendo que estes resultados estão de acordo com os dados obtidos pelos pesquisadores (Shibuya et al., 1974; Hwangbo & Lee, 1976; Okabe, 1979, Perez & Juliano, 1981), e menor adesividade, fato também descrito por (Villareal et al., 1976). Além destes autores, (Moritaka et al., 1971) também relataram que o arroz envelhecido cozido tem a textura considerada mais dura e menos pegajosa que o arroz recém colhido cozido quando medido por meios organolépticos.

O arroz recém colhido apresentou ao mais baixos valores de dureza e mais altos de adesividade dos grãos de arroz cozido durante os ensaios com o texturômetro, sendo ele a referência para comparação dos processos de envelhecimento natural, de tratamento por microondas e de parboilização convencional.

O tratamento por microondas produziu um aumento de 66 % na dureza e uma redução de 54 % na adesividade, enquanto o envelhecimento natural aumentou em 82 % a dureza e reduziu em 53 % a adesividade, já o processo de parboilização convencional aumentou em 198 % a dureza e reduziu em 147 % a adesividade com relação ao arroz recém colhido.

As amostras de arroz safra 2001 tratado por microondas também apresentaram valores de dureza e adesividade maiores que as de arroz safra 2001 recém colhido sem tratamento e bem próxima aos valores do arroz safra 2000 envelhecido naturalmente. Isto indicou que o tratamento por microondas produz uma alteração na textura do arroz que se assemelha à textura do arroz envelhecido naturalmente, porém causada por efeitos de natureza distinta.

Já as amostras de arroz parboilizado apresentaram uma dureza muito elevada, com valores de adesividade muito baixo, bastante diferente das demais. Isto demonstra que a parboilização é um processo muito drástico, que causa intensa gelatinização do amido transformando o arroz parboilizado em um produto muito diferente do arroz recém colhido ou mesmo do envelhecido naturalmente.

O resultado de aumento da dureza do arroz com o envelhecimento, observado neste trabalho, está de acordo com os resultados obtidos por vários pesquisadores (Kunze & Chouldhury, 1972; Villareal et al., 1976; Perez & Juliano, 1981) que estudaram o processo de envelhecimento do arroz recém colhido e verificaram que a resistência dos grãos à tensão aumenta durante a armazenagem. O aumento da dureza é refletido na elevação da resistência ao brunimento durante o beneficiamento e no aumento do rendimento de grãos inteiros do arroz envelhecido de três a seis meses.

### 3.4.5 - Efeito dos tratamentos por microondas nos padrões de cozimento do arroz

#### 3.4.5.1 - Alterações no tempo ótimo de cozimento

O arroz ao envelhecer requer um maior tempo para o seu completo cozimento, assim o tempo ótimo de cozimento fornece informações importantes sobre o estado de envelhecimento do arroz e sua qualidade de cozimento. Os resultados das análises do tempo ótimo de cozimento estão mostrados na Tab. 3.7.

Tabela 3.7 -Tempo ótimo de cozimento

Amostras de arroz	Tempo ótimo de cozimento
Safra 2001 Recém colhido	13,5 ± 0,5 min.
Safra 2000 Envelhecido	17,5 ± 0,5 min.
Safra 2001 Tratado por M.O.	16,5 ± 0,5 min.
Safra 2001 Parboilizado	23,0 ± 0,5 min

O tempo de cozimento ótimo para as amostras de arroz safra 2000 envelhecido naturalmente (por 1 ano) aumentou em 4 minutos com relação ao do arroz recém colhido, resultado semelhante ao relatado por Pushpamma & Reddy (1979).

O aumento no tempo ótimo de cozimento para o arroz tratado por microondas foi de 3 minutos com relação ao recém colhido, porém bem próximo ao arroz envelhecido naturalmente. Já o arroz parboilizado teve um aumento muito maior, quase 10 minutos a mais que o recém colhido.

#### 3.4.5.2 - Alterações na absorção de água do arroz durante o cozimento

A quantidade de água absorvida durante o cozimento está diretamente ligada às propriedades físico-químicas do amido de arroz e que sofrem alterações, sejam elas causadas pelo tratamento por microondas, pelo envelhecimento natural ou pela parboilização, que reflete na maior ou menor capacidade dos grãos de absorver água durante o cozimento, dependendo da extensão destas alterações. Os resultados das análises da absorção de água durante o cozimento estão mostrados na Tab. 3.8.

Tabela 3.8 - Absorção de água durante o cozimento

Amostras de arroz	Peso inicial	Peso final	Água absorvida	Relação água / arroz
Safra 2001 Recém colhido	30,0 ± 0,1 g	83,8 ± 0,1 g	53,8 ± 0,1 g	1,79 ± 0,1 g/g
Safra 2000 Envelhecido	30,0 ± 0,1 g	96,3 ± 0,1 g	66,3 ± 0,1 g	2,21 ± 0,1 g/g
Safra 2001 Tratado por M.O.	30,0 ± 0,1 g	89,0 ± 0,1 g	59,0 ± 0,1 g	1,97 ± 0,1 g/g
Safra 2001 Parboilizado	30,0 ± 0,1 g	93,9 ± 0,1 g	63,9 ± 0,1 g	2,13 ± 0,1 g/g

O envelhecimento natural do arroz durante um ano aumentou a absorção de água durante o cozimento em 24 %, enquanto o tratamento por microondas aumentou em 10 %, já o processo convencional de parboilização aumentou em quase 19 %, em relação ao arroz recém colhido.

#### 3.4.5.3 - Alterações no aumento de volume do arroz durante o cozimento

A capacidade dos grãos de arroz aumentar de volume durante o cozimento está relacionada com as alterações físico-químicas sofridas pelo amido do arroz, sejam elas causadas pelo tratamento por microondas; pelo envelhecimento natural ou pela parboilização. O maior ou menor aumento de volume durante o cozimento depende da extensão destas alterações e fornecem indicações do estado de envelhecimento do arroz. Os resultados das análises do aumento de volume durante o cozimento estão mostrados na Tab. 3.9.

Tabela 3.9 - Aumento de volume durante o cozimento

Amostras de arroz (30 g)	Volume do arroz cru	Volume do arroz cozido	Aumento de volume
Safra 2001 Recém colhido	22,5 ± 0,5 mL	67,5 ± 0,5 mL	300,0 ± 2,0 (%)
Safra 2000 Envelhecido	22,5 ± 0,5 mL	83,0 ± 0,5 mL	368,9 ± 2,0 (%)
Safra 2001 Tratado por M.O.	22,5 ± 0,5 mL	70,0 ± 0,5 mL	311,1 ± 2,0 (%)
Safra 2001 Parboilizado	22,5 ± 0,5 mL	77,5 ± 0,5 mL	343,3 ± 2,0 (%)

O envelhecimento natural do arroz durante um ano ampliou o aumento de volume durante o cozimento em 23 % e o tratamento por microondas aumentou em 4 %, já o processo convencional de parboilização aumentou em quase 14 %. O resultado de aumento

de volume durante o cozimento apresentado pelo arroz envelhecido naturalmente com relação ao arroz recém colhido está de acordo com Barber (1972); Villareal et al. (1976); Pushpamma & Reddy (1979).

O tratamento por microondas produziu um arroz com expansão volumétrica, absorção de água durante o cozimento e sólidos solúveis na água de cozimento próximos ao do arroz envelhecido naturalmente, porém muito diferentes do arroz parboilizado.

#### 3.4.5.4 - Alterações na perda de sólidos solúveis durante o cozimento do arroz

A perda de sólidos solúveis foi determinada medindo o teor de sólidos na água residual do cozimento. O teor de sólidos residuais na água de cocção reflete o grau de solubilidade do amido na água, principalmente da amilose, e que decresce com o envelhecimento do arroz e também por transformações do amido do arroz causadas por processos de gelatinização seguida de retrogradação, como o que ocorre intensamente com a parboilização e levemente no tratamento por microondas. Os resultados das análises da perda de sólidos solúveis durante o cozimento estão mostrados na Tab. 3.10.

Tabela 3.10 - Perda de sólidos solúveis

Amostras de arroz (30 g)	Arroz cozido (lavado)	Sólidos na água do arroz lavado	Arroz cozido (sem lavar)
Safra 2001 Recém colhido	9,4 ± 1,0 (%)	1,3 ± 1,0 (%)	10,7 ± 1,0 (%)
Safra 2001 Tratado por M.O.	6,5 ± 0,9 (%)	0,7 ± 0,9 (%)	7,2 ± 0,9 (%)
Safra 2000 Envelhecido	5,3 ± 1,1 (%)	0,5 ± 1,1 (%)	5,8 ± 1,1 (%)
Safra 2001 Parboilizado	3,7 ± 0,6 (%)	1,1 ± 0,6 (%)	4,8 ± 0,6 (%)

O tratamento por microondas reduziu a quantidade de sólidos solúveis na água de cocção do arroz em 31 % e envelhecimento natural do arroz durante um ano reduziu em 44 %, já o processo convencional de parboilização reduziu em quase 61 % em relação ao recém colhido, levando em consideração somente os ensaios em que as amostras de arroz foram lavadas antes do teste de cozimento. O tratamento por microondas produziu um arroz com sólidos solúveis na água de cozimento próximos ao do arroz envelhecido naturalmente, porém muito diferentes do arroz parboilizado.

Os resultados dos testes envolvendo cozimento do arroz demonstraram que o arroz tratado por microondas possui características próximas ao do arroz envelhecido naturalmente e melhores que as do arroz recém colhido, porém bastante diferentes das do arroz parboilizado. Assim pode-se constatar que a qualidade de cozimento do arroz tratado por microondas é compatível com a do arroz envelhecido naturalmente.

### **3.5 - Conclusões**

A aplicação do tratamento por microondas, na condição de melhor rendimento de arroz inteiro obtida no Cap. 2 (arroz com 24 % de umidade, temperatura de 94 °C e tempo de 3'20"), foi capaz de produzir alterações físico-químicas nos grãos de arroz recém colhido semelhantes ao envelhecimento natural e bem diferentes da parboilização, tanto na textura quanto na qualidade de cozimento do arroz, sem prejudicar o aspecto visual e a cor dos grãos, que são as características perceptíveis e requeridas pelo consumidor. Resultando em um arroz com propriedades bem mais próximas às do arroz envelhecido naturalmente (1 ano) que às do arroz recém colhido sem tratamento, porém bem diferentes das do arroz parboilizado convencionalmente.

O arroz tratado por microondas manteve uma semelhança muito mais próxima ao arroz envelhecido naturalmente, tanto no aspecto visual quanto nas medidas de cor que do arroz recém colhido e muito diferente do arroz parboilizado. Estes resultados indicam, ao menos no aspecto visual e valores de cor, que o tratamento por microondas para o envelhecimento artificial acelerado do arroz recém colhido não produziu alterações significativas que impedisse o produto obtido por este processo de ser classificado comercialmente como arroz natural. Assim o tratamento por microondas pode ser considerado uma etapa de processamento antecedente à secagem e que não altera a classificação comercial de arroz natural segundo a Secretaria Nacional de Abastecimento (1989), diferentemente do que ocorre com o processo de parboilização.

Os resultados da análise viscoamilográfica indicaram que o tratamento por microondas produz alterações físico-químicas de natureza diferente do envelhecimento natural, pois este causa uma redução dos valores de viscosidade enquanto o envelhecimento natural aumenta estes valores. Estes resultados sugerem um efeito semelhante ao da

parboilização que é a gelatinização do amido do arroz seguida de uma retrogradação, principalmente da amilose, porém com uma intensidade muito menor.

As amostras de arroz safra 2001 tratado por microondas também apresentaram valores de dureza e adesividade maiores que às do arroz safra 2001 recém colhido sem tratamento e bem próxima aos valores do arroz safra 2000 envelhecido naturalmente. Isto indicou que o tratamento por microondas produz uma alteração na textura do arroz que se assemelha à textura do arroz envelhecido naturalmente, porém causadas por efeitos de natureza distinta.

O aumento no tempo ótimo de cozimento para o arroz tratado por microondas foi de 3 minutos com relação ao recém colhido, porém bem próximo ao arroz envelhecido naturalmente. Já o arroz parboilizado teve um aumento muito maior, quase 10 minutos a mais que o recém colhido.

O tratamento por microondas produziu um arroz com expansão volumétrica, absorção de água durante o cozimento e sólidos solúveis na água de cozimento próximos ao do arroz envelhecido naturalmente, porém muito diferente do arroz parboilizado. Os resultados dos testes envolvendo cozimento do arroz demonstraram que o arroz tratado por microondas possui características próximas às do arroz envelhecido naturalmente e melhores que as do arroz recém colhido, porém bastantes diferentes das do arroz parboilizado. Assim pôde-se constatar que a qualidade de cozimento do arroz tratado por microondas é compatível com a do arroz envelhecido naturalmente.

Os resultados confirmam a viabilidade técnica da aplicação de microondas para o envelhecimento artificial acelerado do arroz recém colhido, pois o arroz obtido demonstrou possuir qualidade próxima ao envelhecido naturalmente por 1 ano e superior à do arroz recém colhido.



## **Capítulo 4 - ESTUDO DA ESTABILIZAÇÃO DO FARELO DEVIDO AO EFEITO DO TRATAMENTO POR MICROONDAS**

### **4.1 - Introdução**

O farelo de arroz é a camada exterior marrom do grão de arroz integral (descascado) que é removida quando arroz é beneficiado para produzir o arroz branco. No farelo estão incluídos principalmente o pericarpo, aleurona, e camadas de sub-aleurona do grão, e tipicamente inclui o embrião ou germe e uma pequena fração do endosperma amiláceo (Hargrove, 1994). O potencial nutritivo do farelo de arroz é elevado, pois contém proteínas, gorduras, vitaminas e elementos minerais. Entre as vitaminas, as mais abundantes são as do complexo B (Saunders, 1990; Luh et al., 1991). O farelo de arroz apresenta alto teor de cinzas, sendo o fósforo o constituinte mineral mais abundante, ocorrendo também a presença significativa de potássio, magnésio e selênio (Luh et al., 1991). As proteínas, o óleo e os carboidratos do farelo de arroz são uma excelente fonte de suplementos nutricionais para a alimentação humana. Ele também contém vitaminas essenciais, aminoácidos e compostos ácidos fosfóricos (Houston & Kohler, 1978; Saunders, 1986).

O farelo de arroz que poderia ser uma fonte potencial de alimento humano, infelizmente é subtilizado ou descartado, pois o farelo de arroz recém beneficiado tem uma vida útil curta devido à decomposição pelas enzimas lipases dos lipídios em ácidos graxos livres (AGL), tornando-o inadequado para o consumo humano ou para a extração econômica de óleo comestível (Barnes & Galliard, 1991). Devido à rápida hidrólise que ocorre após o beneficiamento, o farelo de arroz deve sofrer, preferencialmente dentro de poucos minutos após a sua remoção do grão. Um processo contínuo de estabilização deve ser acoplado ao beneficiamento (Hargrove, 1994).

### **4.2 - Objetivos**

Estudar as propriedades físico-químicas que comprovem a estabilização do farelo do arroz pela aplicação de microondas nos grãos ainda em casca, quando da utilização da condição de maior rendimento de arroz inteiro obtida no Cap. 2 e comparar o padrão de qualidade do farelo estabilizado obtido por esse processo com o padrão de qualidade para farelo de arroz vigente no mercado internacional.

## 4.3 - Material e Métodos

### 4.3.1 - Material

#### 4.3.1.1 - *Matérias prima*

Como matéria prima para a realização dos experimentos foram utilizadas amostras de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar *IAC-103*. Este cultivar de arroz pertence à classe de grão longo fino e sistema de cultivo por inundação. Os materiais utilizados foram produzidos nas safras de 2000 e 2001, na Estação Experimental de Pindamonhangaba do IAC (Instituto Agrônômico de Campinas) / SP.

#### 4.3.1.2 - *Reagentes e material específico*

##### - Produtos químicos:

Solução tampão de citrato fosfato pH 6,5 a 0,5 mol; peróxido de hidrogênio; bissulfato de sódio; acetona; etanol; hidróxido de sódio, hidróxido de potássio.

##### - Reagentes específicos (grau analítico):

*o*-fenilenodiamina

fenolftaleína

##### - Ácido graxo (grau analítico):

Padrão puro de ácido oléico

### 4.3.2 - Equipamentos

#### 4.3.2.1 - *Aplicador de microondas com controle automático de temperatura*

O forno de microondas especial para laboratório, modelo MDS-2100, fabricado pela empresa CEM Corporation, EUA (equipamento descrito no Cap. 2).

#### 4.3.2.2 - *Estufa climatizada*

Estufa marca FANEM, modelo 330, com câmara de secagem com dimensão de 150 x 72 x 93 cm e 12 cm de altura entre bandejas, possuindo circulação forçada de ar e controle da temperatura do ambiente interno (equipamento descrito no Cap. 2).

#### 4.3.2.3 - Beneficiador padrão para arroz

Beneficiador padrão para arroz marca SUZUKI, modelo MT81, constituído de descascador e brunidor para extração do farelo do arroz (equipamento descrito no Cap. 2).

#### 4.3.3 - Instrumentos

- Espectrofotômetro marca MICRONAL modelo B342 II.
- Espectrofotômetro de varredura de infravermelho próximo, marca Perstop Analytical Inc., modelo 6500 (NIRSystem Scanning Spectrophotometer)
- Medidor de atividade de água marca AQUALAB, modelo 3 -TE
- Balança analítica, marca DENVER, modelo AB-250D

#### 4.3.4 - Métodos

##### 4.3.4.1 - Determinação da atividade de água ( $a_w$ ) do farelo de arroz

A atividade água foi determinada pelo método descrito em Valivety (1992), onde se utilizou um pré-equilíbrio de fase vapor com solução salina saturada de Mg (NO<sub>3</sub>) 2,6 H<sub>2</sub>O à temperatura de 25°C e um higrômetro para análise.

##### 4.3.4.2 - Determinação da composição centesimal do farelo de arroz

*Umidade:* os conteúdos de umidade das amostras de farelo foram determinados de acordo com o método [AOAC 925.09B, 1997].

*Proteína bruta:* O conteúdo de nitrogênio total foi determinado pelo método [AOAC 992.23, 1997]. O fator de conversão de 5,95 foi usado para calcular o percentual de proteínas.

*Gordura bruta:* O teor de gordura bruta foi determinado pelo método de extração Soxhlet (AOAC 920.85, 1997). Amostras com seis gramas de farelo foram pesadas em um recipiente, no qual a gordura crua foi extraída durante 6 horas usando acetona como o solvente de extração.

*Fibra bruta:* O conteúdo de fibra bruta foi determinado usando os métodos [AOAC 920.86, 1997].

*Fibra dietética total:* O conteúdo de fibra dietética total foi determinado de acordo com o método descrito por [AOAC, 992.16, 1997].

*Cinza:* Considerando que farelo tem um conteúdo de lipídios alto, amostras foram antes chamuscadas em uma chama aberta para ser colocado em uma mufla. As amostras foram aquecidas a 600 °C até se obter uma cinza com coloração cinzenta branca, método [AOAC, 923.03, 1997].

*Sílica (SiO<sub>2</sub>):* O conteúdo de sílica foi determinado de acordo com o método [AOAC 3.005. 1993].

*Carboidrato total:* A porcentagem de carboidratos totais foi determinada subtraindo porcentagens de outros nutrientes (em base seca) de 100 %.

#### *4.3.4.3 - Determinação da atividade de peroxidase no farelo de arroz*

As determinações de atividade de peroxidase foram realizadas no espectrofotômetro a 530 nm, com as amostras preparadas de acordo com o método descrito por Vetter et al. (citado por TAO et al., 1993) com ligeiras modificações no tamanho das amostras e na concentração do reagente.

#### *4.3.4.4 - Determinação do teor de ácidos graxos livres (AGL) no farelo de arroz*

A determinação do teor de ácidos graxos livres (AGL) no óleo extraído do farelo foi realizada utilizando a técnica de titulação com reagente de acordo com o método [AOCS, Ca 5a-40, 1989] equivalente ao procedimento do método [AOAC, 28.029, 1993].

#### 4.3.5 - Procedimento experimental

Neste capítulo foram estudadas as alterações das propriedades físico-químicas do farelo extraído do arroz *IAC-103* recém colhido (safra 2001), submetido ao tratamento por microondas na condição de melhor rendimento de arroz inteiro obtida no Cap. 2, em comparação com as propriedades do farelo extraído do arroz “in natura” (sem tratamento) e também do arroz *IAC-103* envelhecido (safra 2000).

##### *4.3.5.1 - Preparação das amostras para os tratamentos por microondas*

O arroz cultivar *IAC-103* foi colhido com o maior conteúdo de umidade possível, acondicionado em embalagem plástica e armazenado em caixas térmicas de forma a não perder umidade. Na preparação das amostras, o arroz passou por uma pré-limpeza com corrente de ar para retirar impurezas e grãos muito leves, em seguida passou por um “trieur” para retirada de grãos descascados e quebrados. Deste arroz, com uma umidade de 25,5 %, foram retiradas amostras utilizadas no tratamento por microondas nas condições correspondentes aos ensaios com conteúdo de umidade mais elevado.

##### *4.3.5.2 - Execução dos ensaios de tratamento por microondas no arroz em casca*

Na execução dos ensaios as amostras de arroz em casca foram colocadas nos recipientes de teflon, 50 g em cada um, num total de 6 recipientes por ensaio e levados ao forno aplicador de microondas MDS-2100. Este forno opera com uma frequência de 2450 MHz, 950 W de potência de saída e com sensor de temperatura por fibra ótica introduzida em um dos recipientes de teflon para medida e controle automático da temperatura. O forno foi programado para cada ensaio, via teclado do equipamento, com as condições de tratamento (temperatura de tratamento e tempo de tratamento, subdividido em tempo da rampa de aquecimento e tempo de manutenção na temperatura de tratamento), sendo os tratamentos executados automaticamente pelo forno, após o início do programa.

Durante os ensaios foram elaborados vários gráficos com a variação da temperatura durante os tratamentos e também após o término. Um destes gráficos está mostrado na Fig. 4.1 e apresenta a variação de temperatura, na amostra de arroz em casca dentro dos recipientes de teflon, durante o aquecimento pela aplicação de microondas.

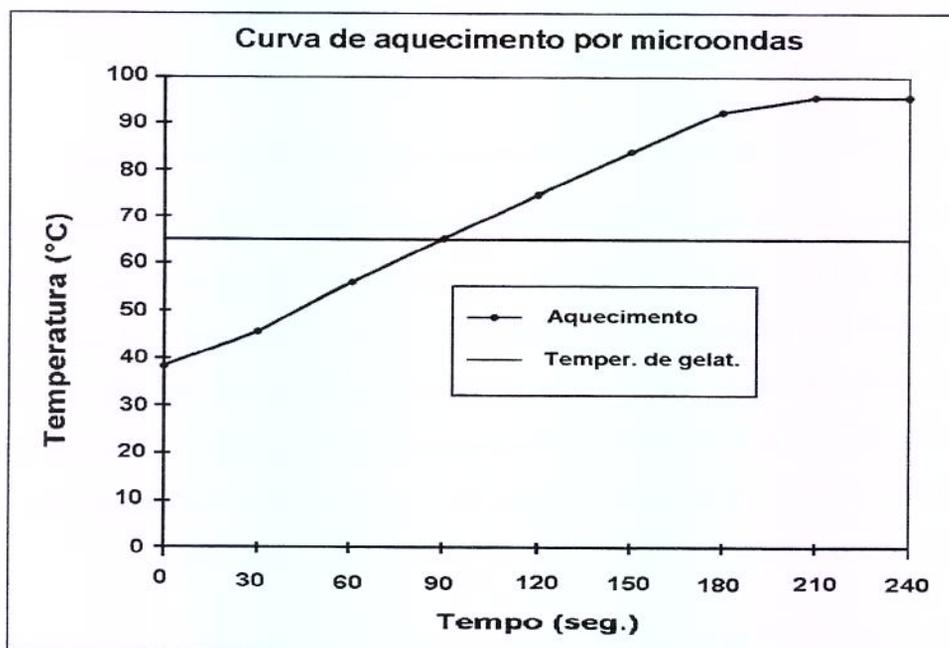


Figura 4.1 - Curva de aquecimento por microondas das amostras

#### 4.3.5.3 - Secagem das amostras tratadas por microondas

A secagem foi realizada na estufa climatizada FANEM, modelo 330, com ar aquecido a uma temperatura em torno de 40 °C. O processo de secagem foi realizado por aproximadamente 18 horas, tempo necessário para que a umidade dos grãos de arroz atingisse 12 %.

#### 4.3.5.4 - Beneficiamento das amostras de arroz para extração do farelo

Após o término da secagem, amostras com 100 g de arroz seco (12 % de umidade) foram levadas para o beneficiador padrão, marca SUZUKI, modelo MT81, onde foram descascadas. O arroz descascado obtido foi brunido, mais adiante, também no Suzuki (Modelo MT-81) (tipo brunidor abrasivo), para remover o farelo. O brunimento foi realizado em 1 minuto, produzindo em média 7,1 a 7,5 g de farelo, sendo que praticamente todo farelo do arroz foi retirado, restando apenas o grão de arroz branco polido. O farelo foi

passado por uma peneira com abertura de 0,42 mm (padrão ABNT, n. 40) e as partículas que atravessaram esta tela foram usadas como amostras.

#### 4.3.5.5 - Determinação da cor do farelo de arroz

Acompanhando os vários tratamentos de estabilização, a cor das amostras de farelo foi determinada utilizando o colorímetro Hunter Lab, modelo Color Quest II. Para a determinação de cor, amostras de 10 g de farelo de arroz foram colocadas em recipientes contendo tela de cristal, apropriadas para leitura de cor sem causar interferência, e levadas ao colorímetro onde foram realizadas as leituras das componentes **L**, **a**, e **b**, sendo que o ângulo de matiz ( $\theta$ ) e o índice de saturação (S.I.) foram calculados pelas seguintes equações:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$
$$S.I. = \sqrt{a^2 + b^2}$$

As medidas foram realizadas em triplicata, para se ter uma idéia da incerteza associada a cada medida e os resultados das medidas das componentes **L**, **a**, e **b**, juntamente com o ângulo de matiz e o índice de saturação estão mostrados na Tab. 4.3.

#### 4.3.5.6 - Determinação da atividade de peroxidase no farelo de arroz

A determinação da atividade de peroxidase é geralmente utilizada como uma análise padrão para garantir que as lipases do farelo de arroz tenham sido inativadas. A peroxidase é considerada mais termo-estável que a lipase e o teste da atividade de peroxidase é mais rápido e mais simples que a determinação da atividade de lipase (Tao et al., 1993). No ensaio de peroxidase quanto menor sua atividade, medida em termos da cor desenvolvida na reação e calculada como unidades de absorbância por grama de amostra, mais efetivo foi o tratamento de inativação.

As determinações de atividade de peroxidase foram administradas pelo método de Vetter et al. (citado por Tao et al., 1993) com ligeiras modificações no tamanho das amostras e na concentração da enzima. Dois gramas de farelo de arroz foram misturados em uma solução tampão com 50 mL de citrato fosfato (pH 6,5) e a mistura foi agitada por 2

min., em seguida 10 mL desta mistura foram diluídos em 25 mL da solução tampão. A esta mistura, foram somadas 0,5 mL de *o*-phenylenediamine a 1 % e de soluções de peróxido de hidrogênio a 0,3 %. A reação foi permitida prosseguir até 5 minutos, quando neste tempo foi paralisada e 1 mL de bissulfato de sódio saturado foi adicionado. A absorvância da solução foi lida a 430 nanômetros no espectrofotômetro MICRONAL, modelo B342 II. A atividade de peroxidase foi calculada como unidades de absorvância por grama de amostra.

#### 4.3.5.7 - *Determinação do teor de ácidos graxos livres (AGL) do farelo de arroz*

O teor de AGL no farelo de arroz foi determinado a partir da extração do óleo do farelo, que foi realizada em extratores soxhlet utilizando acetona como solvente. Amostras com 15 g de farelo foram adicionadas a um erlenmeyer de 250 mL contendo 50 mL de acetona, em seguida a mistura foi transferida para um extrator, conectado a um balão de 500 mL com aproximadamente 100 mL de acetona, onde promoveu-se o aquecimento, em manta de aquecimento, a 60 °C para refluxo por 4 horas. Os lipídios foram recuperados em solvente e levados à evaporação em rota evaporadores, onde se obteve o óleo das amostras de farelos.

A determinação do índice de acidez das amostras de óleo de farelo foi realizada de acordo com o AOCS (AOCS Official Method, Ca 5a – 40, 1989) equivalente ao método [AOAC 28.029]. Cerca de  $0,2500 \pm 0,0001$  g de óleo foram pesados em erlenmeyer e dispersados em 30mL de etanol à quente (50-60°C) previamente neutralizado com hidróxido de sódio (NaOH) 0,01mol/L e fenolftaleína. As amostras foram tituladas em duplicata com solução padronizada de NaOH 0,01mol/L e fenolftaleína a uma coloração levemente rosa. Os volumes gastos de hidróxido de sódio, a 0,00998 mol/L, foram utilizados para a determinação do teor de ácidos graxos livres e do índice de acidez de cada amostra.

O teor de ácidos graxos livres, como ácido oléico, em cada amostra foi obtido pela equação:

$$\%AGL_{(oléico)} = [ V_{NaOH(mL)} \cdot C_{NaOH(mol/L)} \cdot 28,2 ] / m_{amostra(g)}$$

E o índice de acidez, em miligrama de hidróxido de potássio por grama (mgKOH/g), foi determinado multiplicando-se o teor de AGL, em porcentagem, pelo fator 1,99 (como especificado no método AOCS 5a - 40).

$$IA = \%AGL_{(oleico)} \cdot 1,99$$

Utilizou-se este método de determinação do índice de acidez das amostras de óleo de farelo por titulação como método primário para a calibração do NIR para a determinação do teor de AGL direto no farelo de arroz sem a necessidade de extração do óleo.

A avaliação dos resultados no NIRS necessita de calibração do equipamento, a partir de um conjunto de amostras avaliadas quantitativamente por outros métodos considerados adequados. Deste modo, as amostras de farelos analisadas no NIR serão avaliadas por um método primário de forma a se conseguir a calibração, que exige um número médio de quarenta pontos, para numa próxima etapa deste projeto fazermos a avaliação dos dados e a monitoração do farelo no NIRS.

Amostras de farelo de arroz foram analisadas no espectrofotômetro de Infravermelho Próximo (NIRS), de 1100 a 2400 nm, no equipamento Brimrose 2000 conectado a um Luminar 2030 Free Space, no laboratório do Grupo de Instrumentação e Automação em Química Analítica, do IQ, UNICAMP. O espectro de cada amostra foi obtido como uma média de 300 espectros. A análise foi feita em triplicata, diretamente no farelo de arroz, em celas de plástico.

## 4.4 - Resultados e discussão

### 4.4.1 - Efeito do aquecimento por microondas na atividade de água do farelo

O aquecimento por microondas no arroz em casca produziu um farelo estabilizado com umidade de equilíbrio e atividade de água ligeiramente inferior que a do farelo de arroz seco sem tratamento por microondas, como mostra a Tab. 4.1.

Tabela 4.1 - Efeito do tratamento por microondas na atividade de água do farelo

Farelo	Umidade (%)	Atividade de água ( $a_w$ )
IAC-103 (s/ Trat. MO)	10,0	0,55
IAC-103 (Tratado MO)	9,8	0,49

O tratamento por microondas resultou em um farelo com uma atividade de água um pouco menor que a do farelo de arroz recém colhido, redução de 0,55 para 0,49, sendo que estes valores de atividade de água estão abaixo do limiar de crescimento de qualquer tipo de microorganismos no farelo de arroz, porém o produto ainda está sujeito a reações enzimáticas e de oxidação de lipídios (rancificação) como mostra a Fig. 4.2.

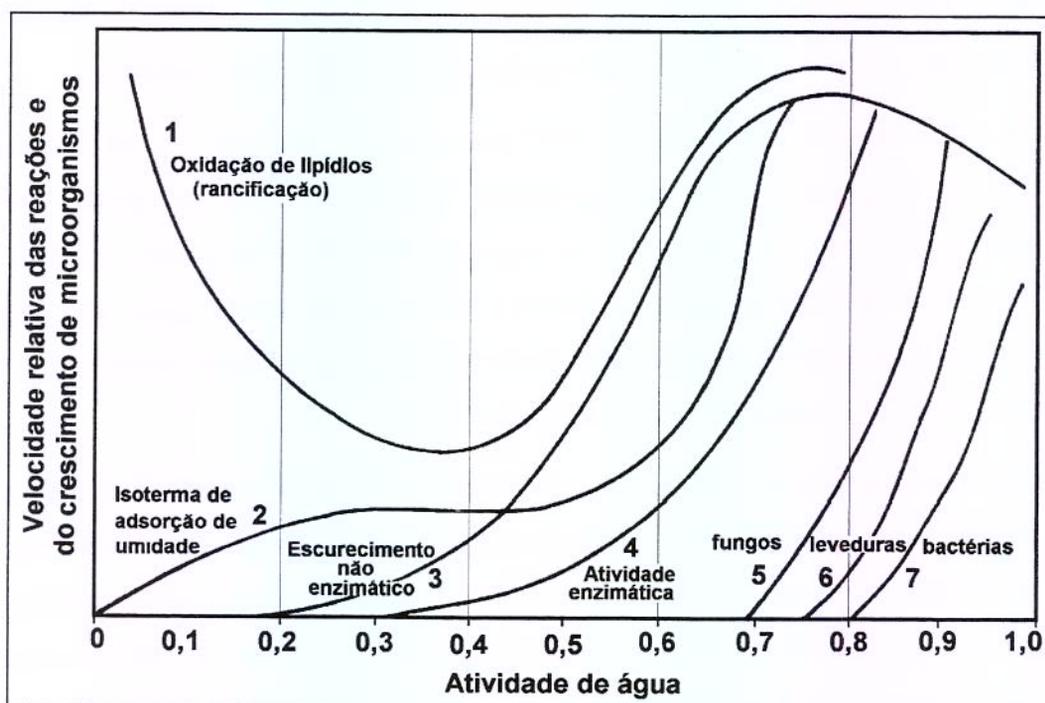


Figura 4.2 - Velocidades relativas de reações e de crescimento de microrganismos em função da atividade da água (Bobbio, 1990)

#### 4.4.2 - Composição do farelo de arroz tratado por microondas

O tratamento por microondas do arroz em casca úmido não produz nenhuma alteração significativa na composição centesimal do farelo de arroz, fato confirmado por Tao et al. (1993). Porém a composição da centesimal do farelo de arroz juntamente com os teores de fibra dietética e sílica indicam o nível de contaminação do farelo por resíduos de casca de arroz pureza e o grau de brunimento que o arroz foi submetido durante o beneficiamento determinando a conveniência para o consumo humano deste farelo, os resultados destas análises estão mostrados na Tab. 4.2.

Tabela 4.2 - Composição do farelo de arroz

ANÁLISES			MÉTODOS APROVADOS	
Componentes	Requisitos	Farelo de Arroz IAC 103	AOAC	AACC
Umidade	Max. 12 (%)	9,8 ± 0,4 (%)	925.09B	44-15
Proteína (N x 5,95)	Min. 13 (%)	14,9 ± 0,5 (%)	992.23	-
Gordura	Min. 16 (%)	20,9 ± 0,8 (%)	920.85	32-10
Fibra bruta	Max. 9 (%)	05,4 ± 0,4 (%)	920.87	08-01
Fibra dietética Total	Min. 20 (%)	19,3 ± 0,9 (%)	992.16	-
Cinzas	Max. 10 (%)	09,4 ± 0,5 (%)	923.03	08-01
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	Max. 0,1 (%)	0,09 ± 0,05 (%)	3. 005	40-21

Fonte: Hargrove (1994)

O conteúdo de umidade do farelo depende somente do processo de secagem e das condições de armazenagem do farelo. Os conteúdos de proteína, gordura e carboidratos dependem diretamente do grau de brunimento que o arroz sofreu durante a extração do farelo, assim quanto mais intenso o brunimento mais material do endosperma é retirado, sendo este formado predominantemente por amido, assim maior será a participação de carboidratos e menor de proteína e gordura. Os conteúdos de fibra bruta, cinzas e sílica dependem diretamente do grau de contaminação do farelo com casca. Os requisitos para o farelo de arroz, mostrados na Tab. 4.2, foram propostos pela associação de beneficiadores de arroz, Washington, D.C. como um padrão de excelência para o farelo de arroz comercializado nos EUA (citado por Hargrove, 1994).

#### 4.4.3 - Efeito do aquecimento por microondas na cor e aspectos visuais do farelo

As alterações na cor do farelo devido ao efeito do tratamento térmico foram avaliadas utilizando um colorímetro Hunter Lab, modelo Color Quest II. Os valores médios correspondentes para **a**, **b**, **L**, matiz (**Ø**), e índice de saturação (**S.I.**), estão indicados na Tab. 4.3.

Tabela 4.3 - Valores de cor para o farelo de arroz

FARELO DE ARROZ <i>Arroz IAC-103</i>	VALORES DE COR				
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>(<math>\theta</math>)</i>	<i>S.I.</i>
Safra 2001 Recém colhido	61,99	2,29	18,32	82,88	18,46
Safra 2001 Tratado por M.O.	62,33	2,32	18,52	82,59	18,78
Safra 2000 Envelhecido (1 ano)	59,81	3,18	19,85	80,90	20,10

O farelo de arroz safra 2001 tratado por microondas teve uma leve alteração no valor de **L** com relação ao farelo de arroz sem tratamento, tornando-se um pouco mais claro, porém as alterações nos valores de **a** e de **b** indicaram que o farelo tratado por microondas alterou a cor levemente para amarelado e avermelhado quando comparado com o farelo de arroz sem tratamento. Os valores do ângulo de matiz e do índice de saturação confirmaram estas alterações nos componentes da cor do farelo, porém a diferença entre os dois farelos foi mínima.

O farelo de arroz Safra 2000 Envelhecido (1 ano) demonstrou ser um pouco mais escuro e com componentes de cor vermelha e amarela mais intensas que os farelos de arroz safra 2001, tanto tratado por microondas quanto sem tratamento, refletindo o gradual processo de rancificação que o farelo sofreu ainda no grão de arroz durante a armazenagem.

A diferença mais significativa no aspecto visual esta entre o farelo recém extraído e o farelo rancificado (armazenado por 2 semanas) como mostrado na Fig. 4.3, onde as alterações no aspecto visual do farelo causado pela rancificação do óleo do farelo foram avaliadas a partir da digitalização da imagem das amostras de farelo diretamente no “scanner” HP, modelo ScanJet 3400C.



(1) Farelo recém extraído



(2) Farelo rancificado

Figura 4.3 - Aspectos visuais do farelo de arroz recém extraído e do rancificado



#### 4.4.4 - Efeitos dos tratamentos por microondas na atividade de peroxidase

Os resultados da análise da inativação da enzima peroxidase pelo tratamento por microondas no arroz em casca úmido (25,5 %) com diferentes tempos e temperaturas de tratamento estão listados na Tab. 4.4.

Tabela 4.4 - Atividade de peroxidase do farelo tratado por microondas

ENSAIO	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Peroxidase (absorbância)	Inativação (%)
01	2:30	80	0,270	90,61
02	3:20	80	0,259	90,99
03	2:30	93	0,145	94,96
04	3:20	93	0,144	94,99
05	2:30	99	0,098	96,59
06	3:20	99	0,096	96,66
07	2:30	67	0,489	82,99
08	3:20	67	0,476	83,44
09	2:30	61	1,382	51,93
10	3:20	61	1,304	54,64
Sem Tratamento	-	-	2,875	0,00

No tratamento com melhor resultado, a inativação foi próxima a 97 %, nos demais tratamentos pode-se verificar facilmente que quanto maior a temperatura mais eficiente a inativação e que o tempo de tratamento praticamente não foi significativo nos resultados. Estes resultados são compatíveis com os obtidos por Tao et al. (1993), que obteve uma inativação de 97,5 % (2,5 % de atividade residual) como o melhor resultado quando realizou tratamentos por microondas no farelo já extraído do arroz. O tempo de tratamento não teve efeito significativo por ser considerado como o tempo em que os grãos permanecem na temperatura de tratamento (tempo decorrido após o término da rampa de aquecimento), como mostrado na Fig. 4.1. Assim, para que haja inativação, basta que a temperatura dos grãos atinja um valor mínimo, em torno de 70 °C, porém, como nem todos os grãos aquecem da mesma forma, há necessidade de um tempo para que as temperaturas dos grãos individuais se aproximem da temperatura média da massa de grãos.

#### 4.4.5 - Efeito do armazenamento no teor de AGL (Ácidos Graxos Livres) do farelo estabilizado

A eficácia do tratamento por microondas na estabilização do arroz safra 2001 recém colhido foi avaliada pela comparação do teor de AGL formado nos farelos do arroz tratado por microondas com relação aos farelos sem tratamento do arroz recém colhido e do arroz safra 2000 envelhecido (1 ano) no decorrer de quatro semanas de armazenagem. Ao final de cada semana foi realizada a medida dos teores de AGL, os resultados estão apresentados na Tab. 4.5.

Tabela 4.5 - Conteúdo de ácidos graxos livres durante a armazenagem

Farelo de arroz	Armazenagem (Semanas)				
	0	1	2	3	4
<i>(IAC-103)</i>	Acido Graxos Livres (% Acido Oléico)				
Safra 2001 Recém colhido s/ trat.	2,4	24,6	38,0	44,0	56,8
Safra 2001 Tratado por MO	2,8	3,0	3,2	3,3	3,2
Safra 2001 Envelhecido s/ trat.	7,6	37,4	54,3	66,9	68,3

O teor de AGL no farelo estabilizado por microondas praticamente não teve alterações significativas, mantendo-se entre 3,8 e 4,4 % depois de quatro semanas de armazenagem, enquanto que os farelos sem tratamento aumentaram o teor de AGL muito rapidamente. A variação do teor de AGL do farelo de arroz tratado por microondas está dentro da faixa aceitável para as indústrias beneficiadoras de arroz, processadores e nutricionistas (Sayre et al., 1982), e foi menor que o aumento de 1 % relatado por Randall et al. (1985) para o farelo estabilizado por extrusão e armazenado pelo mesmo período.

## 4.5 - Conclusões

Os resultados desta investigação mostraram que o farelo de arroz pode ser estabilizado diretamente no grão de arroz em casca úmido utilizando o tratamento de aquecimento por microondas para a inativação das enzimas do farelo. O farelo de arroz tratado por microondas apresentou uma atividade de água de 0,49, valor abaixo do limiar de crescimento de qualquer tipo de microorganismos e não sofreu alterações significativas na sua cor e aspecto visual quando comparado com o farelo extraído do arroz recém colhido, mantendo uma cor comparável à do farelo extraído do arroz envelhecido.

O tratamento por microondas do arroz em casca reduziu a atividade de peroxidase do farelo em até 97 %. O teor de AGL no farelo estabilizado por microondas praticamente não teve alterações significativas, mantendo-se entre 3,8 e 4,4 % depois de quatro semanas de armazenamento, enquanto que os farelos sem tratamento aumentaram o teor de AGL muito rapidamente, atingindo 56%. O farelo de arroz estabilizado por microondas atendeu a todos os requisitos propostos para assegurar sua pureza e conveniência para o consumo humano, segundo a associação de beneficiadores de arroz, Washington, D.C.



## CONCLUSÕES GERAIS

O tratamento por microondas demonstrou ser um método efetivo para aumentar o rendimento de grãos inteiros do arroz recém colhido. A otimização do processo para obter o máximo de rendimento é alcançada quando a umidade do arroz recém colhido é elevada (> 24 %) e a temperatura de tratamento dos grãos atinge valores superiores a 92 °C, com tempo de tratamento acima de 2'30". O melhor resultado de rendimento de arroz inteiro foi de 66,48 % (66,48 g em 100 g de arroz em casca). Ao comparar este resultado com o rendimento de inteiro do arroz "in natura" (arroz sem tratamento), que foi de 55,75 g, verificou-se um aumento percentual de 19,25 % no rendimento de arroz inteiro, na melhor condição de tratamento.

A aplicação do tratamento por microondas, na condição de melhor rendimento de arroz inteiro, foi capaz de produzir alterações físico-químicas nos grãos de arroz recém colhido semelhantes às do envelhecimento natural e bem diferentes daquelas da parboilização, tanto na textura quanto na qualidade de cozimento do arroz, sem prejudicar o aspecto visual e a cor dos grãos, que são as características perceptíveis e requeridas pelo consumidor. O arroz tratado por microondas manteve uma semelhança muito mais próxima ao arroz envelhecido naturalmente, tanto no aspecto visual quanto nas medidas de cor em comparação ao arroz recém colhido e muito diferente do arroz parboilizado. Estes resultados indicam, ao menos quanto ao aspecto visual e valores de cor, que o tratamento por microondas para o envelhecimento artificial acelerado do arroz recém colhido não produziu alterações significativas que impedisse o produto obtido por este processo de ser classificado comercialmente como arroz natural. Assim o tratamento por microondas pode ser considerado uma etapa de processamento antecedente à secagem e que não altera a classificação comercial de arroz natural segundo a Secretaria Nacional de Abastecimento (1989), diferentemente do que ocorre com o processo de parboilização.

O tratamento por microondas do arroz em casca reduziu a atividade de peroxidase do farelo em até 97 %, demonstrando que o farelo de arroz pode ser estabilizado diretamente no grão de arroz em casca úmido na condição de máximo rendimento de inteiros. O Teor de Ácidos Graxos Livres (AGL) no farelo estabilizado por microondas

praticamente não teve alterações significativas com acréscimos, mantendo-se entre 3,8 e 4,4 % depois de quatro semanas de armazenamento, enquanto que os farelos sem tratamento aumentaram, o teor de AGL muito mais rapidamente neste mesmo período, atingindo 56 %. O farelo de arroz tratado por microondas apresentou uma atividade de água de 0,49, valor abaixo do limiar de crescimento de qualquer tipo de microorganismo e não sofreu alterações significativas na sua cor e aspecto visual quando comparado com o farelo extraído do arroz recém colhido, mantendo uma cor comparável à do farelo extraído do arroz envelhecido. O farelo de arroz estabilizado por microondas atendeu a todos os requisitos propostos para assegurar sua pureza e conveniência para o consumo humano, segundo a associação de beneficiadores de arroz, Washington, D.C. A efetiva inativação foi o resultado do aquecimento por microondas por períodos iguais ou maiores que 200 segundos, enquanto a umidade inicial do farelo era igual ou maior que 21 %.

Assim pode-se concluir que a utilização do tratamento do arroz em casca pela aplicação de microondas pode ser tecnicamente muito vantajosa, pois foi capaz de: a) aumentar o rendimento de arroz inteiro após o beneficiamento, melhorando a sua qualidade de beneficiamento; b) acelerar as alterações físico-químicas que caracterizam o envelhecimento do arroz, melhorando a sua qualidade culinária; c) inativar as enzimas presentes no arroz e responsáveis pela degradação do farelo, produzindo farelo de arroz estabilizado. Todas estas vantagens foram obtidas em um único tratamento, confirmando a vantagem da aplicação de microondas em relação a tecnologia utilizada atualmente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTRY. **Approved Methods of American Association of Cereal Chemistry Inc.**, St. Paul, MN, 1995.

ACHANTA, S.; OKOS, M. R. Impact of drying on biological product quality. In: BARBOSA CANOVAS, G. **Food Preservation by Moisture Control Fundamentals and Applications**. 5 Ed. ISOPOW Practicum II. Pub. Technomic Publishing, 1995. p. 637-651.

AOCS - AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign, 1989 (com atualizações em 1996).

AIZONO, Y.; FUNATSU, M.; FUJIKI, Y.; WATANABE, M. Purification and characterization of rice bran lipase 11. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v.40, n.2, p.317-324, 1976.

ALENCAR, M. L. C. B.; ALVARENGA, M. G. Farelo de arroz (1): Composição química e seu potencial como alimento. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.34, n.1, p.95-108, 1991.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of Association of Official Agricultural Chemistry International** 13<sup>th</sup> Edition. Maryland, 1993

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of Association of Official Agricultural Chemistry International** 16<sup>th</sup> Edition. Maryland, 1997

ARCHILA, M. A.; COURTOIS, F.; BONAZZI, C.; BIMBENET, J. J. Kinetics of mechanical degradation of paddy rice during drying: influence of process operations conditions and modeling for control design. **Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Drying Symposium**. Halkidiki, Greece, 1998. Vol. B, p.1303-1310

ARORA, V. K.; HENDERSON S. M.; BURKHARDT, T. H., Rice Drying Cracking Versus Thermal and & Mechanical Properties, **Transation of ASAE**, v.16, p.320-327, 1973.

- AYOUB, J. A.; BERKOWITZ, D.; KENYON, E. M.; WADSWORTH, C. K. Continuous microwave sterilization of meat in flexible pouches. **Journal of Food Science**. 39: 309-313, 1974.
- BALDI, G., FOSSATI, G., RANGHINO, F., and FANTONE, G. C. Storage of rice: Changes in protein and amino acids. **Riso**, v.26, p.253. 1977.
- BARBER, S. Milled rice and changes during aging. In: HOUSTON, D. F. **Rice: Chemistry and Technology**. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1972. p. 215.
- BARBER, S.; BENEDITO de BARBER, C. Rice bran: chemistry and technology. In: LUH, B. S. **Rice Production and Utilization**. (Ed). AVI. Pub. Westport, CT: 790-862, 1980.
- BARBER, S.; BENEDITO de BARBER, C. **Rice bran**: An underutilized raw material. Pub. E.84.II.B.3. U.N. Ind. Dev. Org./ U.N., Vienna/ New York, 1984. 251p
- BARBER, S., BENEDITO de BARBER, C., NOVA, M. Inactivation of rice bran enzymes during parboiling. in: **Research in Food Science and nutrition**. The Production, Preservation and Processing of Food. J. V. McLoughlin and B. M. McKenna, Boole Press, Dublin, v. 1., p. 85-86 1983.
- BARNES, P.; GALLIARD, T. Rancidity in cereal products. **Lipid Technology**, v.3, p.23-28, 1991.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas, Ed. Unicamp, 1995.
- BHATTACHARYA, K. R.; ALI, S. Z. Change in rice during parboiling and properties of parboiling rice. **Advances of cereal science and technology**, v.7. p. 105-167, 1985.
- BAUTISTA, R. C. **Experimental studies on fissure occurrence in rice by desorption and adsorption of moisture**. Ph. D. dissertation, Iwate University, Morioka, Japan, 1998.
- BAUTISTA, R. C; SIEBENMORGEN, T. J.; CNOSSEN, A.G. **Characteristics of rice individual kernel moisture content and size distributions at harvest and during**

- drying.** Department of Food Science, University of Arkansas 2650 North Young Avenue, Fayetteville, AR 72704, USA, 2000. Bautista et al., 2000
- BAUTISTA, R. C.; SIEBENMORGEN, T. J.; CNOSSEN, A.G. **Fissure formation characterization in rice kernels using video microscopy.** Department of Food Science, University of Arkansas 2650 North Young Avenue, Fayetteville, AR 72704, USA, 2000a
- BEKKI, E.; BAUTISTA, R. C. Behavior of fissure caused by moisture adsorption in brown rice. **Bulletin, Faculty of Agriculture, Hirosaki University**, No. 60:99-108, 1997.
- BILIADERIS, C.G. The structure and interactions of starch with food constituents. **Canadian Journal of Physio/pharmacol.** v.69, p.60-78, 1991.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos.** 3ª Ed. Varela, 2001. 144 pag.
- BOLLING, H., HAMPEL, G., and ELBAYA, A. W. Studies on storage of milled rice for a long period. **Food Chemistry**, v.3, n.17, 1978.
- BORGSTROM, B.; BROCKMAN, H.L. **Lipases.** Eselvier, Amsterdam, 1984. 527p.
- BRASIL - Grupo Executivo de irrigação para o Desenvolvimento Agrícola. Arroz - Contribuição ao desenvolvimento da agroindústria. v.8. Rio de Janeiro: **GEIDA-FCTPTA**, 165p., 1972.
- BRYGIDYR, A. M.; RZEPECKA, M.; McCONNELL, M. B. Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, n.10, v.4, p.313-317, 1977.
- BUFFLER, C.R. **Microwave cooking and processing: engineering fundamentals for the food scientist.** New York, V.N. Reinhold AVI, 1992. 169 p.
- CASTRO, H. F.; ANDERSON, W. A. Fine chemicals by biotransformation using lipases. **Química Nova**, São Paulo, v.18, n.6, p.544-554, 1995.
- CHAMPAGNE, E. T.; HORN, R. J., Sr.; ABRAHAM, G. Utilizing ethanol to produce stabilized brown rice products. **Journal American Oil Chemistry Society**, v.69, p.205-208. 1992.

- CHANG, T.; LUH, B. S. Overview and Prospects of Rice Production. In: LUH, B. S. **Rice: Production**. 2.Ed. New York. Van Nostrand Reinhold, 1991, v.1, c.1, p.1-12.
- CHAU, N. N.; KUNZE. O. R. Moisture content variation among harvested rice grains. **Transactions of the ASAE**, v.25, n.4, p.1037-1040, 1982.
- CHEN, H., SIEBENMORGEN, T.J; MARKS, B. P., Relating drying rate constant to head rice yield reduction of long-grain rice, **Transactions of file ASAE**, v.40, n.4, p.1133-1139, 1997
- CHEN, H., SIEBENMORGEN, T.J.; YANG, W. Finite element simulation to relate head rice yield reduction during drying to internal kernel moisture gradient and rice state transition, **ASAE Paper No.99-6156**, ASAE, St. Joseph, MI, USA, 1999.
- CHOUDHURY, M. S. U.; KUNZE, O. R. Moisture adsorption related to the tensile strength of rice. **Cereal Chemistry**, v.49, n.6, p.684-696, 1972.
- CHOUDHURY. N.H; JULIANO, B. O. **Phytochemistry**, Oxford, v.19, p.1063-1 069, 1980.
- CHRASTIL, J. Storage conditions affect rice stickiness. **Chemical Engineering News**, v.67, p.52, 1989.
- CHRASTIL, J. Correlations between the physicochemical and functional properties of rice. **Journal of Agriculture Food Chemistry**. v.40, p.1683, 1992.
- CHRASTIL, J. Effect of Storage on the Physicochemical Properties and Quality Factors of Rice. In: MARSHAL, W. E. and WADSWORTH, J. L. **Rice Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. Cap.4, p. 49-82.
- CNOSSEN, A.G.; SIEBENMORGEN, T. J.; PERDON, A.A, YANG, W., BAUTISTA, R. C A hypothesis for explaining fissure formation in rice kernels during the drying process. University of Arkansas, **Department of Food Science**, 2650 N. Young Avenue, Fayetteville, AR 72704, USA, 2000
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Arroz em casca, quadro de suprimentos. Disponível em: <[www.conab.gov.br/publicacoes/indicadores](http://www.conab.gov.br/publicacoes/indicadores)>. Acesso em 15 Dez. 2001.

- DECAREAU, R. V. **Microwaves in the food industry**. London: Academic Press, 1985. 234 p.
- DESIKACHAR, H. S. R.; BHASYHAM, M. K. RAGANATH, K. A.; MAHADEVAPPA, M. Effect of different maturity of paddy grains in a panicle on their milling quality. **Journal of Science Food**, v.24, n.8, p.893-896, 1973.
- ENOCHIAN, R. V.; SAUNDERS, R.M., SCHULTZ, W.G., BEAGLE, E. C., CROWLEY, P. R. Stabilization of rice bran with extrusion cookers and recovery of edible oil: A preliminary analysis of operations financial feasibility. **Marketing Research Report** 120. ARS, USDA, Washington, DC, 1981.
- FEDOROVA, S. A., SHCHERBAKOV, V. G.; BELOGLAZOVA, L. K. Changes in nitrogen and protein susceptibility (to enzymic hydrolysis) of rice with varying contents during prolonged storage. **Voprosy Pitan**, v.5, p.41, 1982.
- FELLERS, D. A.; DEISSINGER, A. E. Preliminary study on the effect of steam treatment of rice paddy on milling properties and rice stickiness. **Journal of Cereal Science**. In press. 1983.
- FELLERS, D. A.; MOSSMAN, A. P.; SUZUKI, H. F, Rice stickiness. II - Application of an Instron method to make some varietal comparisons and study modification of milled rice by hot air treatment and other methods. **Cereal Chemistry**, v.60, p.292, 1983.
- FELTRE, R.; SETSUO, Y. **Físico-química: teoria e exercícios** São Paulo: Moderna, 1989. (coleção de química, v,3)
- FRIAS, J. M.; BONAZZI C.; FOUCAT. L.; BIMBENET, J. J. Modelling of moisture profiles in paddy rice during drying mapped with magnetic resonance imaging (MRI). **Ensia-Inra, Food Process Eng.**, I av. des Olympiades, 91744 Massy cedex (France), 2000.
- GONÇALVES, A.A.; BADIALE-FURLONGE, E.; SOARES, L.A.S.; SALAS, M.M.M. Caracterização química e biológica dos farelos de arroz e trigo. **Revista Brasileira de Análises de Alimentos**, v.2, p.46-50, 1996.

- HARGROVE, K. L. Jr. Processing and Utilization of Rice Bran in the United States. In: MARSHAL, W. E.; WADSWORTH, J. L. **Rice Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. Cap.16, p.381-404.
- HOSENEY, R. C.; FAUBION, J. M. Physical properties of cereal grains. In: SAUCER, D.B. **Storage of cereal grains and their products**, 4<sup>th</sup> Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1992. p. 33-34.
- HOUSTON, D .F. Rice Bran and Polish. In: JULIANO, B. O. **Rice Chemistry and Technology**. St. Paul: ARCO, 1972. p.272-300.
- HOUSTON, D. F.; KOHLER, G.O. Nutritional Properties of Rice. National Academy Science. Washington, D.C. **Investment Advisory Center of Pakistan**. 1972.
- HWANGBO, J. S.; LEE, S. R. Changes in eating quality and lipid components of Tongil rice variety in storage. **Korean J. Food Science. Technology**, v.8, p.74., 1976.
- IRRI. Annual Report for 1969. **International Rice Research Institute**, Los Baños, Laguna, Philippines, 1970.
- IRRI. Annual Report for 1997. **International Rice Research Institute**, Los Baños, Laguna, Philippines, 1998.
- JENSEN, R.G. Detection and determination of lipase activity from various sources. **Lipids**, Champaign, v.18, n.9, p.650-657, 1983.
- JONES, P. L. High frequency dielectric heating in paper marking. **Drying Technology**, v.4, n.2, p217-244, 1986.
- JULIANO, B. O. Production and utilization of rice. In: JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2.Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985a. Cap.1, p.1-16.
- JULIANO, B. O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2.Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985b. Cap.3, p.59-174

- JULIANO, B. O. Biochemical properties of rice. In: JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2.Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985c Cap.4, p.175-206.
- JULIANO B. O. Criteria and tests for rice grain qualities. In: JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2.Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985d. Cap.12, p.443-524.
- JULIANO, B. O. Rice Bran. In: JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2.Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985e. Cap.6, p.547-688.
- JULIANO, B. O.; BECHETEL, D. B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2.Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985 Cap.2, p.17-58.
- JULIANO, B. O.; PEREZ, C. M. Critical moisture content for fissures in rough rice. **Cereal Chemistry**, v.70, n.5, p.613-615, 1993.
- KASAHARA, M.; INOHARA, A. Distributions of individual moisture contents of rough rice during drying. **Journal o Japan Society of Ag. Mach.**, v.50, n.5, p.65-72, 1988.
- KOHLWEY, D. E. New Methods for the Evaluation of Rice Quality and Related Terminology. In: MARSHAL, W. E. and WADSWORTH, J. L. **Rice Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. Cap.6, p.113-138.
- KRATZER, F. H., PAYNE, C. G. Effect of autoclaving, hot-water treatment, parboiling and addition of ethoxyquin on the value of rice bran as a dietary ingredient for chickens. **Poultry Science**. v.18, p.475-482, 1977.
- KRISHNAMURTHY, M. N.; NAGARAJ, K.V. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v.66, p.644, 1989.
- KUMAR, B. M.; UPADHYAY, J. K.; BHATTACHARYA, K. R. Objective test for stickiness of cooked rice. **Journal of Texture Studies**, v.7, p.271-278, 1976.
- KUNZE, O. R. Fissuring of the Rice Grain after Heated Air Drying **Transaction of ASAE**, v.22, n.5, p.1197-1207, 1979.

- KUNZE O. R.; WRATTEN, F. T. Physical and Mechanical Properties of Rice. In: JULIANO, B. O. Production and utilization of rice. In: JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2.Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. Cap.5, p.207-232.
- KUNZE, O. R.; CALDERWOOD, D. L. Rough Rice Drying. In: JULIANO, B. O. **Rice Chemistry and Technology** 2.Ed. St. Paul, Minnesota, USA: The American Association of Cereal Chemists, Inc., 1985. Cap.6: p.233-252.
- LANING, S. J. Fats, oil, fatty acids, and oil seed crops. In: GOLDBERG, I.; WILLIAMS, R. **Biotechnology and Food Ingredients**; Eds.; AVI: Westport, CT; p. 265-313, 1991
- LU, S.; LUH, B. S. Properties of the Rice Caryopsis. In: LUH, B. S. **Rice: Production**. 2. Ed. New York; Van Nostrand Reinhold, 1991, v.1, c.11, p. 3 89-420.
- LUH, B. S. Introduction. In; LUH, B S. **Rice: Utilization**. 2.Ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991 , v.2, c.1, p.1-8
- LUH, B. S. Rice Quality and Grades. In: LUH, B. S. **Rice: utilization** 2<sup>a</sup> Ed. New York, USA: Van Nostrand Reinhold, 1991. vol. II, c.1: p.1-8.
- LUH, B. S.; BARBER, S.; BENEDITO de BARBER, C. Rice Bran: Chemistry and Technology, In: LUH, B. S. **Rice: Utilization**. 2. Ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, v.2, c,14, p.313-362.
- MACRAE, A. R. Lipase-catalyzed interesterification of oils and fats. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v.60, n.2, p.243A-246A, 1983.
- MALEKIAN, F. **Functional, nutritional and storage characteristics of rice bran as affected by microwave heat and extrusion stabilization methods**. M.S. Thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 1992.
- MARSAIOLI, A, J. **Desenvolvimento da tecnologia de aplicação de microondas em secador cilíndrico rotativo combinado com ar quente para produtos granulados**. Campinas, 1991. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- MARSHAL, W. E. Starch Gelatinization in Brown and Milled Rice: A Study Using Differential Scanning Calorimetry. In: MARSHAL, W. E. and WADSWORTH, J. L. **Rice Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. Cap.10, p.205-228.
- MARTINEZ, S. M, E. **Efeito de algumas variáveis operacionais nas características de qualidade de arroz parboilizado convencionalmente e por microondas.**:. Campinas, 1984. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- MATTHEWS, J., J. I. WADSWORTH AND J. J. SPADARO. Rough rice breakage in relation to kernel thickness for hand and combine harvested rice. **Transactions of the ASAE** , v.24, n.,1, p. 255-258, 1982.
- McKENZIE, K. S. Breeding for Rice Quality. In: MARSHAL, W. E. and WADSWORTH, J. L. **Rice Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. Cap.5, p.83-112.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Portaria, nº 269. 17, 22 nov. 1988.; 22 nov. 1988 **Diário Oficial da União**. 01 fev. 1989. Portaria 157. 04 nov. 1991. Portaria, nº 171. 17, 24 abr. 1997.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras na indústria de alimentos**. 1ª Ed. Varela, 1998. 178 p.
- MORITA, T.; SINGH, R. P. Physical and thermal properties of short-grain rough rice. **Transaction of ASAE**, v.22, p.630-636, 1979.
- MORITAKA, S.; SAWADA, K.; YASUMATSU, K. Studies on cereals. VI. Effect of fat extraction on rice quality and storage deterioration of defatted rice. **Eiyo to Shokuryo**, 24:457, 1971a.
- MORITAKA, S.; SAWADA, K.; YASUMATSU, K. Studies on cereals. VII. Relation between lipid content of milled rice and deterioration of rice flavors during storage. **Eiyo to Shokuryo**, v.24, p.474, 1971b.
- MORITAKA, S.; YASUMATSU, K. Studies on cereals. IX. Sulfhydryl and sulfide contents of milled rice. **Eiyo to Shokuryo**, v.25, p.42, 1972.

- MOSSMAN, A. P. A review of basic concepts in rice-drying research. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.25, p.49-71, 1986.
- MUDGETT, R.E, Microwave Food Processing. **Food Technology**, v.43, n, 1, p117-126, 1989.
- MUTHUKUMARAPPAN, K., JINDAL, V. K.; GUNASEKARAN, S. Volumetric changes in rice kernels during desorption and adsorption. **Transatun of ASAE** 35 :235-241, 1992.
- NATIONAL FOOD AUTHORITY. Rice bran stabilization. **Grain Journal of Manila**, v.5, n.3, p.14-21, 1980.
- NEHUS, Z. T. **Milled rice breakage as influenced by environmental conditions, kernel moisture content, and starch thermal properties**. MS Thesis. University of Arkansas, Fayetteville, AR. 1997.
- NORMAND, F.L.; MARSHALL, W.E. Differential scanning calorimetry of whole grain milled rice and milled rice Flour. **Cereal Chemistry**, v.66, n.4, p.317-320, 1989.
- OHTA, H.; AIBARA, S.; YAMASHITA, H.; SEKIYAMA, F.; Morita, Y. Post-harvest drying of fresh rice grain and its effects on deterioration of lipids during storage. **Agricultural and Biologic Chemistry** (Tokyo), v.54, p.1157, 1990.
- OKABE, M. Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality. **Journal of Texture Studies**, v.10, p.131-152, 1979.
- ORTHOEFER, F. T. Rice bran oil: Healthy lipid source. **Food Technology**, Chicago, v.50, n.12, p.62-64, 1996.
- OWUSU-ANSAH, Y. J. Advances in microwaves and dielectric drying of foods and ingredients. **Canadian Institute of science and Technology Journal**, v.24, n.3/4, p, 102-107, 1991 .
- PERDON, A. A.; MARKS, B. P.; SIEBENMORGEN, T. J.; REID, N. B. Effects of rough rice storage conditions on the amylograph and cooking properties of medium-grain rice cv. Bengal. **Cereal Chemistry**, v.74, n.6, p.864-867, 1997.

- PERDON, A. A. **Amorphous state transition in rice during the drying process.** Ph.D, dissertation. Department of Food Science, University of Arkansas, Fayetteville, AR., 1999.
- PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O. Texture changes and storage of rice. **Journal of Texture Studies**, v.12, p.321, 1981.
- PESSOA, A. Produtores de arroz tentam sair do sufoco (caderno agrícola). **Jornal Folha de São Paulo**, 18 abril, 1999.
- PINZAN, N. R. Arroz (*Oryza sativa* L.) In: SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento Coordenadoria de Assistência Técnica. Departamento de Extensão Rural. **Manual técnico das culturas.** Campinas, 1986. p. 81-96 (manual n.8)
- POOVARODOM, N. **Factors affecting the stabilization of rice bran.** M. S. thesis, Asian Inst. Technol., Bangkok, Thailand, 1982. 46 p.
- POPPE, J. M. Z. **Obtenção industrial de óleo de farelo de arroz.** Campinas, 1972. 49p. Tese (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- PRABHAKAR, J.V.; VENKATESH, K.V.L. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v.63, p.661, 1986.
- PUSHPAMMA, P.; REDDY, M. U. Physicochemical changes in rice and jowar stored in different agro-climatic regions of Andhra Pradesh. **Bulletin of Grain Technology**, v.17, p.97, 1979.
- RAJESHWARA, A.N.; PRAKASH, V. Purification and characterization of lipase from rice (*Oryza sativa* L.) bran. **Die Nahrung, Weinheim**, v.39, n.5/6, p.406-418, 1995.
- RAMEZANZADEH, F. M.; RAO, R. M.; WINDHAUSER, M.; PRINYAWIWATKUL W.; TULLEY, R.; MARSHALL W. E. Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran during storage. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.47, p.3050-3052, 1999a.
- RAMEZANZADEH, F. M.; RAO, R. M.; WINDHAUSER, M.; PRINYAWIWATKUL W.; TULLEY, R.; MARSHALL W. E. Prevention of oxidative rancidity in rice bran during storage. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.47, p.2997-3000 1999b.

- RANDALL, J. M.; SAYRE, R. N.; SCHULTZ, W. G.; FONG, R. Y., MOSSMAN, A. P., TRIBELHOM, R. E.; SAUNDERS, R. M. Rice bran stabilization by extrusion cooking for extraction of edible oil. **Journal of Food Science**, v.50, p.361-368, 1985.
- RHEE, J. S.; YOON, H.N. Stabilization of rice bran by microwave energy. **Korean Journal of Food Science Technology**, v.161, p.113-119, 1984.
- ROBERTS, R.L. Effect of microwave treatment of pre-soaked paddy, brown and white rice. **Journal of Food Science**, v.42, n.3, 1977.
- ROCHA, C. R. **Aplicação de microondas na parboilização de arroz**. Campinas, 1998. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- RYU, C. H.; CHEIGH, H. S. Fractionation of rice bran lipid and storage effects on bran lipid composition. **Korean J. Food Science Technology**, v.12, p.278-284, 1980.
- RZEPECKA-STUCHLY, M. A. Microwave energy in foammat dehydration process. **Journal of Microwave Power**, v.8, n.2, p.137-139, 1976.
- SAASKI, E.; HARTI, J.; MITCHELL, G. A fiber optic system based on spectral modulation. **Advances in Instrumentation**, v.41, n.3, p.1177-1184, 1986.
- SARKER, N.N., FAROUK, S. M. Some factors causing rice-milling losses in Bangladesh. **Agricultural Machinery in Asia, Africa and Latin America**, v.20, n.2, p. 49-56, 1989.
- SARKER, N. N.; KUNZE O. R.; STROUBOULIS, T. Transient moisture gradients in rough rice mapped with finite element and related to fissures after heated air drying. **Transation of ASAE**, v.39, n.2, p.625-631, 1996.
- SATO, S.; TADENUMA, M.; OBATA, T.; TAKAHASHI, Y.; KOIRE, K. Changes in volatile sulfur compounds in white rice during sake making. **Nippon Jozo Kyokai Zasshi**, v.71, p.387-390, 1976.
- SAUNDERS, R. M. Rice bran: composition and potential food uses. **Food Rev. Intenational**, v.1, n.3, p. 465-483, 1986.
- SAUNDERS, R. M. The properties of rice bran as a foodstuff. **Cereal Foods World**, St. Paul, v.35, n.7, p.632-636, 1990.

- SAYRE, R. N.; SAUNDERS, R. M.; ENOCHIAN, R. V.; SCHULTZ, W. G.; BEAGLE, E. C. Review of rice stabilization systems with emphasis on extrusion cooking. **Cereal Foods World**, v.27, n.7, p.317-322, 1982.
- SCOTT, B. **Triglyceride interesterification by lipases**. Lund, 126p. Tese Department of Biotechnology, University of Lund, Sweden. 1990.
- SHARMA A.D.; KUNZE, O. R. Post-drying fissure developments in rough rice. **Transactions of ASAE**, v.25. n.2, p.465-468,474, 1982.
- SHIBUYA, N.; IWASAKI, T.; YANASE, H., and CHIKUBU, S. Studies on deterioration of rice during storage. I. Changes of brown rice and milled rice during storage. **Journal of Japan. Society of Food Science and Technology**, v.21. p.597, 1974.
- SHIBUYA, N., IWASAKI, T., CHIKUBU, S. Lipase activity in rice kernel. **Shokuhin Sogo Kenkyusho Kenkyu Hokoku**, v.30, n.10, 1975.
- SHIBUYA, N.; IWASAKI, T.; CHIKUBU, S. Studies on deterioration of rice during storage. II. Role of the free fatty acids in the changes of rheological properties of cooked rice and its paste during storage of rice. **Denpun Kagaku**, 24:67, 1977.
- SHIBUYA, N. Recent investigations on deterioration of rice during storage. **Grains Journal** (National Authority Manila), v.5, n.2, p.21-24, 1980.
- SCHIFFMANN, R.F. Microwave and dielectric drying In MUJUNDAR, A.S. **Handbook of Industrial Drying**. New York: Marcel Decker, 1987. cap 10, p.327-356
- SHIN, M. G., YOON, S. H., RHEE, J. S.; KWON, T. Correlation between oxidative deterioration of unsaturated lipid and n-hexanal during storage of brown rice. **Journal of Food Science**, v.51, p.460, 1986.
- SHOJI, I.; KURASAWA, H. On the viscosity of rice and rice starch by Brabender amylogram. III. The viscosity changes of the brown rices (glutinous, non-glutinous rices) stored for some periods in room temperature. **Kaseigaku Zasshi**, v.32, p.350, 1981a.

- SHOJI, I.; KURASAWA, H., On viscosity characteristics of rice and rice starch against Brabender amylography. II. Effects of protein and fat on viscosity of glutinous and non-glutinous rice starches. **Kaseigaku Zasshi**, 32:167, 1981b.
- SIEBENMORGEN, T. J. Role of Moisture Content in Affecting Head Rice Yield. In: MARSHAL, W. E. & WADSWORTH, J. L. **Rice Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. Cap.15, p.341-380.
- SIEBENMORGEN, T. J. Influence of post harvest processing on rice quality. **Cereal Foods World**, v.43, n.4, p.200-202, 1998.
- SLADE, L.; LEVINE, H. Glass transitions and water - Food structure interactions. **Advanced Food Nutr. Res.**, v.38, p.103-269, 1995.
- SONDI, A. B.; REDDY, I. M.; BHATTACHARYA, K. R. The effect of processing conditions on the oil content of parboiled-rice bran. **Food Chemistry**, v.5, p.277-282, 1980.
- SREENARAYANAN, V. V.; CHATTOPADHYAY, P. K. Rice bran stabilization by dielectric heating. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.10, p. 89-93. 1986.
- SRIMANI, B. N.; CHATTOPADHYAY, P.; BOSE, A. N. Stabilization of rice bran. I. Direct measurement of the lipase activity in rice bran and the methods for the inactivation of the same. In: BARBER, S. & TORTOSA **Rice By-Products Preservation**, Valencia: Institute for Agricultural Chemistry and food technology, 1977.
- STAUFFER, C. E. Ester hydrolyses. In: KRUGER, J.; LINEBACK, D.; STAUFFER, C. E. **Enzymes and their role in cereal technology**. Saint Paul: AACC, 1987. p.265-280.
- STEFFE, J.F.; SINGH, R.P. Liquid diffusivity of rough rice components. **Transaction of ASAE**, v.23, n.3, p.767-774, 1980.
- SWAMY, Y. M. I.; SOWBHAGYA, C. M.; BHATTACHARYA, K. R. Changes in physicochemical properties of rice with aging. **Journal of Science Food and Agriculture**, v.29. p.627-639, 1978.

- TAKAHASHI, K.; OHBA, T.; TAKAGI, M.; SATO, S.; NAMBA, Y. Identification and determination of an off-flavor compound, dimethyl sulfide, in sake brewed with old rice. **Hakko Kogaku Zasshi**, v.57, p.148-157, 1979.
- TAKANO, K.; KAMOI, I.; OBARA, T. Properties and degradation of rice bran spherosome. **Journal of Japanese Society of Food Science and Technology**, Tokyo, v.36, n.6, p.468-474, 1989.
- TAKANO, K. Mechanism of lipid hydrolysis in rice bran. **Cereal Foods World**, St. Paul, v.38, n.9, p.695-698, 1993.
- TANI, C. Y.; OHTA, T.; KATO, H. Cooking flavor and texture of rice stored under different conditions. **Agricultural Biological Chemistry** (Japan), 47:543, 1983.
- TAO, J. **Rice bran stabilization by improved internal and external heating methods**. Ph.D. Dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 1989.
- TAO, J.; RAO, R. M.; LIUZZO, J. A Thermal efficiencies of conventional and microwave heat stabilization of rice bran. **Louisiana Agriculture**. n.36, v.3, 1993.
- TSUGITA, T.; OHTA, T.; KATO, H. Cooking flavor and texture of rice stored under different conditions. **Agricultural Biological Chemistry** (Japan), 47:543, 1983.
- TSUZUKI, E.; TANAKA, K.; SHIDA, S. Studies on the characteristics of scented rice. VIII. Effect of storage conditions on some fatty acid compositions and flavor components in rice grains. **Kenkyu Hokoku Miyazaki Daigaku Nogakubu**, v.28, n.31, 1981.
- Van RUITEN H. T. L. Rice Milling: An Overview. In: JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2.Ed. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. c.9, p.349-388.
- VERGARA, B. S. Rice Plant Growth and Development. In: LUH, B. S. **Rice: Production** 2.Ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. v.1, c.2, p.13-22
- VIJAYAGOPALAN, P.; KURUP, P. A. Hypolipidaemic activity o whole paddy in rats fed a high-fat-high-cholesterol diet. Isolation of an active fraction from the husk and bran. **Atherosclerosis**, n.15, p.215-218, 1972.

- VILLARREAL, R. M.; RESURRECCION. A. P.; SUZUKI, L. B.; JULIANO, B. O.  
Changes in physicochemical properties of rice during storage. **Die Starke**, v.28, n.3, 1976.
- VIRAKTAMATH, C. S., and DESIKACHAR, H. S. R. Inactivation of lipase in rice bran in Indian rice mills. **Journal of Food Science and Technology**. n.8, v.70-74, 1971.
- Von HIPPEL, A.R. **Dielectric and waves** 2. ed. Massachusetts: MIT Press, 1995. 284p.
- WADSWORTH, J. I. Milling. In: LUH, B. S. **Rice: Production**. 2ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. Cap.10, p.347-388.
- WANG, C. Y.; LUH, B. S. Harvest, drying, and storage of rough rice. In; LUH, B. S. **Rice: Production**. 2. Ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, v.1, c..9, p.311-346.
- WEBB, B. D. Rice Quality and Grades. In: LUH, B. S. **Rice: Utilization** 2. Ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, v.2, c.5, p.89-120
- WICKERSHEIM, K. and Sun, M. Fiber optic thermometry and its applications. **Journal of Microwave Power**, v.22, n.2, p.85-9, 1987.
- YANAI, S.; ISHTANI, T.; KAKIUCHI, Y. Influence of gaseous environment on hermetic storage of brown rice. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, 26:25, 1979.
- YAMATSU, K.; MORITAKA, S. Progress in methods for evaluating rice quality. **Journal of Takeda Resources Lab.**, v.38, p.62-72, 1979.
- YOKOCHI, K. Rice bran processing for the production of rice bran oil and characteristics and uses of the oil and deoiledbran. In: BARBER S., TORTOSA, E. **Rice Bran Utilization Oil**. Inst. Agroquim. Tecnol. Aliment., Valencia, Spain, 1977.
- YOKOCHI, K. Efficiency test with a new type of stabilizer in Burma. In: BARBER, S.; MITSUDA, H.; DESIKACHAR, H. S. R, TORTOSA, E. **Rice Report**. Inst. Agroquim. Tecnol. Aliment., Valencia, Spain, p.141-143, 1978.

