

ELIZABETH GARCIA DE ANDRADE TONELLI

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO E OTIMIZAÇÃO
DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ARROZ EXPANDIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do grau de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. PRABIR K. CHANDRA

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1995**

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF TORONTO

1955



THE UNIVERSITY OF TORONTO

LIBRARY

1955

DR. FABRIZIO K. CHANDRA

1955
UNIVERSITY OF TORONTO
LIBRARY

ELIZABETH GARCIA DE ANDRADE TONELLI

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO E OTIMIZAÇÃO
DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ARROZ EXPANDIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do grau de "Mestre"

Orientador

Prof. Dr. PRABIR K. CHANDRA

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1995**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFLA

Tonelli, Elizabeth Garcia de Andrade
Desenvolvimento de um equipamento e otimização
do processo de produção de arroz expandido / Eliza-
beth Garcia de Andrade Tonelli. -- Lavras : UFLA,
1995.

96 p. : il.

Orientador: Prabir K. Chandra.
Dissertação (Mestrado) - UFLA
Bibliografia.

1. Arroz expandido - Tecnologia. 2. Floco de
arroz - Processamento - Equipamento. 3. Puffer
(Expandidor de arroz). 4. Breakfast. 5. Snack.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-664.725

ARQUIVO ISMUA UFLA 1995

BRUNO DIAS

ELIZABETH GARCIA DE ANDRADE TONELLI

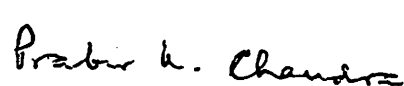
**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO E OTIMIZAÇÃO
DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ARROZ EXPANDIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do grau de "Mestre".

APROVADA em 28 de abril de 1995.


Prof. Dr. Evódio Ribeiro VILELA


Prof. Dr. José CAL-VIDAL


Prof. Dr. Prabir Kumar CHANDRA
(Presidente)

A Deus

Para honra e glória do Seu Santo Nome

**Que me tornou possível subir este degrau
de minha existência**

DEDICO

Aos meus pais Sr. José e D. Maria

**Que sempre me incentivaram a seguir adiante,
dedico minha conquista com admiração e respeito**

Aos meus sogros Sr. Paulo e D. Margarida

Pelo carinho, apoio e amizade

Ao meu esposo Zamião Tonelli Neto

**Que me deu não somente de seu amor,
mas principalmente de sua fé e ternura**

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque Ele é fonte de toda sabedoria e conhecimento.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), particularmente ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão das bolsas de estudo.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), pela contribuição na aquisição da matéria-prima.

Ao professor Dr. Prabir K. Chandra, pela preciosa orientação, confiança, amizade, paciência, apoio e exemplo a ser seguido.

Em especial, aos professores Dr. Adimilson Bosco Chitarra e Dr. Antônio Marciano da Silva, pela contribuição e atenção dispensada para que tornasse possível o término da dissertação.

Ao professor Dr. Evódio Ribeiro Vilela, pela valiosa colaboração, oportunas sugestões e pela permissão do uso de laboratório.

A professora e amiga Dr^a Sin-Huei Wang, da UFRRJ, pela amizade, apoio e estímulo.

Ao professor Dr. José Cal-Vidal pelas sugestões.

Aos professores Paulo Roberto Clemente, Vânia Déa de Carvalho e Luís Ronaldo de Abreu, pela amizade e conhecimentos transmitidos.

As minhas grandes amigas Zinha, Lú, Kika e Cilene, que mesmo distantes, estiveram sempre presentes.

Ao meu amigo José Antônio de Oliveira e família, pela amizade sincera.

Aos meus irmãos Cida, Delza, Hélio, Dalva e Dayse, pela amizade e amor verdadeiro.

Aos meus cunhados e sobrinhos, pelo apoio, incentivo e carinho recebidos.

Aos amigos Celeste, Dirce, Gilmar, José Eduardo, Krishna, Marcus Vinicius, Mônica, Rogerinho, Rosemary, Silvanda, Tina e Urquiza pelo grande apoio, amizade e alegre convívio durante o curso.

Ao amigo Tadayuki, pela orientação nas análises estatísticas.

A Giselda e demais funcionários do DCA/UFLA, pela atenção e carinho recebidos.

Aos funcionários da oficina mecânica da UFLA, pela execução do equipamento.

A Unidade Beneficiadora de Grãos e Sementes da UFLA, pelo uso de máquinas e equipamentos.

Aos funcionários da Biblioteca Central da UFLA, pela amizade e atenção com que sempre me receberam.

Não se conquista um ideal sozinho. A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	xvi
SUMMARY	xviii
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 Matéria Prima - O Arroz	04
2.2 Alimentos Expandidos	06
2.3 Processos de Expansão do arroz	07
2.4 Variáveis no Processo de Expansão	12
2.5 Equipamentos para Elaboração de Expandidos	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Materiais	19
3.1.1 Matéria-prima	19
3.1.2 Equipamentos/Máquinas	20
3.2 Métodos Tecnológicos	21
3.2.1 Preparação da Areia	21
3.2.2 O Equipamento "Puffer"	21
3.2.2.1 Cálculos para a fabricação do arroz expandido	23
3.2.3 Preparo das Amostras	29
3.2.4 Pré-tratamentos do Arroz	29
3.2.4.1 Maceração	29
3.2.4.2 Tratamento Térmico	30
3.2.5 Beneficiamento	32
3.2.6 Processo de Expansão	32
3.2.7 Armazenamento do Arroz Expandido	35
3.2.8 Delineamento Experimental	35
3.3 Avaliações	35
3.3.1 Avaliação do Puffer	36
3.3.2 Qualidade do Produto Expandido	36
3.3.3 Determinações Físicas	36
3.3.4 Determinação Química	38

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Efeito da Maceração no Arroz	39
4.2	Tratamento Térmico e Beneficiamento	42
4.3	Volume Inicial Aparente e Volume Inicial Específico	49
4.4	Obtenção da Pipoca de Arroz	51
4.4.1	Teor de Umidade da Pipoca de arroz	51
4.4.2	Razão de Expansão da Pipoca de Arroz	54
4.5	Obtenção do Arroz Puffed	62
4.5.1	Teor de Umidade do Arroz Puffed	62
4.5.2	Razão de Expansão do Arroz Puffed	65
4.6	Otimização do Processo de Expansão	74
4.7	O Equipamento "Puffer"	76
5	CONCLUSÕES	83
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	ANEXOS	92

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Dimensões médias do arroz em diferentes variedades de grãos	20
2	Condições do pré-tratamento hidrotérmico nas amostras de arroz para preparação de arroz expandido	31
3	Condições do processo de expansão aplicadas às amostras de arroz dos grupos 1 e 2	33
4	Teor de umidade de hidratação para o arroz em casca, macerados à temperatura de 80°C e tempo de residência de 10 horas	41
5	Valores médios observados em função da variedade e tratamento térmico para obtenção de arroz puffed	44

Tabela

Página

6	Teor de umidade (% bu) nas diferentes variedades do arroz parboilizado beneficiado para obtenção de arroz puffed, independente da temperatura	45
7	Teor de umidade (% bu) do arroz parboilizado beneficiado submetido às temperaturas de parboilização (TP) em estudo para obtenção de arroz puffed	45
8	Percentagem de grãos inteiros no beneficiamento para obtenção de arroz puffed	46
9	Percentagem de grãos quebrados no beneficiamento para obtenção de arroz puffed	47
10	Percentagem de farelo no beneficiamento para obtenção de arroz puffed	48
11	Percentagem de casca no beneficiamento para obtenção de arroz puffed	48
12	Médias do volume inicial aparente - VIA (ml) e volume inicial específico - VIE (ml) do arroz parboilizado beneficiado para obtenção de arroz puffed	50

Tabela	Página
13 Médias do volume inicial aparente - VIA (ml) e volume inicial específico - VIE (ml) do arroz parboilizado em casca para obtenção de pipoca de arroz	51
14 Médias do teor de umidade (% bu) na pipoca de arroz sob diferentes condições de tratamento térmico e expansão em estudo	52
15 Médias do teor de umidade (% bu) na pipoca de arroz parboilizadas a 140°C e expandidas à TE de 260, 280 e 300°C	53
16 Médias do teor de umidade (% bu) na pipoca de arroz parboilizadas a 160°C e expandidas à TE de 260, 280 e 300°C	53
17 Médias do teor de umidade (% bu) na pipoca de arroz parboilizadas a 180°C e expandidas à TE de 260, 280 e 300°C	54
18 Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) da pipoca de arroz com relação à variedade dentro do fator temperatura de parboilização	56

Tabela		Página
19	Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) da pipoca de arroz com relação à variedade dentro do fator temperatura de expansão	56
20	Médias da Razão de Expansão Específica (REE) da pipoca de arroz com relação à variedade dentro do fator temperatura de parboilização .	57
21	Médias da Razão de Expansão Específica (REE) da pipoca de arroz com relação à variedade dentro do fator temperatura de expansão	57
22	Médias do teor de umidade (% bu) no arroz puffed sob condições de tratamento térmico e expansão em estudo	63
23	Médias do teor de umidade (% bu) no arroz puffed parboilizados à TP de 140°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	63
24	Médias do teor de umidade (% bu) no arroz puffed parboilizados à TP de 160°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	64

Tabela		Página
25	Médias do teor de umidade (% bu) no arroz puffed parboilizados à TP de 180°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	64
26	Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) do arroz puffed parboilizados à TP de 140°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	66
27	Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) do arroz puffed parboilizados à TP de 160°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	66
28	Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) do arroz puffed parboilizados à TP de 180°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	67
29	Médias da Razão de Expansão Específica (REE) do arroz puffed parboilizados à TP de 140°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	67
30	Médias da Razão de Expansão Específica (REE) do arroz puffed parboilizados à TP de 160°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	68

Tabela

Página

31	Médias da Razão de Expansão Específica (REE) do arroz puffed parboilizados à TP de 180°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C	68
----	---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Esquema da câmara do Puffer com areia na altura h	24
2	Diagrama esquemático da vista frontal do Puffer na posição normal	25
3	Diagrama esquemático do Puffer posicionado com um giro de 180°	26
4	Vista lateral do Puffer na posição normal - lateral direita (A) e lateral esquerda (B) ...	27
5	Vista lateral interna do Puffer, destacando o agitador (A) e a tela de arame (B), na posição normal	28
6	Fluxograma do processo de fabricação de Arroz Puffed e Pipoca de Arroz	34

Figura		Página
7	Variação da REE da pipoca de arroz parboilizada à temperatura de parboilização de 140°C ...	58
8	Variação da REE da pipoca de arroz parboilizada à temperatura de parboilização de 160°C ...	59
9	Variação da REE da pipoca de arroz parboilizada à temperatura de parboilização de 180°C ...	60
10	Variação da REE na pipoca de arroz variedades Douradão (A), Guarani (B) e Rio Paranaíba (C) com relação aos seus teores de umidade finais	61
11	Variação da REE do arroz puffed parboilizado à temperatura de parboilização de 140°C	69
12	Variação da REE do arroz puffed parboilizado à temperatura de parboilização de 160°C	70
13	Variação da REE do arroz puffed parboilizado à temperatura de parboilização de 180°C	71
14	Variação da REE no arroz puffed variedades Douradão (A), Guarani (B) e Rio Paranaíba (C) com relação aos seus teores de umidade finais	73

Figura		Página
15	Fotografia do arroz parboilizado em casca para obtenção de pipoca de arroz e arroz parboilizado beneficiado para obtenção de arroz puffed	78
16	Fotografia da vista frontal externa do Puffer	79
17	Fotografia da vista frontal interna do Puffer	80

RESUMO

TONELLI, Elizabeth Garcia de Andrade. **Desenvolvimento de um equipamento e otimização do processo de produção de arroz expandido.** Lavras: UFLA, 1995. 96p. (Dissertação - Mestrado em Ciência dos Alimentos).*

Com finalidade de obter arroz expandido crocante, leve e de máxima expansão do volume, desenvolveu-se um equipamento de baixo custo, aquecido a gás, denominado Puffer. Este consta de uma câmara de expansão contendo em seu interior um agitador, uma tela de arame e areia. O agitador agita a mistura arroz:areia durante o processo, a areia transfere calor aos grãos durante o processamento e a tela de arame separa a areia do produto final após girar a câmara em 180°. Desenvolveram-se dois produtos: Pipoca de Arroz à base de arroz em casca e Arroz Puffed à base de arroz polido. O arroz em casca foi submetido à maceração em água à temperatura de 80°C por 10 horas e posterior tratamento térmico no próprio Puffer com as amostras em contato direto com a areia, sob temperaturas de 140, 160 e 180°C. A expansão foi realizada no Puffer de maneira análoga ao tratamento térmico, utilizando altas temperaturas por curto tempo. Utilizaram-se três cultivares

* Orientador: Prof. Dr. Prabir K. Chandra. Membros da Banca: Prof. Dr. Evódio Ribeiro Vilela e Prof. Dr. José Cal-Vidal.

de arroz. Através de análises verificou-se que a Pipoca de Arroz e Arroz Puffed variedades Douradão e Guarani, respectivamente, ambos parboilizados a 160°C por 10 minutos, teor de umidade entre 11 e 12% (bu) e expandidos a 280°C, mostraram as maiores razões de expansão do volume no produto final (6,44 e 6,13 respectivamente). Com o aumento do tempo de expansão e insuficiência na agitação da mistura arroz:areia, as amostras tenderam à carbonização. O Arroz Puffed manteve sua forma cilíndrica, lisa e porosa. A Pipoca de Arroz modificou completamente sua forma original, mostrando a superfície irregular, com fendas. O Puffer permitiu sua utilização com segurança, aquecimento rápido e uma capacidade produtiva de 30000 a 50000 ml/h.

SUMMARY

DEVELOPMENT OF AN EQUIPMENT AND PROCESS OTIMIZATION FOR PRODUCING PUFFED RICE

With a view to obtain crisp, puffed and light rice and of maximum puffed volume, both a low cost equipment called Puffer with gas-heating arrangement and pre-treatments of raw material were developed. The Puffer consists of an explosion chamber with a stirrer inside, a wire screen and a handle outside to turn it by 180°. The stirrer mixes the rice:sand mixture during the process, the wire screen separates the sand from the final product and the sand transfers heat to the grains during processing. Two products were developed: "pop rice" on the basis of paddy and "puffed rice" on the basis of polished rice. The pre-treatments were accomplished on the paddy were consisting of soaking it in water at a temperature of 80°C for 10 hours and giving heat treatment to the samples in the Puffer itself in direct contact with the sand at 140, 160 and 180°C. The puffing is also a heat treatment process, by utilizing high temperatures for a short time on the pretreated samples in the same equipment. Three varieties of rice used were: Douradão, Guarani and Rio Paranaíba. Through physical and chemical analysis, it was found

that the "pop rice" variety Douradão parboiled at temperature of 160°C for ten minutes with an initial moisture content of about 12% wb, independent of puffing temperature, showed the highest volume expansion ratio in the final product (6.44) with the lowest final moisture of 2.38% wb. For obtaining puffed rice, the variety Guarani presented the highest volume expansion at a parboiling temperature of 160°C, an initial moisture of 11.60% wb and a puffing temperature of 300°C. To both types of expanded rice, there was a trend of an increase in volume as puffing temperature increased. The samples under the optimized conditions presented an average expansion ratio with varying from 4 to 6. With increased puffing time and insufficient stirring of the rice:sand mixture, the samples were charred. The puffed rice maintained its cylindrical, smooth and porous form. The pop rice was modified altogether from its original form, displaying its irregular surface with cracks. The Puffer allowed its utilization with safety, quick heating conservation of heat and a production capacity of 30000 to 50000 ml/h.

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*, L) é o cereal mais consumido no mundo, sendo portanto a base alimentar da população mundial (Adair,1972, Amato e Silveira Filho,1988, Raghavendra Rao e Juliano,1970). Dessa forma, este cereal tem sido objeto de pesquisa abordado por muitas instituições e centros de pesquisas em todo o mundo (EMBRAPA,1994 e Hui,1992).

Segundo estatísticas da FAO (1994), em 1993 as maiores produções de arroz foram obtidas na China, seguida pela Índia, ficando o Brasil em 8º lugar no mercado produtor mundial. O crescente aumento da população mundial nos dias atuais, especialmente nas regiões subdesenvolvidas tem gerado uma necessidade de se ampliar as opções de alimentos. O uso do arroz como alimento processado tem aumentado nestes últimos anos. Sua industrialização tem trazido novas perspectivas e estendido sua utilização sob formas bem aceitas pelo consumidor. O desenvolvimento de novos produtos preparados à base de arroz assumiu particular importância devido a algumas propriedades do seu amido. Ele não só empresta seu sabor, como também tem propriedades modificadoras da textura, tanto na formulação quanto no processamento (Fonseca et al.,[19--]).

A expansão de alimentos tipo snack é uma das opções para o consumo do arroz processado, sendo uma tecnologia relativamente nova no Brasil, embora em outros países, principalmente na Índia, sua prática seja antiga (Sullivan e Craig, 1984). Seu processamento tem se expandido na indústria alimentícia dos Estados Unidos da América do Norte e Europa (Fast, 1987 e Hui, 1992). O processo de expansão do arroz é um dos mais viáveis, pela facilidade de execução e aceitação do produto pelo consumidor, embora tenha sido pesquisado em escala laboratorial. A elaboração de arroz expandido requer pré-tratamentos aos grãos e uma combinação de cozimento e desidratação dos mesmos a altas temperaturas por curto tempo (HTST-high temperature short time). Esse processo permite reduzir o teor de umidade a níveis bem baixos (2 a 3% base úmida - bu), permitindo sua estocagem por longo tempo. No entanto, a aplicação deste processo requer pesquisas para determinar suas condições adequadas, bem como avaliar os efeitos das variáveis do processo nas suas características físicas, químicas, físico-químicas e reológicas.

Atualmente vários tipos de alimentos são produzidos pelo processo de expansão, tais como refeições ligeiras de cereais e frutas, "snacks", "breakfast cereal", confeitos, alimentos infantis, etc (Hui, 1992, Kozempel et al., 1989, Luh e Bhumiratana, 1980, Matz, 1976), existindo um interesse crescente por esta tecnologia, decorrente da versatilidade que ela apresenta em relação a outros métodos de cozimento.

As variáveis do processo de expansão, tais como variedade do arroz, temperatura e tempo de pré-tratamentos, temperatura e tempo de expansão, teor de umidade do grão pré e pós-processamento, dentre outras, estão inter-relacionadas durante a operação e exercem uma influência marcante nas características do produto expandido final. Outro fator importante a ser considerado é o método adotado para o processamento, podendo-se elaborar arroz expandido em areia, óleo ou vapor d'água sob pressão, aquecidos.

Com base no exposto, o presente trabalho se propõe a:

- a) Projetar e desenvolver um equipamento simples e versátil para o preparo de Pipoca de Arroz, Arroz Puffed e outros alimentos expandidos à base de grãos, legumes e cereais, utilizando areia aquecida como meio de transferência de calor, que possa ser utilizado em escala comercial.
- b) Determinar os parâmetros ótimos de operação do equipamento que possibilitem a obtenção de produtos expandidos de máximo volume de expansão, baixo teor de umidade, textura leve, crocante e de propriedades organolépticas aceitáveis.
- c) Desenvolver pré-tratamentos específicos aplicados ao arroz, que otimizem suas variáveis, tais como temperatura e tempo de maceração, temperatura e tempo de tratamento térmico e temperatura e tempo de expansão, que possibilitem a obtenção de produtos expandidos com as mesmas características mencionadas na secção (b).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matéria Prima - O Arroz

O arroz é uma das principais culturas do mundo, só perdendo, em volume, para o trigo (Fonseca et al., [19--]). Vários trabalhos mostram ser o arroz originário do Continente Asiático (Adair, 1972, Amato e Silveira Filho, 1988, Hui, 1992, Inglett, 1977, Luh e Chang, 1980, Salunkhe, Chavan e Kadam, 1985 e Silva, 1980).

Na economia mundial, ele é extremamente importante (Luh e Bhumiratana, 1980), pois segundo Luh e Chang (1980), confirmado por Hui (1992), a alimentação mundial baseia-se principalmente no consumo de cereais, especialmente o trigo e o arroz.

Gutkoski e Elias (1994) afirmam ser o arroz um produto agrícola cujo principal uso ocorre na forma de arroz beneficiado polido. Entretanto, Kent (1983) e Luh e Bhumiratana (1980), verificaram que além do consumo na forma de arroz beneficiado polido, é também empregado em menor escala, como matéria-prima industrial para elaboração de cereais matinais, cervejaria, saquê, farinhas, snacks, amido e outros. Além disso, Fonseca et al. ([19--]) informam ser o arroz um produto caro e este fato limita seu uso à sua industrialização.

Alguns tratamentos especiais são realizados com vista à melhoria das condições nutricionais, de digestibilidade e de facilidade de cocção do arroz integral e do arroz polido, como é o caso de arroz parboilizado, arroz pré-cozido, arroz expandido e arroz vitaminado (Bechtel e Pomeranz,1980, Fonseca et al.,[19--], Gariboldi,1972).

Segundo Hui (1992), nos Estados Unidos o uso do arroz como alimento processado quase dobrou nas últimas décadas. Cereais do tipo breakfast à base de arroz são muito consumidos pelos norte-americanos, além de outros produtos tais como alimentos para bebês, misturas pré-embaladas, sopas enlatadas, etc. De acordo com Luh e Bhumiratana (1980), neste mesmo país empregam-se para fabricação de arroz expandido aqueles considerados "soft", de variedades do tipo médio e curto, pois estes tendem a grudar ou agrupar-se uns aos outros, quando utilizados para uso normal (cozidos in-natura). Daí seu aproveitamento nas indústrias de processamento de arroz.

O arroz é um alimento predominantemente amiláceo, sendo que o amido constitui mais ou menos 90% do endosperma ou interior do grão (Herzog,1977). O comportamento do arroz e seus produtos refletem largamente o comportamento de seu amido (Chinnaswamy, Unnikrishnan e Bhattacharya,1985).

2.2 Alimentos Expandidos

A expansão ou "puffing" de alimentos é definida como um processo termomecânico, utilizando principalmente alimentos ricos em amido, que é gelatinizado, obtendo-se um produto final de ótimas propriedades organolépticas (Clark,1986).

Atualmente existem vários tipos de cereais prontos para o consumo, comumente utilizados em refeições ligeiras ou matinais, que foram criados no século XX com o desenvolvimento de flocos de milho - "corn flakes" por KELLOGG (Brockington e Kelly,1972) e têm sido adotados também no Brasil (Fonseca et al., [19--]).

Segundo Villareal e Juliano (1987), Arroz Puffed e Pipoca de Arroz são tipos de snacks muito consumidos em outros países, devido principalmente à sua textura crocante e leve. Na Índia este é um cereal matinal favorito (Chandrasekhar e Chattopadhyay,1989). Entretanto, apesar de seu elevado consumo e aceitação, pouca atenção científica vem sendo dada a esses produtos (Chinnaswamy e Bhattacharya,1986). Pesquisas básicas na área têm sido conduzidas pelo Central Food Technological Research Institute, em Mysore - Índia. Contudo, elas são desenvolvidas em escala laboratorial (Chinnaswamy e Bhattacharya,1983b). Desta forma, faz-se necessário a extensão desse processo para a escala industrial.

Além de produtos expandidos à base de arroz, várias pesquisas foram realizadas com outros alimentos obtendo-se frutas e vegetais expandidos com excelente textura, cor e sabor, que

foram mantidos durante armazenagem prolongada (Konstance et al., 1978, Sullivan et al., 1981).

2.3 Processos de Expansão do Arroz

O processo tradicional seguido na Índia é realizado pela torragem do arroz em areia, sendo o arroz expandido diretamente em contato com areia aquecida (Chinnaswamy e Bhattacharya, 1983a,b e Murugesan e Bhattacharya, 1986). Segundo Payne, Taraba e Saputra (1989), este processo com a utilização de areia como meio de aquecimento já era utilizado desde os tempos remotos pelos indianos.

No início do século XX, nos EUA já eram utilizadas as técnicas de expansão em cereais, tendo-se atualmente desenvolvido sistemas contínuos de expansão no vapor, para substituírem os sistemas convencionais (Clark, 1986). O processamento convencional de arroz expandido envolve primeiro o cozimento do grão, adicionando-se substâncias que confirmam flavor ao produto ou adicionando-se simplesmente sal ou açúcar (Fast, 1987).

Na elaboração de arroz expandido através do processo de expansão, é necessário que o cereal seja submetido a um pré-tratamento, denominado parboilização. O processo de preparação do arroz parboilizado afeta consideravelmente a qualidade final do produto expandido (Chinnaswamy e Bhattacharya, 1986). O processo de parboilização (também chamado de aferventação e de malekização) é bastante antigo e aplicado ao arroz em casca antes

do seu beneficiamento (Fonseca et al.,[19--]). O arroz parboilizado teve sua origem na Índia Antiga há cerca de 2000 anos (Arnt,1977), onde é consumido em larga escala (Bhattacharya,1985, Mehan, Kester e Pense,1961), empregado no mundo inteiro (Anthoni et al.,1981 e Silva,1980).

Segundo o Ministério da Agricultura (1988), por intermédio da Portaria nº 269 de 17 de novembro de 1988, o arroz parboilizado é definido como "o produto que, ao ser beneficiado, os grãos apresentam uma coloração amarela, uniforme e translúcida em decorrência do tratamento hidrotérmico a ele aplicado".

De acordo com vários autores (Amato e Silveira Filho, 1988, Carvalho et al.,1992, Gariboldi,1972, Luh,1980 e Sesay e Verma,1986), a parboilização consiste em um tratamento hidrotérmico no arroz em casca, seguido de secagem, para reduzir novamente a umidade a um nível ótimo para o processamento. No processo de parboilização há alterações de ordem física, química, físico-química, estética e organoléptica (Luh e Mickus,1980, Fonseca et al.,[19--]). Essas alterações foram estudadas por Ali e Bhattacharya (1976), quando observaram que houve a gelatinização do amido, desintegração das partes proteicas do endosperma e esterilização dos grãos devido a altas temperaturas, favorecendo a expansão e a textura porosa do arroz expandido. No momento da gelatinização ocorre a expansão dos grânulos de amido e da estrutura proteica do endosperma, preenchendo os interstícios de ar, criando uma forte coesão entre eles (Fonseca et al.,[19--]), tornando-os uma massa compacta, translúcida e resistente (Gariboldi,1972). Essas modificações estão diretamente ligadas ao

seu teor de umidade e à elevação da temperatura de parboilização (Bhattacharya,1985). Informações amplas sobre as alterações sofridas pelos grânulos de amido durante o tratamento térmico são aportados pelos compêndios de Bioquímica e Tecnologia do Arroz (Hodge e Osman,1976, Luh e Mickus,1980, Whistler e Paschall, 1965).

A parboilização compreende as etapas de maceração em água, tratamento térmico com vapor d'água ou aquecimento direto e secagem (Carvalho et al. ,1992, Gariboldi,1972). A maceração ou hidratação do arroz em casca é necessária para dar ao amido a umidade indispensável para a gelatinização (Gutkoski e Elias, 1994). O teor de umidade adequado à gelatinização não deve ser inferior a 30% (bu) e superior a 33% (bu) (Bhattacharya e Subba Rao,1966, Fonseca et al.,[19--], Kent,1983). Por outro lado, de acordo com Velupillai e Verma (1986), a umidade do arroz após maceração deve estar em torno de 35% (bu). A água penetra na casca dos grãos por capilaridade e ocupa os espaços vazios. A água aquecida é mais rapidamente absorvida que a fria, porque o calor faz com que o ar que ocupa os poros dos grãos aumente de volume, reduzindo a resistência à entrada d'água e consequentemente o tempo de maceração diminui (Silva,1980).

Em experimentos realizados por Vitti,Leitão e Pizzinato (1975), a temperatura ideal de maceração está compreendida entre 60 a 70°C durante 2,5 horas. Por outro lado, Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a) demonstraram que a maceração em água a 80°C durante 12 horas, realizando o tratamento térmico a seguir, obteve-se bons resultados no produto final expandido. Uhlig e

Heberle (1979) utilizaram temperatura da água oscilando em torno de 70 a 80°C, sendo que a condição ótima foi 70°C na água de maceração durante um tempo de 4 horas. Luh (1980) e Silva (1980) chegaram à conclusão de que o tempo e a temperatura de tratamento variam com o processo empregado e a cultivar utilizada.

A gelatinização do amido é a etapa seguinte à maceração. Sua temperatura oscila de acordo com a variedade tratada (Halick et al., 1960, Ali e Pandya, 1974), mas que em geral está ao redor de 70°C (Silva, 1980). De acordo com Dusi (1982), a gelatinização do arroz em Santa Catarina é realizada em cilindros que giram no interior de uma fornalha durante aproximadamente 5 minutos, quando o produto atinge uma temperatura final entre 97 e 100°C e o teor de umidade do produto ao sair dos cilindros, entre 20 e 21% (bu).

Comumente, considerava-se que o arroz parboilizado não fosse adequado para a expansão por meio de calor. Entretanto, Roberts et al. (1954) verificaram que o arroz em casca macerado a temperaturas compreendidas entre 65 a 140°C e tempo variando de acordo com a temperatura, e depois vaporizado, obteve uma razão de expansão compatível com o processo, utilizando temperatura de vaporização de aproximadamente 100°C.

A parboilização de arroz utilizando areia aquecida à temperaturas de 200 a 300°C por 4,5 a 0,5 minutos, respectivamente, foi testado por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a,b), em escala laboratorial, obtendo-se resultados satisfatórios na parboilização e conseqüentemente no grau de expansão do arroz. No entanto, foram utilizadas pequenas amostras pesando 20 gramas cada.

Roberts, Houston e Kester (1951), exploraram a possibilidade de se adaptar o fenômeno de expansão em produtos à base de amido pré-gelatinizado e seco, utilizando-se altas temperaturas. As temperaturas adequadas variaram de 150 a 260°C. Estes autores trabalharam com arroz parboilizado seco, onde o processo previa o aquecimento por fritura em óleo a 205°C ou por insuflação de vapor d'água a 205 - 260°C, produzindo um produto semelhante ao "corn flakes". Os resultados foram satisfatórios.

O fenômeno de expansão resulta da expansão brusca de vapor d'água nos interstícios do grânulo (Payne, Taraba e Saputra, 1989). Com a gelatinização dos grãos, forma-se uma camada endurecida ao redor destes e, com aplicação de altas temperaturas durante o processo de expansão, a pressão no interior dos grãos começa a aumentar, chegando a tal ponto que esta fica maior que a pressão externa, onde os grãos finalmente explodem e se transformam no produto expandido. A partícula é então fixada no estado expandido pela desidratação, resultante da rápida difusão de vapor d'água para fora do alimento. Isso resulta num aumento de volume aparente de 6 a 8 vezes maior que o volume original (Luh e Bhumiratana, 1980). Entretanto, Fonseca et al. ([19--]) e Hui (1992), relatam que, com o emprego de tratamento adequado, os grãos de arroz devem se expandir de 5 a 6 vezes em relação ao seu tamanho original. E devem ter no máximo um teor de umidade final em torno de 3% (bu) para manter sua crocância.

2.4 Variáveis no Processo de Expansão

Pesquisas têm sido realizadas com a finalidade de se estudar os efeitos das variáveis em processos de expansão, nas características físicas, químicas, físico-químicas, reológicas e nutricionais dos produtos, buscando-se um processo ótimo para produzir alimentos expandidos de alta qualidade (Clark, 1986, Murugesan e Bhattacharya, 1986, 1989).

Villareal e Juliano (1987) observaram que o grau de expansão depende da variedade do arroz utilizado para fabricação de arroz expandido. Este foi preparado a partir de arroz parboilizado e polido, e posteriormente aquecendo-o em óleo nas temperaturas compreendidas entre 210 a 220°C; e arroz integral polido, aquecendo-o em uma câmara de expansão onde a pressão poderia ser rapidamente liberada (Patterson e Bray, 1985). Foram observados que os grãos gelatinizados se expandiram, obtendo melhor textura no produto final.

Em adição, arroz parboilizado polido e integral polido, podem ser diretamente expandidos numa máquina sob pressão, sem alteração significativa do seu valor nutritivo. Essa prática é comum na China, Filipinas e Coréia (Juliano e Sakurai, 1985, Patterson e Bray, 1985).

O tempo de residência dos grãos expostos ao processo (Chandrasekhar e Chattopadhyay, 1989) e a temperatura de gelatinização do arroz (Chinnaswamy e Bhattacharya, 1983a) são dois importantes fatores que afetam consideravelmente o grau de expansão do arroz.

Alguns autores (Murugesan e Bhattacharya,1986, Srinivas e Desikhachar,1973) estudaram o efeito da temperatura de expansão, tamanho de partículas da areia, quantidade de areia, diferença varietal do arroz, rotação do torrador e outros fatores relatados e concluíram que estes fatores afetam o resultado final do arroz expandido. Estes autores observaram que a granulometria da areia fora da faixa de 40 a 60 mesh tenderam a aderir ao arroz expandido. Por outro lado, Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a) observaram que o tamanho das partículas da areia não teve efeito significativo sobre a expansão do arroz.

A temperatura ótima da areia para expansão encontrada por Murugesan e Bhattacharya (1986) variou entre 190 a 210°C com um tempo de 40 a 45 segundos. Um estudo realizado por Chinnaswamy e Bhattacharya (1984), constatou que a temperatura do processo de expansão realmente afeta o volume do arroz expandido. Este estudo foi confirmado mais tarde por Roos (1992).

O efeito da temperatura em função do tempo e do teor de umidade do arroz, bem como o efeito das condições de aquecimento em função da temperatura e do tempo de exposição do arroz ao processo imediatamente antes da expansão, foi estudado por Hsieh et al.(1989), com relação ao aumento de volume do snack. Foi observado que o teor de umidade inicial do arroz, o tempo de residência dos grãos expostos ao processo bem como a temperatura de expansão tiveram influência no resultado final.

Estudos realizados por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983b) com 35 cultivares de arroz, mostraram que existe uma grande diferença entre as variedades quando expostas ao processo

de expansão. Outros estudos mais detalhados sobre diferença varietal na expansão do arroz foram conduzidos por Bhattacharya et al.(1982), citados por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983b). Além destes autores, Antonio e Juliano (1973) testaram variedades de arroz, e compararam arroz comum parboilizado e arroz ceroso (onde o teor de amilopectina chega cerca de até 99% (Fonseca et al.,[19--])), sendo que este último apresentou uma maior expansão no volume. Chinnaswamy e Bhattacharya (1984) demonstraram que o grau de expansão aumenta numa faixa ótima do teor de amilose que varia de 0 a 29%, parboilizados com aumento da pressão de 0 a 3 kg/cm².

De acordo com Villareal e Juliano (1987), alguns fabricantes de alimentos expandidos têm preferência por variedades de arroz que contêm alto teor de amilose. Por outro lado, Goodman e Rao (1984) relataram que arroz tipo longo, com menos teor de amilose, expandiram mais quando comparados com arroz do tipo médio e curto, com maior percentagem de amilose.

A influência da relação amilose:amilopectina foi avaliada por Matz (1976), com relação ao grau de expansão e a textura do arroz expandido. Normalmente 50% ou mais do conteúdo de amilopectina, com relação à amilose são necessários para se obter um produto de melhor qualidade.

Outra variável importante que influencia o grau de expansão dos grãos é o teor de umidade em que se encontram pós-parboilização e pré-expansão. Murugesan e Bhattacharya (1986) encontraram uma faixa ótima para o teor de umidade do arroz compreendida entre 13,5 a 14,5% (bu), provando que com teor de

umidade mais baixo, a maioria dos grãos mantiveram seu volume quase inalterado, provavelmente indicando falta adequada de pressão de vapor no interior dos grãos, necessária para haver a explosão. Por outro lado, Chinnaswamy e Bhattacharya (1983b) chegaram à conclusão de que com teor de umidade dos grãos entre 10,5 a 11,0% (bu), estes tiveram um maior volume expandido.

O efeito de variáveis quanto ao tipo de processamento foi estudado por Roberts, Houston e Kester (1951) e Roberts et al. (1954), com relação à qualidade do produto utilizando ar e óleo como meios de aquecimento.

Estudo mais sistemático foi conduzido por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a), envolvendo o efeito de diferentes variáveis, empregando areia aquecida como meio de transferência de calor. O teor de umidade do arroz se encontrava entre 12 a 13% (bu), e foi parboilizado por dois tipos: com vapor d'água sob pressão e com areia aquecida à temperatura de 200 a 300°C por 10 a 11 segundos. A partir daí, as amostras foram submetidas ao processo de expansão na própria areia. Os melhores resultados foram obtidos com amostras parboilizadas em areia.

2.5 Equipamentos para elaboração de Expandidos

Pesquisadores do Departamento Americano de Agricultura obtiveram com sucesso batatas expandidas por processo contínuo de desidratação (Sullivan et al., 1977). Utilizando um equipamento para elaboração de produtos expandidos projetado por esses autores, eles demonstraram que este poderia ser utilizado como um

sistema contínuo de expansão por explosão (CEPS - continuous explosion puffing system). O desenvolvimento desse equipamento foi realizado visando estendê-lo para a escala comercial, obtendo-se produtos aceitáveis e com alta taxa de produção. Este processo também foi investigado por Sullivan e Craig (1984) para futura aplicação em indústrias de processamento de frutas e cereais.

Cubos de batatas de 1,0 cm de lado com teor de umidade de 27% (bu) foram processados no CEPS, empregando alta pressão de vapor, obtendo bons resultados com relação à expansão. Além de batatas, foram ainda obtidos com sucesso alimentos expandidos à base de pedaços de maçãs (Sullivan et al.,1980), cubos de cenouras (Sullivan et al.,1981), aipo, cebola, inhame, pera, abacaxi e morango (Kozempel et al.,1989).

Com outro equipamento utilizando placas fluidizadas centrífugas, conseguiu-se aquecer, secar, misturar, expandir, transportar, aglomerar e congelar alimentos, empregando modificações na temperatura. Foram realizados experimentos com cenoura, batata, batata-doce e abóbora, que foram facilmente expandidos (Brown, Farkas e Marchena,1972). A expansão foi obtida secando-se os cubos de alimentos à temperatura de 82°C por 20 a 30 minutos numa corrente de ar com velocidade controlada. A expansão foi possível quando a taxa de transferência térmica, através da interface da superfície de uma partícula de alimento, excedeu a taxa de remoção de calor por evaporação deste. A temperatura da partícula se aproximou rapidamente do ponto de ebulição da água e o vapor formado no interior do alimento

libertou-se, rompendo a estrutura. Os resultados obtidos foram satisfatoriamente aprovados (Brown, Farkas e Marchena, 1972).

Foi desenvolvido no Institute of Food Science and Technology, da Universidade de Filipinas em Los Banos, por Patterson e Bray (1985), uma pequena máquina manual, construída a baixo custo, onde foram obtidos com sucesso legumes e cereais (arroz, trigo, milho, soja e ervilha) expandidos do tipo snacks, que foram combinados com açúcar, mel, malte ou leite, muito bem aceitos pelo consumidor. Esta máquina consiste de uma câmara de metal esférica, rotativa, com aquecimento externo e um mecanismo para a rápida remoção da pressão.

De acordo com Sullivan e Craig (1984), no processo de expansão por explosão, pedaços de alimentos parcialmente secos com teor de umidade entre 15 a 35% (bu) são fornecidos a um "puffing gun" - revólver de expansão que é submetido a uma alta pressão pré-determinada. A pressão se desenvolve externamente pelo emprego de aquecimento direto e/ou internamente por vapor super-aquecido. À medida que a pressão aumenta, a temperatura da água no interior dos pedaços de alimentos se eleva acima do seu ponto de ebulição. Quando ocorre a liberação instantânea da pressão na câmara, a água super-aquecida imediatamente passa para o estado de vapor, proporcionando a obtenção de uma estrutura porosa e devolvendo ao alimento aproximadamente seu formato original (Sullivan et al., 1981).

Hui (1992) descreve um processo de expansão de arroz através de aquecimento direto, usando forno e rolos compressores. O arroz parboilizado semi-cozido com aditivos tais como açúcar,

sal ou xarope de malte é passado através de rolos compressores para aplaná-lo. Este é então levado para um forno de torragem, onde a temperatura é bastante alta, sem contudo haver a queima dos grãos. O efeito do choque dos grãos úmidos com a alta temperatura, expande os grãos aplanados de 5 a 6 vezes o seu tamanho original, tornando-os leves, macios e crocantes, com teor de umidade compreendido entre 3 a 5% (bu).

A expansão de grãos por agitação em areia aquecida num recipiente foi comumente utilizada por Ali e Bhattacharya (1976) e Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a). Utilizaram como equipamento um torrador de café manual com aquecimento elétrico. Usaram uma quantidade em peso de arroz parboilizado e areia pré-aquecida a 250°C na razão de 1:15, respectivamente. A razão de expansão foi determinada pela relação do volume expandido e o volume original.

Das e Srivastav (1989), trabalhando com arroz expandido, utilizaram com sucesso o processo tradicional de expansão de grãos por agitação em areia aquecida. A expansão foi realizada numa panela de alumínio, com grãos e areia juntos na razão em peso de 1:10 respectivamente. O calor foi obtido por uma chama a gás liquefeito de petróleo. A mistura de grãos e areia foi agitada manualmente com concha de aço inox na temperatura requerida, variando de 230 a 250°C, por um tempo de 18 a 14 segundos, respectivamente. O arroz expandido foi rapidamente coletado numa peneira.

Além destes equipamentos, máquinas rotativas automatizadas são também empregadas nos EUA e na Índia para produção de Arroz Puffed e Pipoca de Arroz (Chandrsekhar e Chattapadhyay, 1989).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Grãos e Cereais do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras - UFLA - MG.

3.1 Materiais

3.1.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada no experimento foi o arroz, (*Oryza sativa*, L), de três variedades: Douradão, Guarani e Rio Paranaíba, do tipo grãos longos, classificados segundo as determinações do Ministério da Agricultura (1988), e cujas dimensões encontram-se na Tabela 1. O arroz foi colhido nas estações experimentais da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG-BambuÍ e EPAMIG-Lavras).

TABELA 1. Dimensões médias do arroz em diferentes variedades de grãos

Dimensões médias (mm)	Douradão		Guarani		Rio Paranaíba	
	cc	sc	cc	sc	cc	sc
comprimento	10.50	7.75	10.70	7.90	9.86	7.52
Largura	2.95	2.82	3.30	3.00	2.70	2.45
Rel.comp/larg	3.56	2.75	3.24	2.63	3.65	3.07

cc: grãos com casca

sc: grãos sem casca (polido)

3.1.2 Equipamentos/Máquinas

Na execução do experimento foi utilizado o Puffer - equipamento para expansão do arroz, acoplado a um fogareiro a gás liquefeito de petróleo. Para as análises físicas e químicas, além da vidraria, aparelhos e utensílios indispensáveis a um laboratório, utilizaram-se os seguintes equipamentos e aparelhos específicos: PRODUTEST - classificador de tamanho de partículas; balança semi-analítica Marte AL600; estufa de secagem FANEM; Termômetro para medir temperaturas de até 620°C; Cronômetro Technos; testador de arroz SUZUKI; bandejas de plástico e alumínio.

3.2 Métodos Tecnológicos

3.2.1 Preparação da areia

A areia utilizada dentro do Puffer foi antes preparada. Esta foi colhida no mar por ser isenta de mica e outros tipos de impurezas. Recebeu uma lavagem em água corrente e secou-se em estufa. A seguir a areia passou pelo processo de peneiramento, onde foram utilizados os grânulos passados através da peneira de mesh 0,50 mm e retidos na peneira de mesh 0,84 mm. Posteriormente, no próprio Puffer, esta sofreu o processo de esterilização a altas temperaturas.

3.2.2 O equipamento "Puffer"

A expansão ou "puffing" foi efetuada num equipamento manual denominado PUFFER, conforme esquematizado na Figura 2, construído em aço inox e aço carbono, com capacidade para processar até 250 gramas de arroz por vez. Este foi desenvolvido na oficina mecânica da UFLA sob orientação, o qual consta basicamente de: uma câmara de expansão ou inflagem, sendo que em seu interior foram acoplados um agitador e uma tela de arame; um fogareiro e um suporte de sustentação. Maiores detalhes do Puffer são mostrados nas Figuras 3, 4 e 5.

A câmara de expansão apresenta forma esférica, com 400 mm de diâmetro, sendo que sua metade inferior, onde fica diretamente em contato com a chama a gás, usou-se como material o

aço inox devido sua maior resistência; e, sua metade superior usou-se aço carbono. As duas partes foram unidas por seis parafusos. A câmara foi disposta com uma inclinação de 40° , o qual é essencial para colocação da matéria-prima e retirada dos produtos finais. Em seu interior instalou-se um agitador com finíssimas aletas para que o alimento ao ser expandido pudesse ser agitado e receber um aquecimento uniforme. O agitador é manual, de ferro e possui um cabo localizado do lado externo da câmara. Ainda em seu interior utilizou-se areia preparada conforme secção 3.2.1 na quantidade requerida, sendo que esta constitui um meio de transferência de calor para os grãos de arroz, conforme citado por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a,b, e 1986).

Uma tela de arame com malha de 1,50 mm de diâmetro, colocada diametralmente dentro da câmara seguindo a mesma inclinação e dividindo-a ao meio, permitiu reter o produto processado enquanto o sistema estivesse girado a 180° . Na posição original, a mesma areia foi utilizada várias vezes, com a vantagem que esta ficou embaixo conservando o calor, permitindo um processo mais rápido e menos dispendioso.

Do lado esquerdo da câmara, fez-se uma abertura retangular de 90 x 130 mm, utilizada para alimentação do equipamento que, girando-o com um ângulo de 180° a mesma serviu de saída do produto processado. Durante a operação esta abertura manteve-se aberta para a saída de vapor d'água, sendo que na mesma foi instalado um sistema de vedação em vidro temperado transparente de fácil movimentação. Do lado oposto à abertura, um

visor também em vidro temperado proporcionou claridade no interior da câmara, auxiliando na visualização do produto em processamento.

Como fonte de aquecimento da câmara, foi instalado no próprio Puffer um fogareiro semi-industrial a gás liquefeito de petróleo, que poderia ser manualmente aumentada ou diminuída sua chama conforme a temperatura requerida.

3.2.2.1 Cálculos para a fabricação do arroz expandido

O Puffer foi projetado para tamanho laboratorial, no processamento de pequenas quantidades de arroz. Através da Figura 1, podemos calcular a altura da areia (h) utilizada para expandir o arroz, na quantidade em peso de 1:15 de arroz:areia respectivamente.

A base do cálculo deve ser a seguinte:

Para processar 250g de arroz,

Peso da areia = 250 x 15 (razão 1:15)

= 3750 g

Agora, dar um raio para o Puffer = 20 cm

e calcula-se h e dar o próximo valor de h = 7 cm

$$h = QP = r - OQ \quad \dots \quad (1)$$

onde,

QP = r = raio da câmara = 20 cm

h: altura da areia dentro da câmara

Volume da areia no Puffer:

$$V(\text{ar}) = \frac{1}{3} \times h^2 \times \pi \times (3r - h) \quad \dots \quad (2)$$

$$P(\text{ar}) = V(\text{ar}) \times \rho(\text{ar}) \quad \dots \quad (3)$$

$$P(\text{az}) = P(\text{ar}) \times 1/15 \quad \dots \quad (4)$$

$\rho(\text{ar})$: densidade da areia = 1480 kg/m³

$\rho(\text{az})$: densidade do arroz = 600 kg/m³

$\epsilon(\text{ar})$: porosidade da areia = 51,6%

$\epsilon(\text{az})$: porosidade do arroz = 58,0%

Para uma altura h de 7,0 cm, através das equações (3) e (4)

temos:

$$P(\text{ar}) = 3750 \text{ g}$$

$$P(\text{az}) = 250 \text{ g}$$

onde,

$V(\text{ar})$: volume da areia (ml)

$P(\text{ar})$: peso da areia (g)

$P(\text{az})$: peso do arroz (g)

Nos experimentos, para o processo de expansão foram utilizados amostras variando de 100 a 150 gramas para 1500 a 2250 gramas de areia.

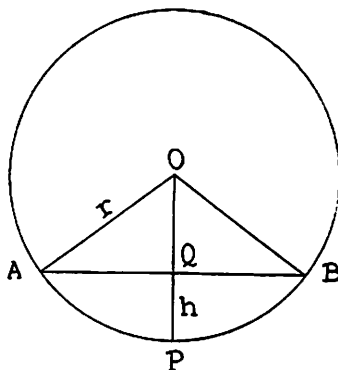


Figura 1. Esquema da câmara do Puffer com areia na altura h

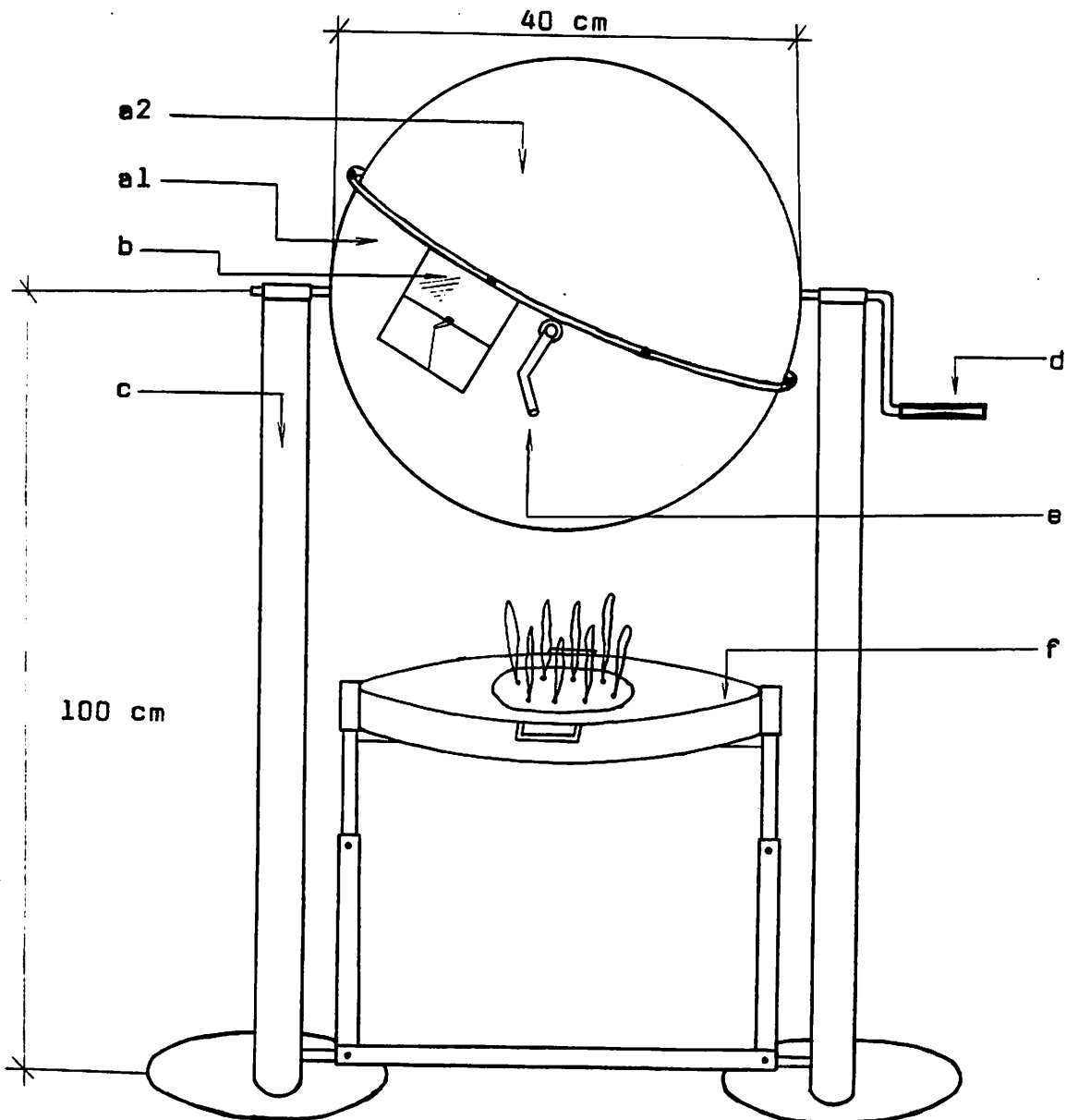


FIGURA 2. Diagrama Esquemático da vista frontal do Puffer na posição normal
 (a1) esfera aço inox e (a2) esfera aço carbono
 (b) entrada/saída de alimentos
 (c) suporte de sustentação do Puffer
 (d) cabo para girar a esfera em 180°
 (e) cabo do agitador
 (f) fogareiro a gás

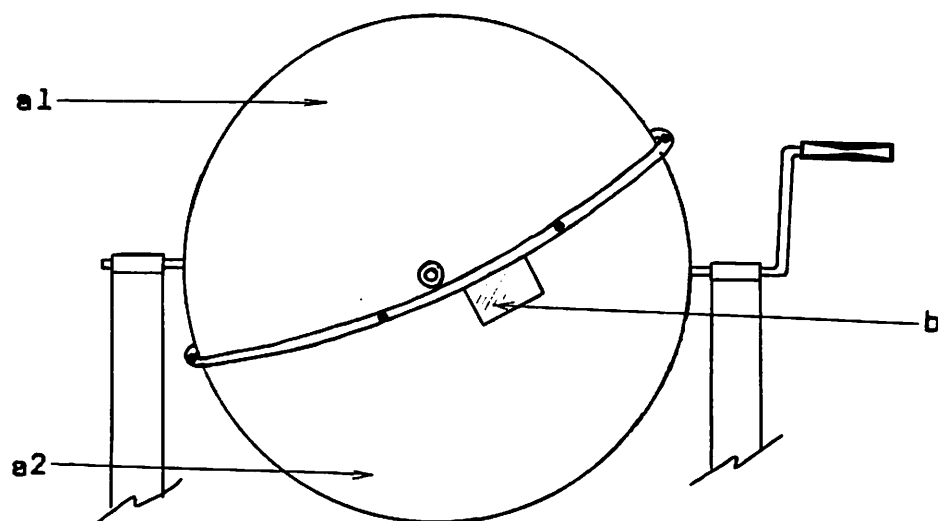


FIGURA 3. Diagrama esquemático do Puffer posicionado com um giro de 180°
(a1) esfera aço inox
(a2) esfera aço carbono
(b) visor em vidro temperado

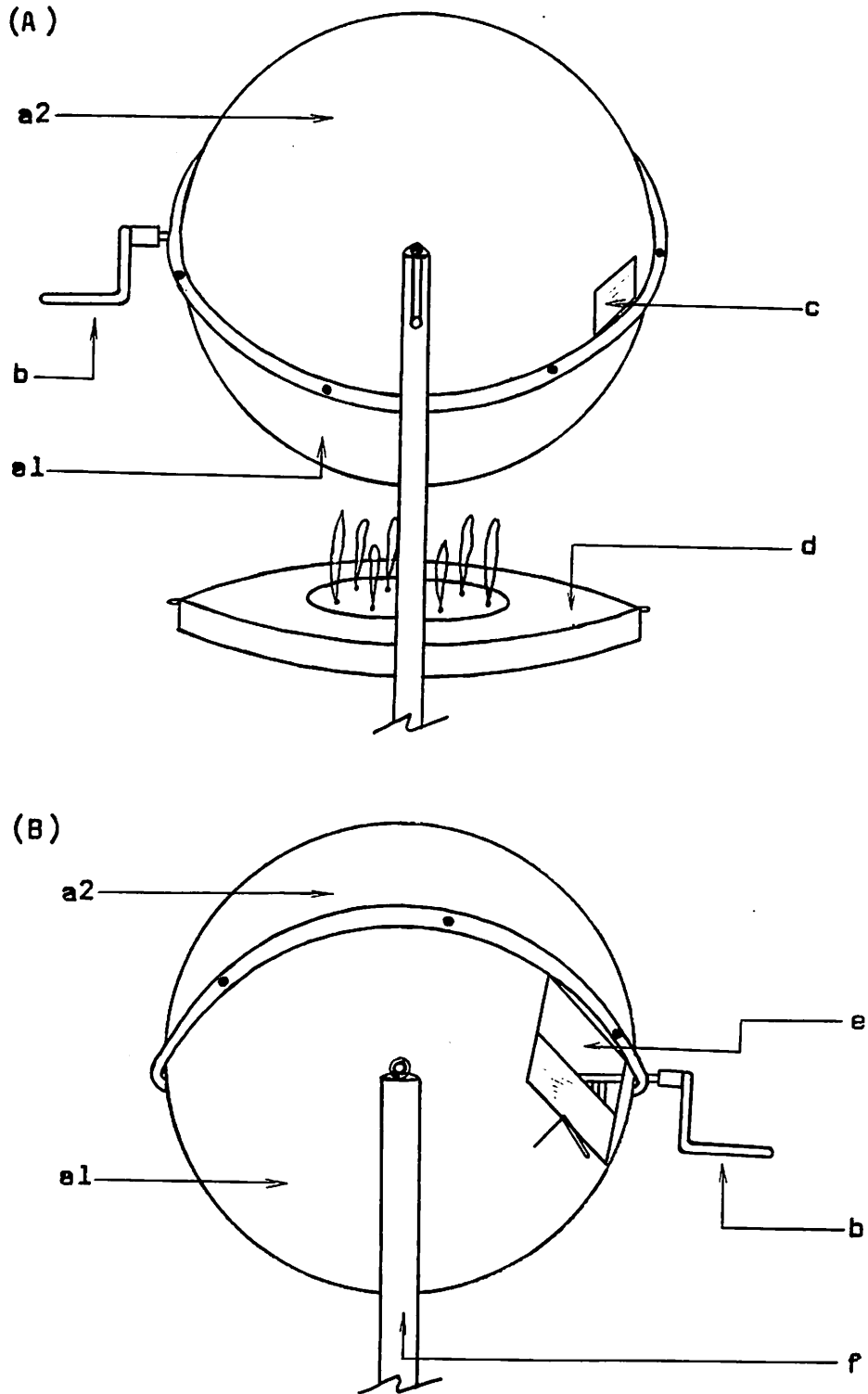


FIGURA 4. Vista lateral do Puffer na posição normal. lateral direita (A) e lateral esquerda (B)
 (a1) esfera aço inox e (a2) esfera aço carbono
 (b) cabo do agitador
 (c) visor em vidro temperado
 (d) fogareiro
 (e) entrada/saída de alimentos
 (f) suporte de sustentação

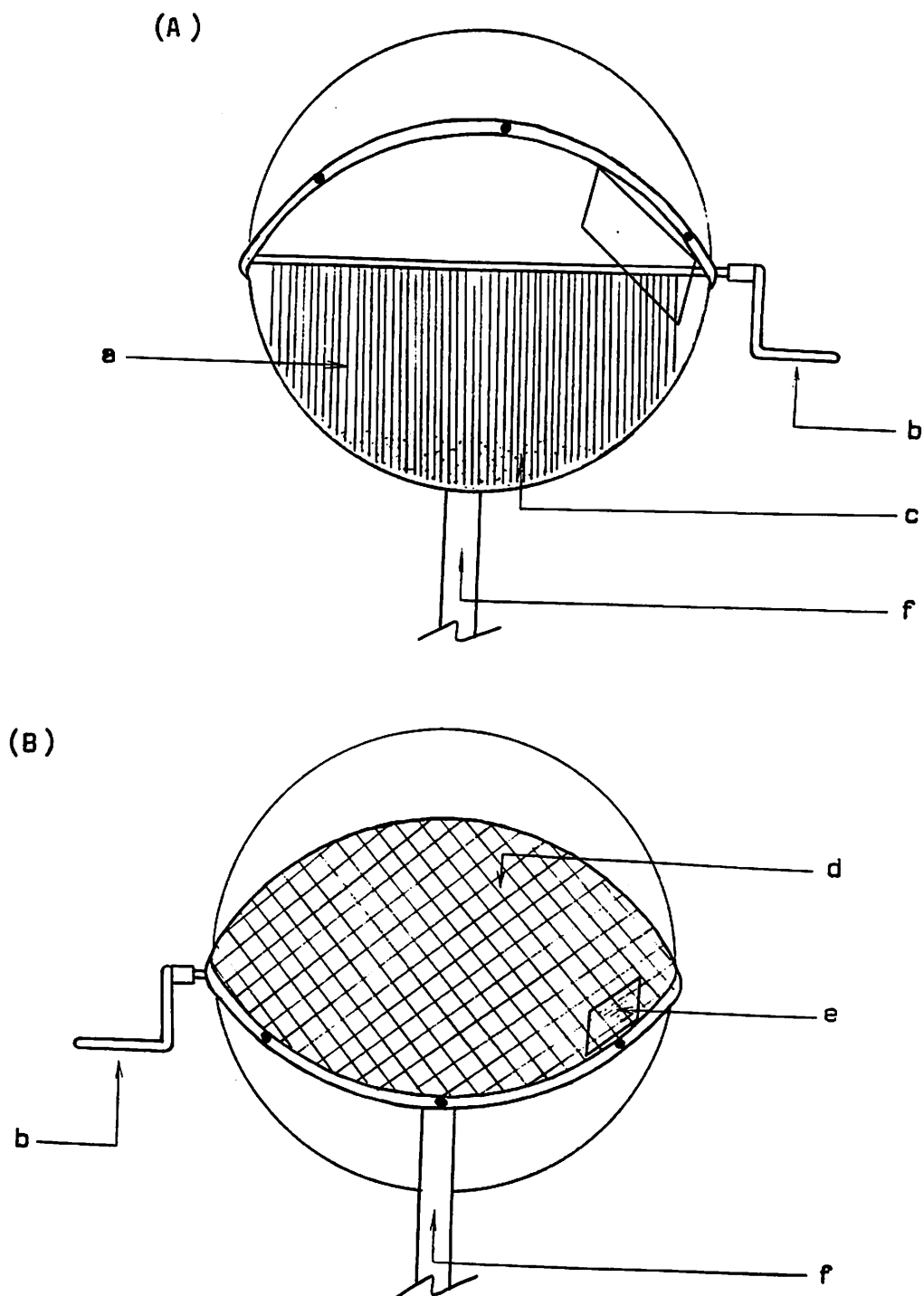


FIGURA 5. Vista lateral interna do Puffer, destacando o agitador (A) e a tela de arame (B), na posição normal
 (a) aletas do agitador
 (b) cabo do agitador
 (c) massa arroz:areia
 (d) tela de arame
 (e) visor em vidro temperado
 (f) suporte de sustentação

3.2.3 Preparo das Amostras

As amostras de arroz em casca sofreram uma limpeza prévia que constou de uma ventilação, para eliminação de grãos descascados, chochos e palha. Para que os grãos apresentassem a maior uniformidade possível, estes foram classificados por espessura, a fim de que na etapa de maceração, o tempo necessário para que a água e o calor atingissem o centro do endosperma fosse o mesmo.

3.2.4 Pré-tratamentos do arroz

Após o preparo das amostras, estas foram submetidas a um pré-tratamento hidrotérmico antes do processo de expansão. O pré-tratamento constou da parboilização dos grãos, que foi realizada em duas etapas: maceração e tratamento térmico. Foi utilizado somente um nível para a maceração e três níveis para o tratamento térmico.

3.2.4.1 Maceração

Amostras de arroz em casca de 2500 gramas cada, das três variedades Douradão, Guarani e Rio Paranaíba, sofreram uma rápida lavagem em água corrente para eliminação de todo o pó impregnado aos grãos e a seguir secadas superficialmente à temperatura ambiente. Em seguida, foram mergulhadas em um volume de água equivalente a três vezes o volume das amostras, à

temperatura constante de 80°C, em bandejas de plástico de formato quadrado, mantidas nesta temperatura em estufa por um tempo de 10 horas, conforme técnica utilizada por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a). Estas condições foram obtidas através de testes preliminares.

Após completado o tempo, as amostras foram drenadas, secadas externamente e resfriadas no laboratório em temperatura ambiente. O teor de umidade se encontrava na faixa de 30 a 33 % (base úmida - bu). Após, foram acondicionadas em sacos plástico de polietileno tipo comercial e armazenadas em geladeira à temperatura constante de 10°C, retirando-as à medida que se desenvolvia o experimento, tendo o cuidado de retirá-las da geladeira 30 minutos antes de serem submetidas ao tratamento térmico.

3.2.4.2 Tratamento Térmico

Em seguida, amostras de arroz em casca de 350 gramas cada foram submetidas ao tratamento térmico, realizado no próprio Puffer. As amostras foram colocadas na câmara do equipamento, em contato direto com a areia aquecida, sendo que a proporção em peso de arroz e areia foi de 1:2, respectivamente, conforme técnica utilizada por Chinnaswamy, Unnikrishinan e Bhattacharya (1985). As temperaturas da areia e tempos utilizados foram estabelecidos em ensaios preliminares, cujos dados são apresentados na Tabela 2. Ao colocar as amostras na câmara do Puffer já na temperatura requerida, iniciou-se a contagem do

Tabela 2. Condições do pré-tratamento hidrotérmico nas amostras de arroz para preparação de arroz expandido

Variedades	Temperatura maceração/tempo maceração (°C/h)	Temperatura parboilização (°C)	tempo de parboilização (minutos)
Douradão	80/10	140	10
		160	8
		180	6
Guarani	80/10	140	10
		160	8
		180	6
Rio Paranaíba	80/10	140	10
		160	8
		180	6

tempo e imediatamente com o agitador, misturou-se vigorosamente a massa de arroz:areia até que completasse o tempo estabelecido para cada temperatura. O tempo foi medido com um cronômetro e a temperatura com um termômetro inserido na massa.

Após decorrido o tempo, a câmara do Puffer sofreu um giro de 180°, separando imediatamente a areia (passou através da tela de arame) dos grãos parboilizados (ficaram retidos na tela), que foram colhidos em bandejas de alumínio, resfriados à temperatura ambiente e armazenados em sacos plástico, por um período mínimo de 72 horas para que ocorresse um equilíbrio (têmpera) entre a parte interna e externa dos grãos de arroz. Realizaram-se três repetições para cada amostra.

Após a têmpera, através do método proposto por Horwitz (1990), verificou-se o teor de umidade que se encontrava na faixa de 11 a 14% (bu) e a seguir dividiu-se cada amostra em dois grupos, sendo que o grupo 1 passou pelo processo de

beneficiamento para obtenção de arroz puffed e o grupo 2 continuou com arroz em casca para obtenção de pipoca de arroz.

3.2.5 Beneficiamento

O beneficiamento foi aplicado às amostras de arroz do grupo 1, conduzido em Engenho de Provas, por meio do Testador de Arroz SUZUKI, seguindo basicamente as recomendações descritas no manual de instruções do equipamento (Máquinas...,1983). Os produtos do beneficiamento foram coletados separadamente e pesados para determinação dos índices de rendimento.

Após o descascamento seguiu-se o polimento. O brunidor ou polidor foi regulado de tal forma sem que houvesse grandes perdas por quebra dos grãos e que ocorresse suficiente retirada do farelo. Após testes preliminares, o tempo de polimento foi fixado em 90 segundos para todos os tratamentos do presente trabalho.

Foram separados casca, farelo, grãos quebrados e grãos inteiros para posterior pesagens.

3.2.6 Processo de Expansão

Após processo de parboilização do grupo 2 e beneficiamento do grupo 1, ambos passaram pelo processo de expansão. O processo de expansão foi realizado de forma análoga descrita na secção 3.2.4.2. Foram utilizados de 100 a 150 gramas de arroz para cada amostra. O fluxograma do processo de expansão

está representado na Figura 6. A quantidade de areia utilizada variou de acordo com o peso da amostra. A proporção em peso foi de 1:15 de arroz e areia, respectivamente. As temperaturas e tempos utilizados no processo foram estabelecidos em ensaios preliminares e são apresentados na Tabela 3. O processo foi realizado em triplicata para cada amostra.

Tabela 3. Condições do processo de expansão aplicadas às amostras de arroz dos Grupos 1 e 2

Variedades	Grupo 1		Grupo 2	
	Temperatura expansão (°C)	tempo (s)	Temperatura expansão (°C)	tempo (s)
Douradão	240	15	-	-
	260	13	260	25
	280	10	280	20
	300	8	300	15
Guarani	240	15	-	-
	260	13	260	25
	280	10	280	20
	300	8	300	15
Rio Paranaíba	240	15	-	-
	260	13	260	25
	280	10	280	20
	300	8	300	15

s: tempo em segundos

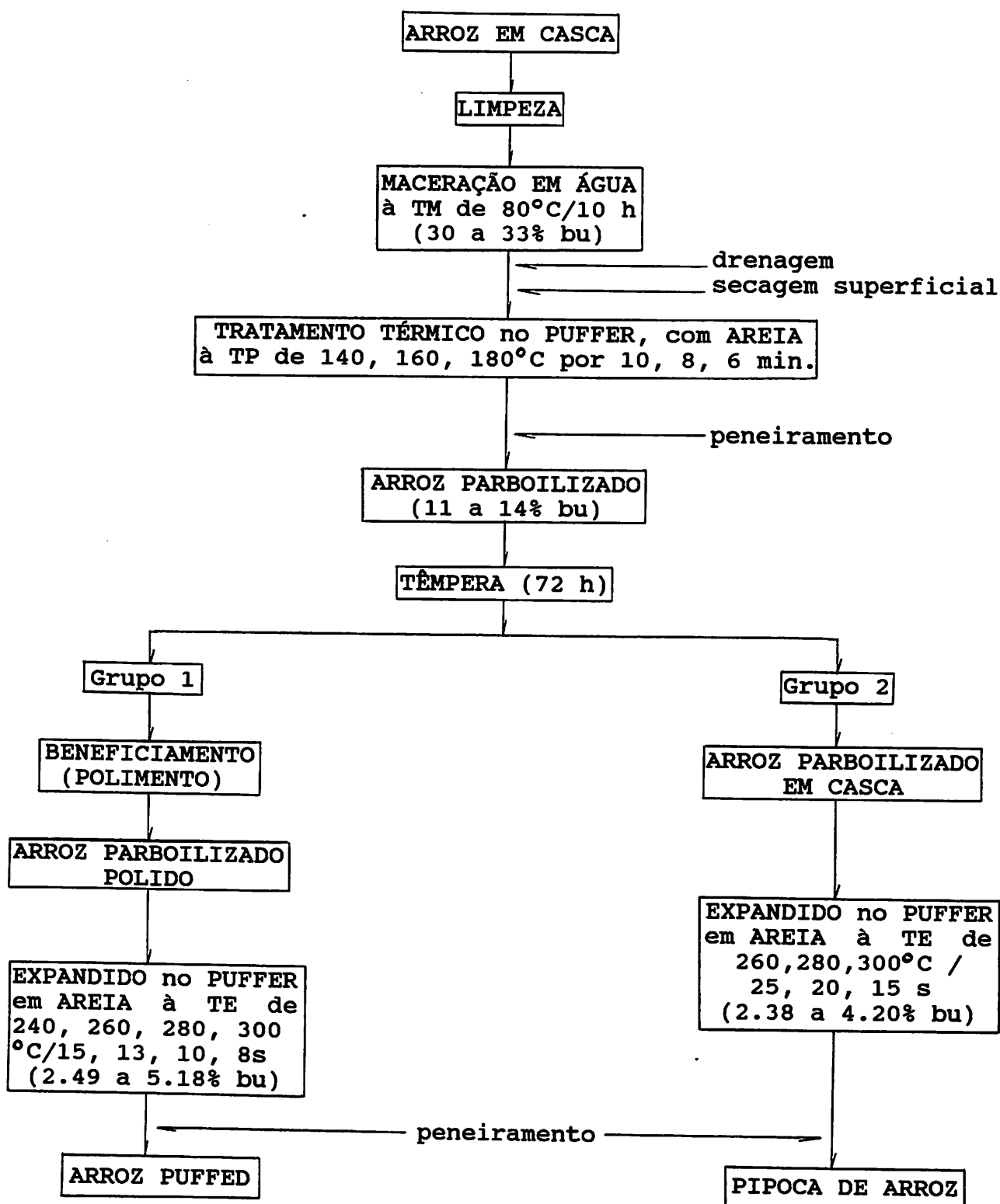


FIGURA 6. Fluxograma do processo de fabricação de Arroz Puffed e Pipoca de Arroz

3.2.7 Armazenamento do Arroz Expandido

Arroz Puffed (processado sem casca) e Pipoca de Arroz (processado com casca) foram acondicionados em vidros de 250 ml, com tampas de vedação. Os vidros contendo as unidades experimentais de cada tratamento foram então armazenados ao acaso em condições ambientais para posterior análises.

3.2.8 Delineamento Experimental

Para cada grupo, separadamente, utilizou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial para o grupo 1 (3 x 3 x 4) e grupo 2 (3 x 3 x 3) com três repetições. Os fatores avaliados foram variedade do arroz, temperatura de parboilização e temperatura de expansão. Foram utilizados 40 kg de arroz em casca para cada variedade. Todas as análises estatísticas foram efetuadas segundo os métodos descritos por Pimentel Gomes (1982).

3.3 Avaliações

As amostras em triplicata, foram submetidas às diversas análises. À medida que se obtinha o produto expandido, este ia sendo submetido às análises.

3.3.1 Avaliação do Puffer

O equipamento foi avaliado quanto à sua eficiência em relação à transferência de calor, versatilidade no processamento de variados tipos de alimentos e aceitação para futura fabricação em escala industrial.

3.3.2 Qualidade do Produto Expandido

Arroz Puffed e Pipoca de Arroz foram submetidos à avaliação, visando principalmente a comercialização do produto. Foram avaliadas as variáveis responsáveis pela qualidade do produto final, como variedade, teor de umidade, tempo e temperatura de maceração, parboilização e expansão, dentre outros.

Considerou-se com a melhor qualidade aquele que apresentou maior razão do volume expandido em relação ao volume original do arroz, e fez-se uma avaliação visual no produto, tais como crocância, aparência, leveza.

3.3.3 Determinações Físicas

a) Volume Aparente (ml) - Medido em provetas graduadas de 25 e 50 ml para arroz parboilizado e arroz expandido, respectivamente. Realizado em triplicata, utilizou-se para cada amostra 100 grãos de arroz separados ao acaso. Colocou-se em proveta graduada e antes da leitura, deu-se 30 batidas na base da proveta em uma

madeira para acomodação dos grãos e, por leitura na proveta, encontrou-se o volume aparente de cada amostra (Villareal e Juliano, 1987).

b) **Volume Específico (ml)** - Foi obtido utilizando-se o método de deslocamento de líquido (óleo mineral) medido em proveta graduada. Como o peso do arroz expandido é leve, utilizou-se uma esfera de aço colocada dentro de uma telinha de nylon, juntamente com cada amostra, formada de 100 grãos. A leitura foi realizada imediatamente após imersão das amostras no líquido e retirada de bolhas. Para cada leitura, descontou-se o deslocamento do líquido sofrido pela esfera de aço e telinha.

c) **Expansão do Produto Final** - Foi verificada pela razão do volume de grãos expandidos e o volume inicial dos grãos antes do processamento. Foram determinadas as expansões aparente e específica de arroz puffed e pipoca de arroz. Foram feitas 3 determinações para cada amostra. A razão de expansão foi expressa pelas equações (5) e (6).

$$\text{REA} = \frac{\text{VFA}}{\text{VIA}} \quad \dots \quad (5)$$

$$\text{REE} = \frac{\text{VFE}}{\text{VIE}} \quad \dots \quad (6)$$

onde,

REA e REE - Razão de Expansão Aparente e Específica, respectivamente, de arroz puffed e pipoca de arroz.

VIA e VIE - Volume inicial aparente e específico, respectivamente de arroz parboilizado com e sem a casca - ml;

VFA e VFE - Volume final aparente e específico, respectivamente, de arroz puffed e pipoca de arroz - ml.

3.3.4 Determinação Química

b) Teor de Umidade (% bu) - Definido pela equação (7). Os teores de umidade foram determinados em triplicata, após cada etapa, pelo método de estufa, a 105 ± 1°C por 24 horas, segundo método proposto por Horwitz (1990). Os resultados foram expressos em % de base úmida.

$$\text{Teor de umidade} = \frac{\text{peso de água na amostra}}{\text{peso inicial da amostra}} \times 100 \quad \dots \quad (7)$$

onde,

peso de água na amostra = peso inicial da amostra menos o peso seco da amostra, expressos em gramas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho foram desenvolvidos dois produtos expandidos a partir do arroz: a expansão de arroz em casca, obtendo-se um produto popularmente conhecido como "pipoca de arroz", mudando completamente sua forma original, muito similar em aparência e propriedades à pipoca de milho e a expansão de arroz sem casca (polido), obtendo-se um produto do tipo "breakfast cereal", semelhante ao rice krispies da KELLOGG pelo que o produto mantém sua forma original, que será chamado de "arroz puffed".

4.1 Efeito da Maceração no Arroz

A Tabela 4 mostra o teor de umidade do arroz em casca macerado para a condição ótima de temperatura/tempo de residência (80°C/10h), obtido em trabalhos preliminares. Os resultados constantes na Tabela 4 estão de acordo com a literatura, pois o teor ótimo de umidade é de aproximadamente 30 a 33% (base úmida-bu), para que a gelatinização posterior do amido seja completa (Houston,1952, Fonseca et al.,[19--], Gutkoski e Elias,1994).

De acordo com Roberts et al.(1954), o teor de umidade do arroz pós-maceração é o fator que mais influencia sobre o grau

de parboilização do arroz e, conseqüentemente, este último afeta o grau de expansão. Esse comportamento foi comprovado por Antonio e Juliano (1973), uma vez que o volume expandido foi maior para amostras de arroz maceradas que tiveram seus teores de umidade na faixa de 31 a 38% (bu). O maior teor de umidade foi observado na variedade Rio Paranaíba. Segundo Antonio e Juliano (1973), um teor de umidade mais elevado em grãos submetidos às mesmas condições, pode ser devido à menor compactação de seus grânulos de amido e à presença de microporos em sua superfície, havendo maior absorção de água.

A maceração do arroz em casca em água à temperatura de 80°C por um tempo de residência de 10 horas foi eficiente no processo de parboilização; resultados obtidos no presente trabalho que estão em concordância com Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a). Mas, de acordo com Gutkoski e Elias (1994), a temperatura de maceração de 60°C por 5,5 horas apresenta segurança nesta etapa. A mesma eficiência encontrada na maceração a 80°C também foi verificada por Bhattacharya e Indudhara Swamy (1967), quando estudaram as condições de parboilização no arroz, utilizando temperaturas de maceração em água entre 60 a 98°C. Com temperaturas mais baixas que 60°C, os mesmos autores verificaram que a maceração foi insuficiente, resultando na pouca expansão.

Apesar da eficiência no processo de maceração com relação à expansão, observou-se ao final desta etapa a ocorrência de uma tendência de rachamento da casca de um número insignificante de grãos das variedades Douradão e Rio Paranaíba, o que pode ser ocasionado pelo tempo de exposição dos grãos na

água aquecida. Segundo Fonseca et al. ([19--]), o rompimento da casca se deve à expansão do amido, onde os grânulos são espremidos uns contra os outros, criando uma forte coesão entre eles, ocorrendo seu inchamento e ocasionando o rompimento de suas cascas.

Essa tendência ao rachamento também foi observada por Mechan, Kester e Pense (1961), demonstrando que tanto o aumento da temperatura quanto o aumento do tempo de maceração, há uma maior absorção de água pelo grão, que fica sujeito ao rompimento da casca. Os grãos com rachamento foram retirados para não interferirem no processo de parboilização e expansão.

TABELA 4. Teor de umidade de hidratação para o arroz em casca, macerados em água à temperatura de 80°C e tempo de residência de 10 horas

Variedades	Teor de Umidade, (% bu)			
	R1	R2	R3	Média
Douradão	32.36	32.21	32.45	32.34
Guarani	31.71	31.68	31.96	31.78
Rio Paranaíba	32.81	32.87	32.85	32.84

O teor de umidade inicial do arroz variou de 11 a 13% (bu) em todos os tratamentos

R1, R2, R3 : Repetições

4.2 Tratamento Térmico e Beneficiamento

Na Tabela 1A do Anexo têm-se o resumo das análises de variância para as variáveis teor de umidade do arroz parboilizado beneficiado, percentagem de grãos inteiros no beneficiamento, percentagem de grãos quebrados no beneficiamento, percentagem de farelo no beneficiamento e percentagem de casca no beneficiamento, para obtenção de Arroz Puffed. Quando se analisa o teor de umidade do arroz beneficiado, verifica-se que os fatores variedade e temperatura de parboilização foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. No caso das variáveis percentagem de grãos inteiros no beneficiamento, percentagem de grãos quebrados no beneficiamento, percentagem de casca no beneficiamento e percentagem de farelo no beneficiamento, os efeitos da interação variedade vs temperatura de parboilização, apresentaram significância ao nível de 1% de probabilidade, exceto para a última variável que foi de 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação para estas variáveis foram menores ou iguais a 5,36%, mostrando a alta precisão com que o experimento foi conduzido.

Na Tabela 5 têm-se os valores médios observados para as variáveis anteriormente citadas. Observa-se que com o aumento da temperatura de parboilização e conseqüente diminuição do tempo de parboilização para as três variedades Douradão, Guarani e Rio Paranaíba, o teor de umidade do arroz parboilizado polido para obtenção de arroz puffed e a percentagem de grãos inteiros no beneficiamento aumentaram e, conseqüentemente, a percentagem de

grãos quebrados diminuiu. Isto se justifica plenamente em virtude de que após o tratamento hidrotérmico (maceração) segue-se o tratamento térmico para fixar os nutrientes através da gelatinização do grão, havendo maior transporte dos elementos que se encontram na periferia do grão para seu interior devido à absorção de água na etapa de maceração, tornando o grão mais duro, tendo como consequência direta um maior rendimento de grãos inteiros no polimento (Bhattacharya e Subba Rao, 1966), e menor número de "quebrados" (Amato, 1988).

Através do teste de Tukey verifica-se na Tabela 6 que o teor de umidade do arroz parboilizado beneficiado foi maior na variedade Rio Paranaíba, sendo seguida pelas variedades Douradão e Guarani, que não apresentaram diferenças entre si, independente da temperatura de parboilização aplicada. Verificou-se também que quanto maior a temperatura de parboilização e menor o seu tempo, maior o teor de umidade do arroz parboilizado beneficiado (Tabela 7).

Na Tabela 8, quando se analisa a variedade, verifica-se que para todos os níveis de TP a variedade Guarani apresentou a maior percentagem de grãos inteiros no beneficiamento, sendo seguida pelas variedades Douradão e Rio Paranaíba. Observou-se também que a TP de 180°C resultou em uma maior percentagem de grãos inteiros no beneficiamento, seguidos pelas TP de 160 e 140°C, respectivamente. O rendimento de grãos inteiros para as três variedades e todos os tratamentos não foi inferior a 51,70%, obtendo-se rendimento médio de 59,00%, demonstrando que o tratamento de parboilização aumentou a percentagem de grãos

inteiros devido à camada endurecida formada ao redor do endosperma, deixando o grão com maior resistência, dificultando seu polimento na operação de beneficiamento (Uhlig e Heberle, 1977). Conforme a variedade, o grau de maceração e o tratamento térmico do arroz, o rendimento em arroz inteiro pode ultrapassar de 80% em relação ao arroz integral (Vitti, Leitão e Pizzinato, 1975).

TABELA 5. Valores médios observados em função da variedade e tratamento térmico para obtenção de Arroz Puffed

Tratamento V/TP/tp	teor umidade (% bu)	grãos inteiros (%)	grãos quebrados (%)	farelo (%)	casca (%)
D/140/10	10.76	54.50	14.60	7.70	22.60
D/160/8	11.67	55.60	13.00	8.27	22.73
D/180/6	12.89	65.67	3.17	8.23	22.43
G/140/10	10.68	59.07	7.77	8.17	24.23
G/160/8	11.57	65.70	3.13	8.17	22.40
G/180/6	12.85	66.73	2.33	7.10	22.93
RP/140/10	10.88	51.70	15.80	8.20	22.97
RP/160/8	11.87	53.30	15.13	8.97	22.33
RP/180/6	12.94	57.10	9.97	7.93	23.83

D - variedade Douradão

G - variedade Guarani

RP - variedade Rio Paranaíba

V/TP/tp - Variedade/Temperatura de Parboilização, °C/tempo de parboilização, minutos

TABELA 6. Teor de Umidade (% bu) nas diferentes variedades do arroz parboilizado beneficiado para obtenção de Arroz Puffed, independente da temperatura

Variedade	Médias
Rio Paranaíba	11.90 a
Douradão	11.77 b
Guarani	11.70 b

DMS (Tukey 5%) = 0.08

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (P < 0.05)

TABELA 7. Teor de Umidade (% bu) do arroz parboilizado beneficiado submetido às temperaturas de parboilização (TP) em estudo para obtenção de Arroz Puffed

Temperatura parboilização/ tempo parboilização (°C/min)	Médias
180/6	12.89 a
160/8	11.70 b
140/10	10.77 c

DMS (Tukey 5%) = 0.08

TABELA 8. Percentagem de grãos inteiros no beneficiamento para obtenção de Arroz Puffed

Variedades	Tratamento Térmico (°C/min)		
	140/10	160/8	180/6
Guarani	59.07 a C	65.70 a B	66.73 a A
Douradão	54.50 b C	55.60 b B	65.67 b A
Rio Paranaíba	51.70 c C	53.30 c B	57.10 c A

DMS (Tukey 5%) = 0.69

Letras minúsculas são analisadas na vertical e letras maiúsculas são analisadas na horizontal

Observando a Tabela 9, quando se analisa a percentagem de grãos quebrados no beneficiamento, verifica-se que no geral, a variedade Guarani apresentou a menor percentagem, seguida pelas variedades Douradão e Rio Paranaíba, respectivamente. A temperatura de parboilização que resultou na menor percentagem de grãos quebrados no beneficiamento foi a de 180°C para todas as variedades.

Pelo teste de Tukey observa-se na Tabela 10 que quando se analisa a variedade dentro do fator TP, verifica-se que para as TP de 140 e 160°C não houve diferença na percentagem de farelo produzido no beneficiamento, obtendo-se uma média de 8,02% e 8,47% para TP de 140 e 160°C, respectivamente. Para a TP de 180°C, a variedade Guarani apresentou a menor percentagem de farelo no beneficiamento, seguida pelas variedades Rio Paranaíba e Douradão. Esse comportamento se justifica pela maior

percentagem de grãos inteiros da variedade Guarani, que obteve maior dureza no beneficiamento, dificultando o seu polimento e resultando na menor percentagem de farelo. Ao analisar o fator TP dentro do fator Variedade, verifica-se que para as variedades Rio Paranaíba e Guarani, a TP que resultou em uma menor percentagem de farelo no beneficiamento foi a de 180°C, seguida pelas temperaturas de 140 e 160°C, que são estatisticamente iguais. Para a variedade Douradão não houve diferença significativa na percentagem de farelo no beneficiamento quando variou a TP.

Quanto à percentagem de casca no beneficiamento, as diferenças constantes da Tabela 11 são devidas provavelmente a diferenças de pesagens, pois sabe-se que a operação de descasque torna-se facilitada pelo efeito da parboilização, deixando a casca mais solta (Silva,1980).

TABELA 9. Percentagem de grãos quebrados no beneficiamento para obtenção de Arroz Puffed

Variedades	Tratamento Térmico (°C/min)		
	140/10	160/8	180/6
Rio Paranaíba	15.80 c B	15.13 c B	9.97 b A
Douradão	14.60 b C	13.00 b B	3.17 a A
Guarani	7.77 a B	3.13 a A	2.33 a A

DMS (Tukey 5%) = 0.87

Letras minúsculas são analisadas na vertical e letras maiúsculas são analisadas na horizontal

TABELA 10. Percentagem de farelo no beneficiamento para obtenção de Arroz Puffed

Variedades	Tratamento Térmico (°C/min)		
	140/10	160/8	180/6
Rio Paranaíba	8.20 a B	8.97 a B	7.93 b a A
Douradão	8.17 a A	8.27 a A	8.23 b A
Guarani	7.70 a B	8.17 a B	7.10 a A

DMS (Tukey 5%) = 0.90

Letras minúsculas são analisadas na vertical e letras maiúsculas são analisadas na horizontal

TABELA 11. Percentagem de casca no beneficiamento para obtenção de Arroz Puffed

Variedades	Tratamento Térmico (°C/min)		
	140/10	160/8	180/6
Guarani	24.23 a A	22.73 a B	23.83 a b B
Rio Paranaíba	22.97 b A B	22.40 a B	22.93 a A
Douradão	22.60 b A	22.33 a A	22.43 b A

DMS (Tukey 5%) = 1.10

Letras minúsculas são analisadas na vertical e letras maiúsculas são analisadas na horizontal

4.3 Volume Inicial Aparente e Volume Inicial Específico

Ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey (Tabela 12), verificou-se que as variedades que apresentaram maior Volume Inicial Aparente (VIA) do arroz parboilizado beneficiado foram Guarani, Douradão e Rio Paranaíba, respectivamente, independentes do processo de parboilização. O mesmo comportamento foi observado no Volume Inicial Específico (VIE) do arroz parboilizado beneficiado.

Comparando estes dois volumes, pode-se observar que o VIE foi aproximadamente duas vezes menor que o VIA. Isto se deve ao fato de que ao se medir os dois volumes, o primeiro foi medido por diferença de deslocamento de líquido, sendo que os espaços vazios existentes na massa foram ocupados por líquido, não interferindo na medida. Comportamento oposto ocorreu com o VIA, onde os espaços vazios entre os grãos foram computados como volume, tornando-o aumentado.

Pelo teste de Tukey, verificou-se na Tabela 13 que a variedade Guarani apresentou o maior VIA e VIE do arroz parboilizado em casca, seguido pelas variedades Douradão e Rio Paranaíba, respectivamente, independentes do processo de parboilização. O VIA apresentou valores significativamente maiores, quando comparados aos valores do VIE.

Constatou-se também que o VIA e VIE do arroz parboilizado em casca apresentaram valores superiores comparativamente aos do arroz parboilizado beneficiado. Essas diferenças são devidas à etapa de beneficiamento deste último,

que retira a casca e parte do farelo do grão. O tamanho médio dos grãos das variedades de arroz pode influenciar seu volume expandido, uma vez que este comportamento foi verificado por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983b) e Roberts, Houston e Kester (1951).

TABELA 12. Médias do volume inicial aparente - VIA (ml) e volume inicial específico - VIE (ml) do arroz parboilizado beneficiado para obtenção de Arroz Puffed

Variedades	VIA	VIE
Guarani	3.60 a	1.80 a
Douradão	3.20 b	1.60 b
Rio Paranaíba	2.90 c	1.40 c

DMS (Tukey 5%) = 0.05

Médias seguidas de letras distintas diferem ao nível de significância indicado.

que retira a casca e parte do farelo do grão. O tamanho médio dos grãos das variedades de arroz pode influenciar seu volume expandido, uma vez que este comportamento foi verificado por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983b) e Roberts, Houston e Kester (1951).

TABELA 12. Médias do volume inicial aparente - VIA (ml) e volume inicial específico - VIE (ml) do arroz parboilizado beneficiado para obtenção de Arroz Puffed

Variedades	VIA	VIE
Guarani	3.60 a	1.80 a
Douradão	3.20 b	1.60 b
Rio Paranaíba	2.90 c	1.40 c

DMS (Tukey 5%) = 0.05

Médias seguidas de letras distintas diferem ao nível de significância indicado.

TABELA 13. Médias do volume inicial aparente - VIA (ml) e volume inicial específico - VIE (ml) do arroz parboilizado em casca para obtenção de Pipoca de Arroz

Variedades	VIA	VIE
Guarani	7.60 a	3.40 a
Douradão	6.40 b	3.00 b
Rio Paranaíba	6.20 c	2.80 c

DMS (Tukey 5%) = 0.05

Médias seguidas de letras distintas diferem ao nível de significância indicado.

4.4 Obtenção da Pipoca de Arroz

A análise de variância dos dados mostraram que houve interações significativas nas variáveis e tais valores e significância das avaliações físicas para a Pipoca de Arroz encontram-se na Tabela 2A do Anexo.

4.4.1 Teor de Umidade da Pipoca de Arroz

Na Tabela 14 temos as médias do teor de umidade encontrado na pipoca de arroz, sendo que os valores estão de acordo com Matz (1976), demonstrando um teor máximo de 4,20% (bu) para a variedade Guarani, apesar de que, de acordo com Luh (1980), a pipoca de arroz deve manter no máximo um teor de

umidade em torno de 3% (bu) para manter por um longo período sua crocância.

As Tabelas 15, 16 e 17 apresentam os testes de Tukey para as médias do teor de umidade da pipoca de arroz parboilizadas às temperaturas de 140, 160 e 180°C, nesta ordem. Nota-se que a variedade Guarani apresentou o maior teor de umidade em todas as temperaturas de parboilização e expansão, seguida da Rio Paranaíba e Douradão. Somente em alguns tratamentos a variedade Rio Paranaíba se igualou à Guarani ou à Douradão.

TABELA 14. Médias do Teor de Umidade (% bu) na Pipoca de Arroz sob diferentes condições de tratamento térmico e expansão em estudo

Temperatura Maceração (°C)	Temperatura Parboilização (°C)	Temperatura Expansão (°C)	Variedades		
			Douradão	Guarani	R.Paranaíba
80	140	260	2.77	4.20	3.68
		280	2.73	3.66	3.53
		300	2.55	3.40	3.68
	160	260	2.77	3.25	2.95
		280	2.38	3.61	2.80
		300	2.43	3.11	2.59
	180	260	2.65	3.86	3.29
		280	2.55	3.72	3.06
		300	2.50	3.79	3.38

TABELA 15. Médias do Teor de Umidade na Pipoca de Arroz parboilizadas a 140°C e expandidas à TE de 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)		
	260	280	300
Guarani	4.20 a	3.66 a	3.40 a
Rio Paranaíba	3.68 b	3.53 a	3.68 a
Douradão	2.77 c	2.73 b	2.55 b

DMS = 0.40

Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 16. Médias do Teor de Umidade na Pipoca de Arroz parboilizadas a 160°C e expandidas à TE de 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)		
	260	280	300
Guarani	3.25 a	3.61 a	3.11 a
Rio Paranaíba	2.95 a	2.80 b	2.59 b
Douradão	2.77 b	2.38 c	2.43 b

DMS (Tukey 5%) = 0.40

TABELA 17. Médias do Teor de Umidade na Pipoca de Arroz parboilizadas a 180°C e expandidas à TE de 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)		
	260	280	300
Guarani	3.86 a	3.72 a	3.79 a
Rio Paranaíba	3.29 b	3.06 b	3.38 b
Douradão	2.65 c	2.55 c	2.50 b

DMS (Tukey 5%) = 0.40

4.4.2 Razão de expansão da Pipoca de Arroz

As Tabelas 18, 19, 20 e 21 e as Figuras 7, 8 e 9 mostram as variações das razões de expansão aparentes (REA) e razões de expansão específicas (REE) da pipoca de arroz em função da temperatura de parboilização (TP) e temperatura de expansão (TE).

Com relação a REA (Tabelas 18 e 19) nota-se que a pipoca de arroz variedade Douradão foi a que apresentou maiores valores tanto em função da TP quanto da TE, seguida pelas variedades Rio Paranaíba e Guarani, respectivamente.

A Tabela 18 mostra ainda o efeito dos tratamentos na expansão aparente. A REA aumentou de 140 para 160°C de TP, diminuindo-se em seguida para 180°C. Este fenômeno pode ser devido ao grau de gelatinização do amido, insuficiente a 140°C e excessivo a 180°C. Com relação ao fator temperatura de expansão

(TE) (Tabela 19) houve aumento na REA de 260 para 280°C, não havendo, entretanto, diferença de 280 para 300°C, podendo-se usar temperaturas mais baixas, evitando com isso problema de queima no arroz.

A variação da REE da pipoca de arroz comportou-se da mesma forma que a REA, ou seja, com maiores valores para a variedade Douradão e aumentando-se com o aumento de 140 para 160°C de TP e de 260 para 280°C de TE, não havendo diferença significativa nas temperaturas mais altas, conforme Tabelas 20 e 21 e conforme Figuras 7, 8 e 9.

Analisando a razão de expansão da pipoca de arroz quanto à variação do teor de umidade, observa-se na Figura 10 que a REE variou com o teor de umidade, de tal modo que houve uma maior perda de umidade quando a expansão aumentou, como pode-se observar pelos menores teores na variedade Douradão, atingindo 2,38% (bu) quando a maior razão de expansão foi de 6,44. Comportamentos semelhantes foram observados nas outras variedades em estudo, sendo que dentre elas, a Douradão obteve uma maior razão de expansão, seguida pela Rio Paranaíba e Guarani, respectivamente.

TABELA 18. Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) da Pipoca de Arroz com relação à variedade dentro do fator temperatura de parboilização

Variedades	Temperatura de Parboilização (°C)		
	140	160	180
Douradão	4.61 a C	5.83 a A	5.28 a B
Rio Paranaíba	2.62 b C	3.39 b A	2.92 b B
Guarani	1.90 c B	2.18 c A	1.95 c AB

DMS (Tukey 5%) = 0.26

Letras minúsculas são analisadas na vertical e letras maiúsculas são analisadas na horizontal

TABELA 19. Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) da Pipoca de Arroz com relação à variedade dentro do fator temperatura de expansão

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)		
	260	280	300
Douradão	5.01 a B	5.38 a A	5.33 a A
Rio Paranaíba	2.79 b B	3.09 b A	3.04 b AB
Guarani	2.00 c A	2.00 c A	2.04 c A

DMS (Tukey 5%) = 0.26

Letras minúsculas são analisadas na vertical e letras maiúsculas são analisadas na horizontal

TABELA 20. Médias da Razão de Expansão Específica (REE) da Pipoca de Arroz com relação à variedade dentro do fator temperatura de parboilização

Variedades	Temperatura de Parboilização (°C)		
	140	160	180
Douradão	4.89 a B	5.99 a A	5.64 a A
Rio Paranaíba	2.71 b B	3.61 b A	3.12 b AB
Guarani	1.91 c A	2.21 c A	2.02 c A

DMS (Tukey 5%) = 0.43

Letras minúsculas são analisadas na vertical e letras maiúsculas são analisadas na horizontal

Tabela 21. Médias da Razão de Expansão Específica (REE) da Pipoca de Arroz com relação à variedade dentro do fator temperatura de expansão

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)		
	260	280	300
Douradão	5.36 a A	5.67 a A	5.49 a A
Rio Paranaíba	3.00 b A	3.22 b A	3.22 b A
Guarani	1.98 c A	2.06 c A	2.10 c A

DMS (Tukey 5%) = 0.43

Letras minúsculas são analisadas na vertical e letras maiúsculas são analisadas na horizontal

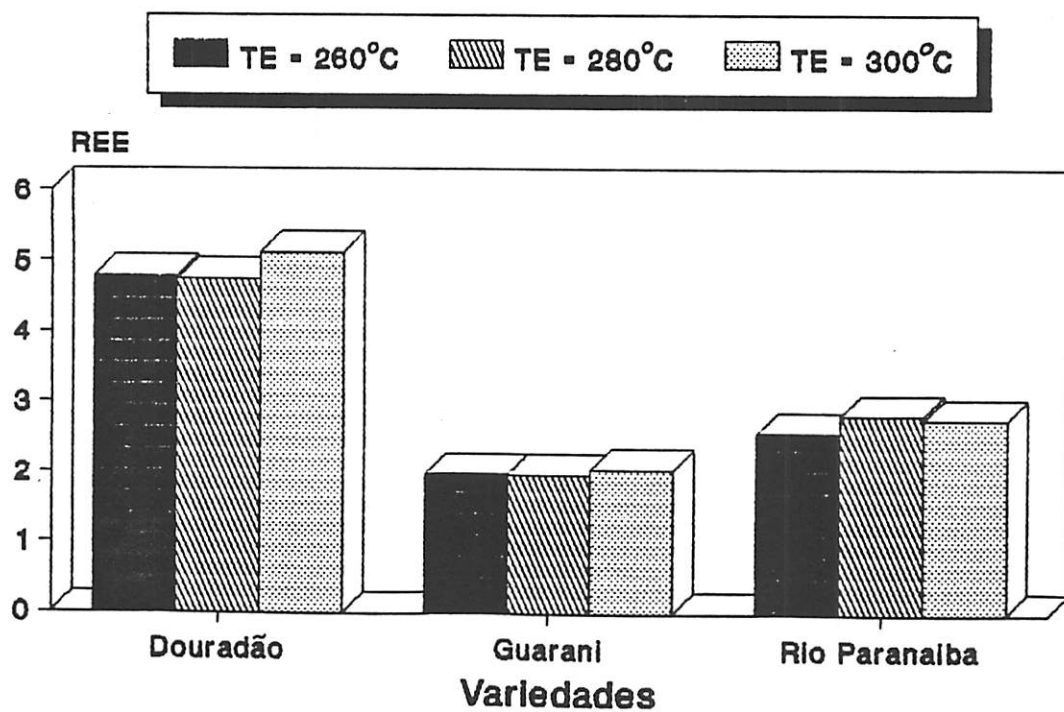


FIGURA 7. Variação da REE da Pipoca de Arroz parboilizada à temperatura de parboilização de 140°C

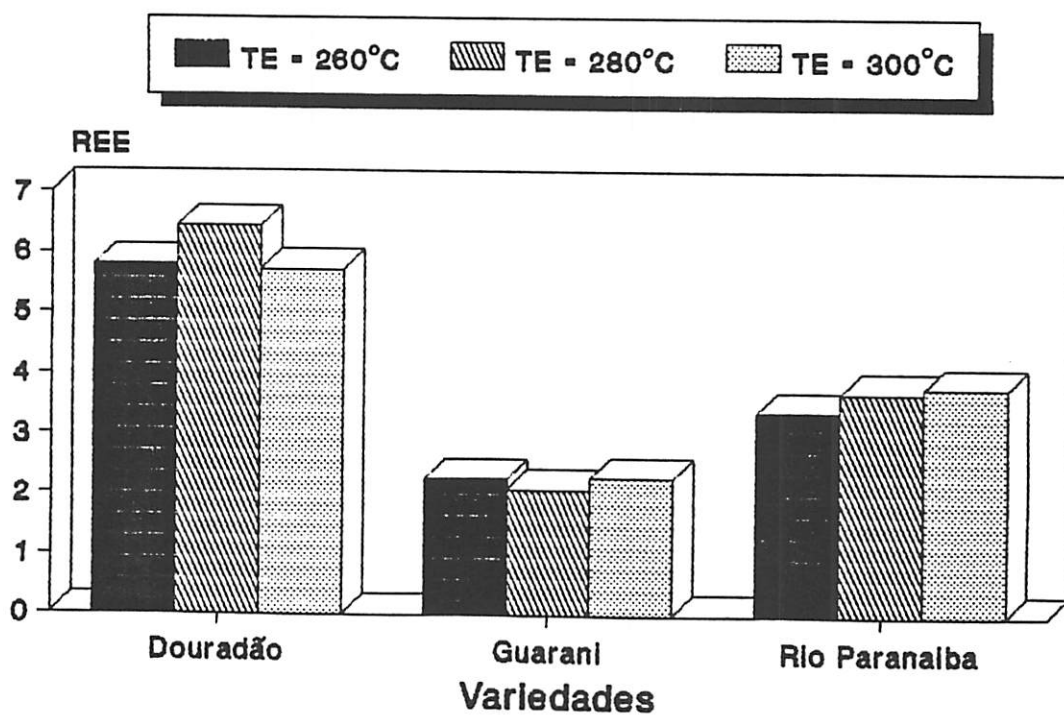


FIGURA 8. Variação da REE da Pipoca de Arroz parboilizada à temperatura de parboilização de 160°C

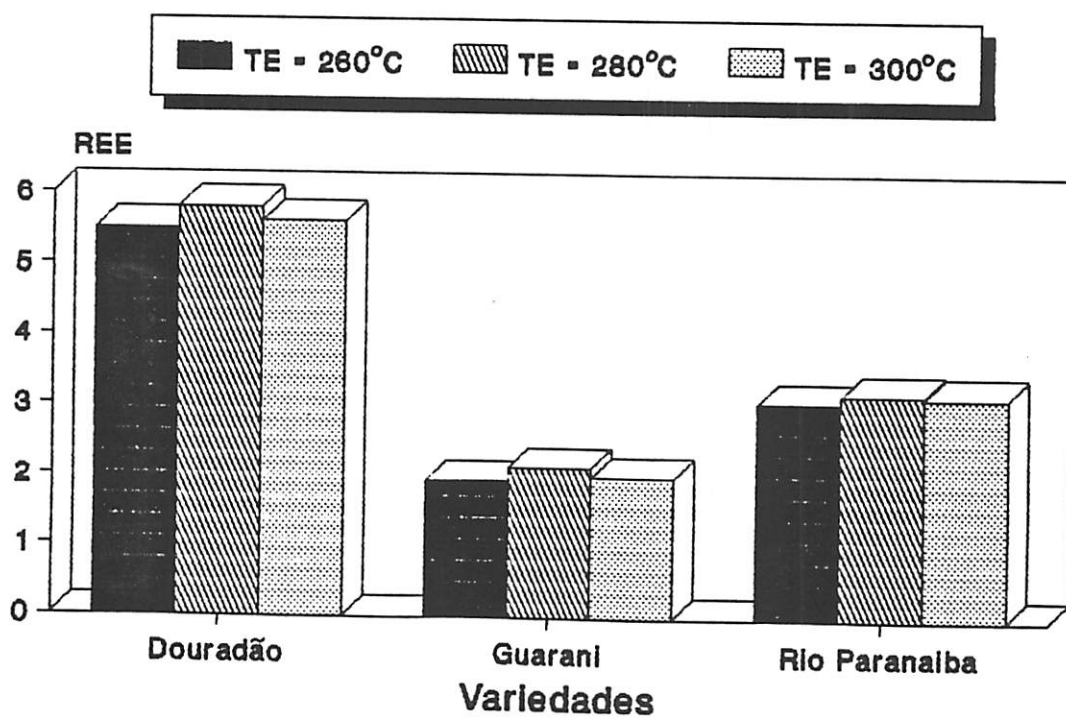


FIGURA 9. Variação da REE da Pipoca de Arroz parboilizada à temperatura de parboilização de 180°C

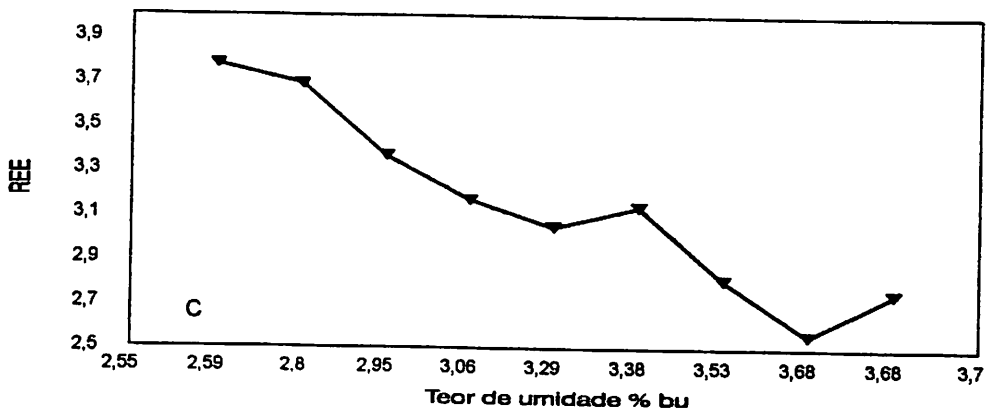
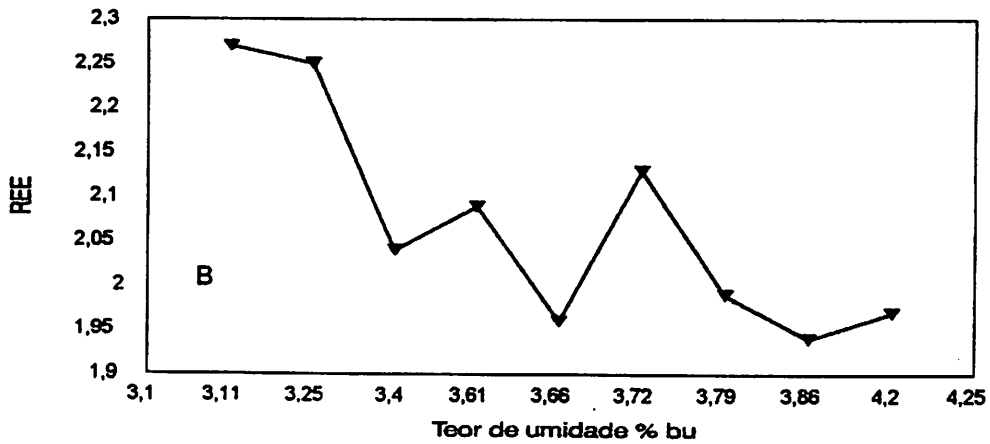
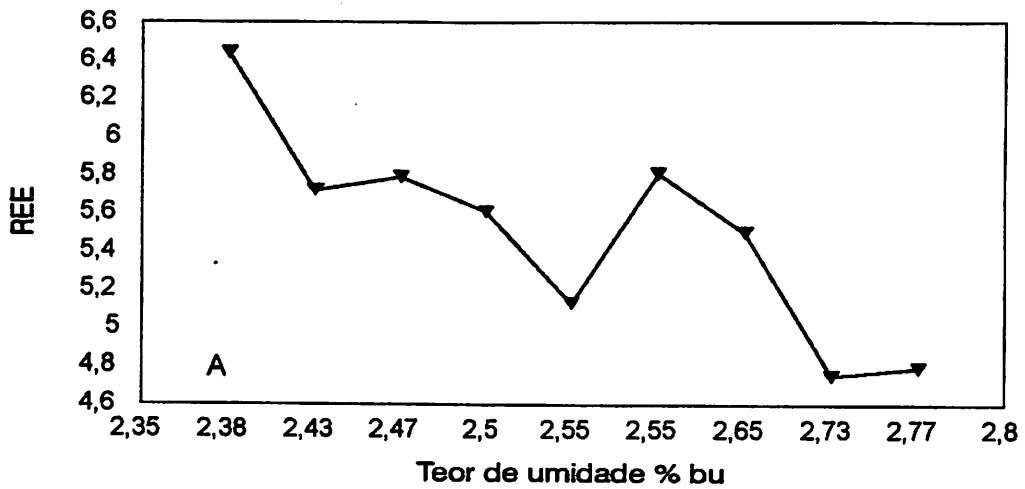


FIGURA 10. Variação da REE na Pipoca de Arroz variedades Douradão (A), Guarani (B) e Rio Paranaíba (C) com relação aos seus teores de umidade finais.

4.5 Obtenção do Arroz Puffed

Na Tabela 3A do Anexo têm-se o resumo das análises de variância para as variáveis teor de umidade do arroz puffed, volume inicial aparente (VIA) e específico (VIE) do arroz parboilizado beneficiado, volume final aparente (VFA) e específico (VFE) do arroz puffed e Razão de Expansão Aparente (REA) e Específica (REE) do arroz puffed. Ocorreram interações significativas ao nível de 1% de probabilidade entre variedade, TP e TE, sendo que para as variáveis VIA e VIE do arroz parboilizado beneficiado, apenas o fator variedade foi significativo ao nível de 1% de probabilidade.

4.5.1 Teor de Umidade do Arroz Puffed

A Tabela 22 apresenta as médias do teor de umidade no arroz puffed sob condições de tratamento térmico e expansão em estudo. Observa-se que o arroz puffed elaborado com a variedade Guarani apresentou os menores teores de umidade, seguido do arroz puffed variedade Rio Paranaíba e Douradão, respectivamente.

As Tabelas 23, 24 e 25 apresentam os testes de Tukey para as médias dos teores de umidade do arroz puffed após o processamento. Podemos observar que, com algumas exceções, a variedade Douradão apresentou os maiores teores de umidade em todos os tratamentos, seguida pela Rio Paranaíba e Guarani, respectivamente.

TABELA 22. Médias do Teor de Umidade (% bu) no Arroz Puffed sob condições de tratamento térmico e expansão em estudo

Temperatura maceração (°C)	Temperatura parboil. (°C)	Temperatura expansão (°C)	Variedades		
			Douradão	Guarani	Rio-Paran.
80	140	240	4.85	3.20	5.18
		260	4.19	3.11	3.72
		280	3.62	3.07	3.16
		300	3.09	2.81	3.24
	160	240	4.50	2.99	4.17
		260	4.64	2.79	3.24
		280	4.00	2.92	3.14
		300	3.86	2.49	3.01
	180	240	4.63	3.15	3.50
		260	3.20	2.91	3.48
		280	3.16	2.97	3.29
		300	3.11	2.83	3.74

TABELA 23. Médias do Teor de Umidade (% bu) no Arroz Puffed parboilizados à TP de 140°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Douradão	4.85 b	4.19 a	3.62 a	3.09 a
Rio Paranaíba	5.18 a	3.72 b	3.16 b	3.24 a
Guarani	3.20 c	3.11 c	3.07 b	2.81 b

DMS = 0.19

Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 24. Médias do Teor de Umidade (% bu) no Arroz Puffed par-boiliza dos à TP de 160°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Douradão	4.50 a	4.64 a	4.00 a	3.86 a
Rio Paranaíba	4.17 b	3.24 b	3.14 b	3.01 b
Guarani	2.99 c	2.79 c	2.92 c	2.49 c

DMS (Tukey 5%) = 0.19

Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 25. Médias do Teor de Umidade (% bu) no Arroz Puffed par-boilizados à TP de 180°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Douradão	4.63 a	3.20 b	3.16 ab	3.11 b
Rio Paranaíba	3.50 b	3.48 a	3.29 a	3.74 a
Guarani	3.15 c	2.91 c	2.97 b	2.83 c

DMS (Tukey 5%) = 0.19

Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.5.2 Razão de Expansão do Arroz Puffed

Os valores da razão de expansão aparente do arroz puffed encontram-se nas Tabelas 26, 27 e 28. Inversamente ao que foi encontrado para a pipoca de arroz, aqui a variedade Guarani apresentou a maior expansão em todos os tratamentos. Em segunda posição a Rio Paranaíba permaneceu somente nos tratamentos de TP a 140 e 160°C, e TP-180/TE-240°C. Quando se aumentou a TE no tratamento de 180-TP a expansão da variedade Douradão se elevou acima da Rio Paranaíba. Com relação aos tratamentos, nota-se ainda que a expansão aumenta com o aumento da TE.

O mesmo fenômeno pode ser observado para a razão de expansão específica, conforme Tabelas 29, 30 e 31 e Figuras 11, 12 e 13, ou seja, a variedade Guarani obtendo a maior expansão e o aumento da expansão com o aumento da TE, até 300°C, sendo que com temperaturas maiores, observou-se a carbonização do arroz puffed.

O fato da variedade Guarani ter maior expansão no arroz puffed, processado sem a casca, poderia ser explicado pelas propriedades do amido e do seu comportamento durante o tratamento térmico. Isso, entretanto, somente através de testes específicos. Quanto à menor expansão da variedade Guarani na produção da pipoca, a explicação talvez esteja na maior resistência da casca em relação às outras variedades.

TABELA 26. Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) do Arroz Puffed parboilizados à TP de 140°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Guarani	3.72 a	4.06 a	4.17 a	4.80 a
Rio Paranaíba	2.90 b	3.41 b	4.10 a	3.91 c
Douradão	2.64 c	3.22 c	3.71 b	4.22 b

DMS = 0.05

Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 27. Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) do Arroz Puffed parboilizados à TP de 160°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Guarani	4.21 a	4.92 a	5.03 a	5.18 a
Rio Paranaíba	3.26 b	3.71 b	3.83 b	4.17 b
Douradão	3.08 c	2.93 c	3.17 c	3.32 c

DMS (Tukey 5%) = 0.05

TABELA 28. Médias da Razão de Expansão Aparente (REA) do Arroz Puffed parboilizados à TP de 180°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Guarani	3.89 a	4.69 a	4.57 a	4.83 a
Rio Paranaíba	3.56 b	3.50 c	3.64 c	3.73 c
Douradão	3.16 c	3.66 b	4.04 b	4.15 b

DMS (Tukey 5%) = 0.05

TABELA 29. Médias da Razão de Expansão Específica (REE) do Arroz Puffed Parboilizados à TP de 140°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Guarani	4.27 a	4.43 a	4.63 a	5.56 a
Rio Paranaíba	3.19 b	3.73 b	4.70 a	4.47 b
Douradão	2.89 c	3.57 c	4.05 b	4.53 b

DMS = 0.13

Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 30. Médias da Razão de Expansão Específica (REE) do Arroz Puffed parboilizados à TP de 160°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Guarani	4.84 a	5.69 a	5.26 a	6.13 a
Rio Paranaíba	3.54 b	4.07 b	4.38 b	4.86 b
Douradão	3.40 c	2.93 c	3.39 c	3.55 c

DMS (Tukey 5%) = 0.13

TABELA 31. Médias da Razão de Expansão Específica (REE) do Arroz Puffed parboilizados à TP de 180°C e expandidos à TE de 240, 260, 280 e 300°C

Variedades	Temperatura de Expansão (°C)			
	240	260	280	300
Guarani	4.29 a	5.19 a	4.97 a	5.07 a
Rio Paranaíba	4.13 b	3.81 c	4.05 c	4.12 c
Douradão	3.79 c	3.99 b	4.63 b	4.74 b

DMS (Tukey 5%) = 0.13

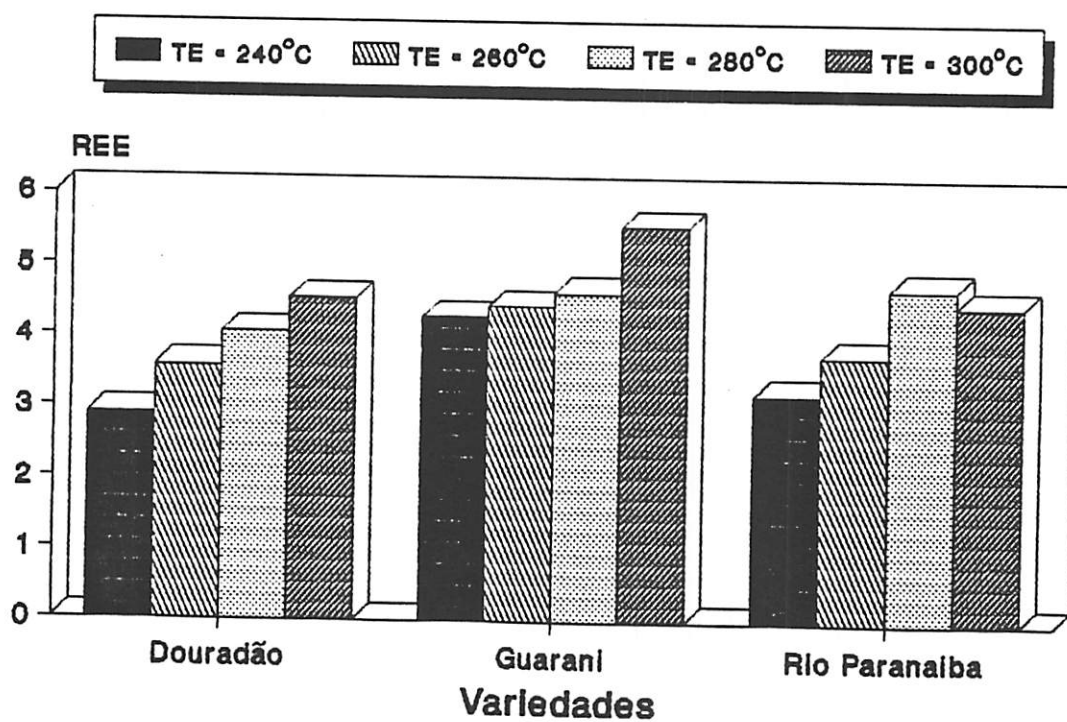


FIGURA 11. Variação da REE do Arroz Puffed parboilizado à temperatura de parboilização de 140°C

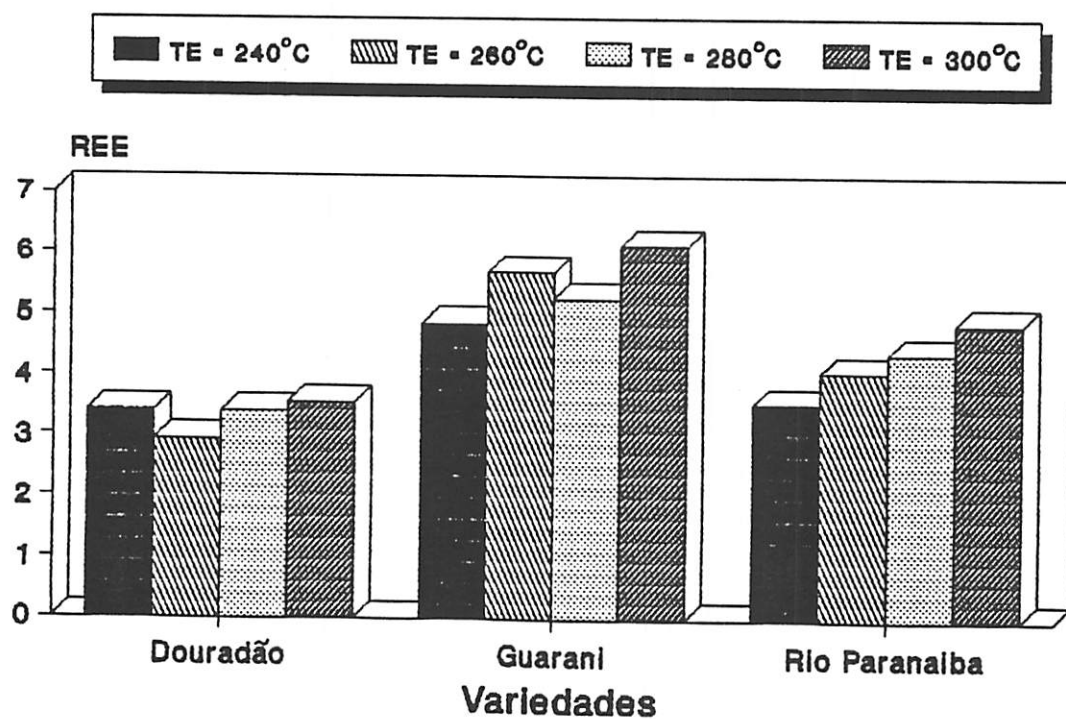


FIGURA 12. Variação da REE do Arroz Puffed parboilizado à temperatura de parboilização de 160°C

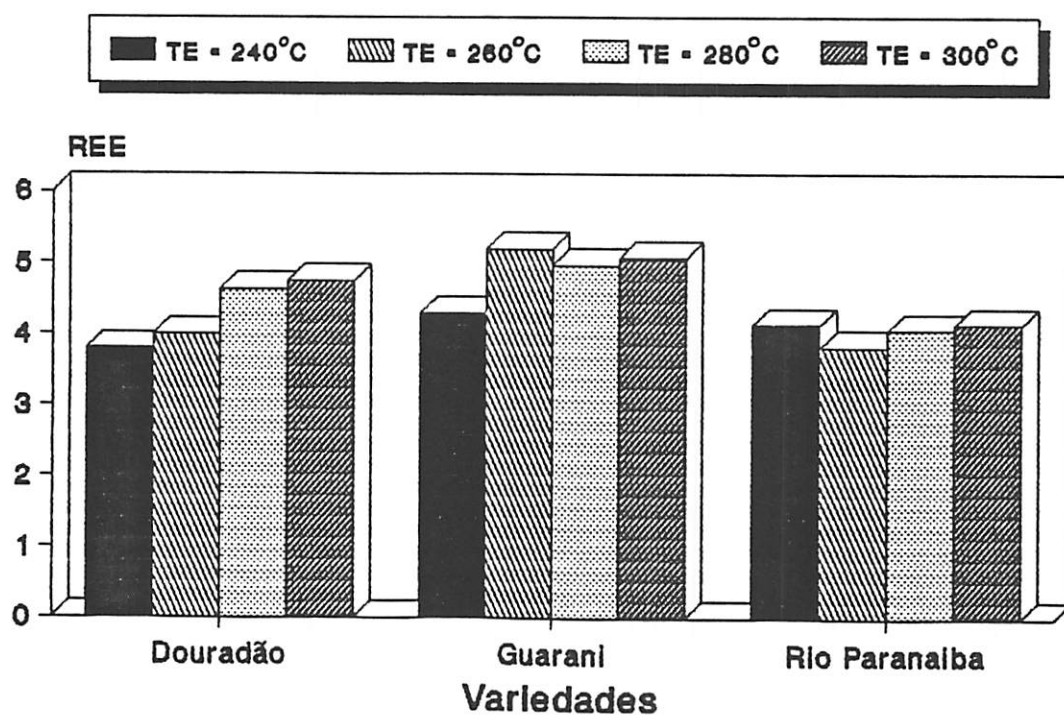


FIGURA 13. Variação da REE do Arroz Puffed parboilizado à temperatura de parboilização de 180°C

No arroz puffed foi demonstrado o baixo teor de umidade, podendo portanto, ser este fator um dos responsáveis pelo aumento do volume expandido, que está diretamente ligado às condições de parboilização e expansão (Chinnaswamy e Bhattacharya, 1983a). Nas variedades submetidas às suas melhores condições, ou seja, as que obtiveram um maior volume expandido, foi observado um menor teor de umidade no produto final expandido, que certamente alcançou devido ao aumento da razão de expansão, como pode ser observado na Figura 14, sendo que a variedade Guarani obteve a maior expansão com os menores teores de umidade, seguida da Douradão e Rio Paranaíba, respectivamente. Segundo Fonseca et al. ([19--]), quanto maior a expansão do arroz, mais seco este se torna, pois os grãos quando adequadamente parboilizados, submetidos a altas temperaturas, se expande imediatamente, presumivelmente por evaporação e expansão rápida da umidade interna, fazendo com que o teor de umidade do arroz fique o mais baixo possível. Este fenômeno também foi observado por Chinnaswamy e Bhattacharya, 1983a e Murugesan e Bhattacharya, 1986.

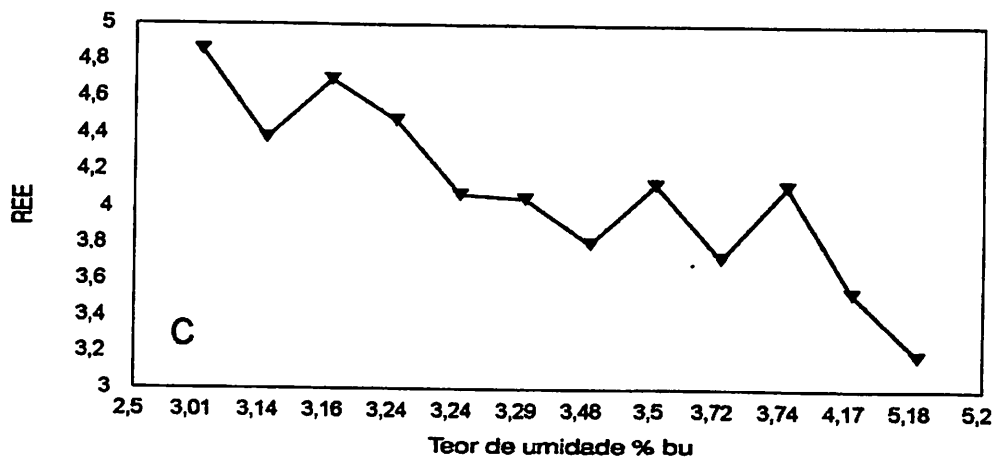
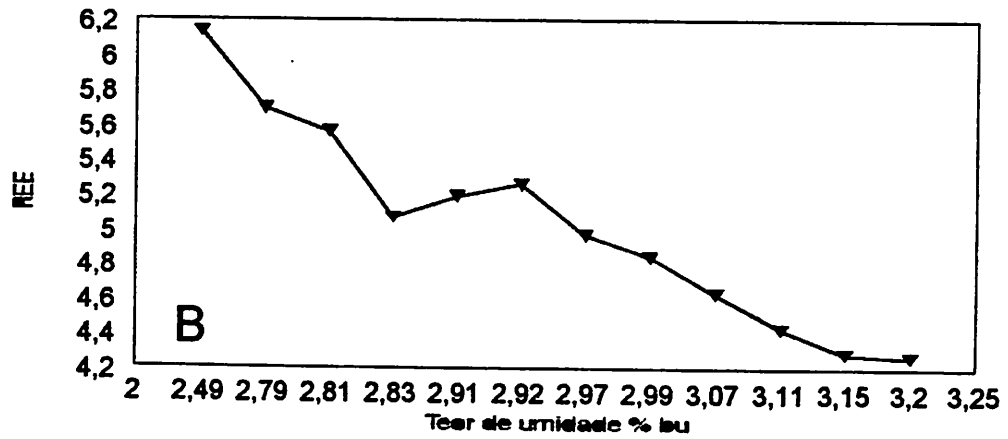
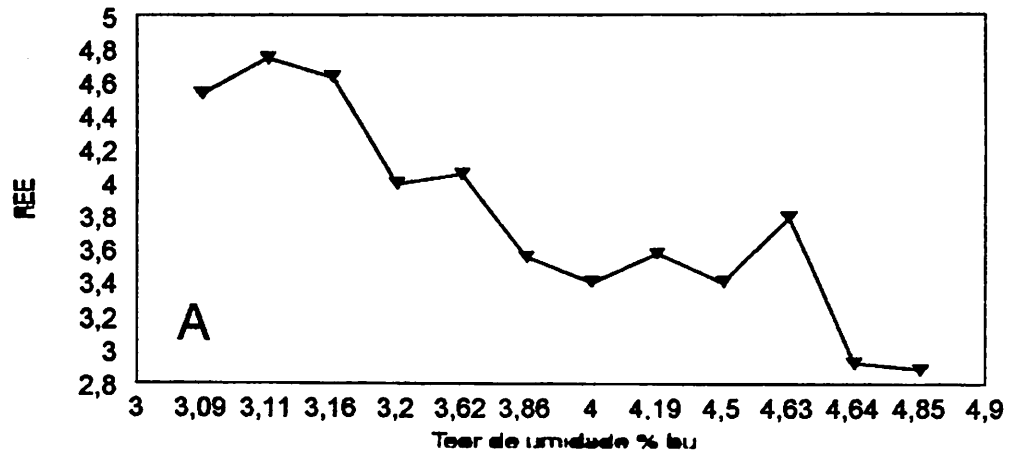


Figura 14. Variação da REE no Arroz Puffed variedades Douradão (A), Guarani (B) e Rio Paranaíba (C) com relação aos seus teores de umidade finais

4.6 Otimização do Processo de Expansão

A variedade Douradão apresentou valores de razão de expansão 5 a 6 para a pipoca de arroz, em todos os tratamentos. Valores estes considerados como resultados de eficientes processos de expansão, conforme trabalhos de Chandrasekhar e Chattopadhyay (1989) e Fonseca et al. ([19--]), podendo-se usar, desta forma, para esta variedade, condições mais brandas de TP e TE. Entretanto, em nenhum tratamento, as variedades Guarani e Rio Paranaíba atingiram estes índices. Para o arroz puffed, a variedade Guarani alcançou estes padrões; porém, o arroz puffed variedades Douradão e Rio Paranaíba somente obtiveram bons resultados a partir de 160°C de TP e 280°C de TE.

O tempo necessário para completar a expansão variou com a temperatura. Para TE de 240, 260, 280 e 300°C, foram necessários 15, 13, 10 e 8 segundos, respectivamente, para obtenção de arroz puffed. Como a pipoca de arroz é processada com os grãos em casca, o tempo para que houvesse a total expansão dos grãos aumentou. Para temperaturas de 260, 280 e 300°C, foram necessários 25, 20 e 15 segundos para completar o processo. O aumento desse tempo em comparação ao tempo utilizado para processar o arroz puffed se deve a não retirada da casca, que forma uma barreira mais resistente à saída da pressão, gastando-se mais tempo para que houvesse a explosão dos grãos. Observou-se que o arroz puffed e pipoca de arroz tenderam à carbonização com temperaturas maiores que as utilizadas neste experimento ou quando o tempo de residência dos grãos expostos ao processo era

maior que os especificados. Expansões com temperaturas maiores foram testadas por Ali e Bhattacharya (1976), quando expandiram arroz em casca à TE de até 350°C em torrador de café, utilizando areia como aquecimento sendo que nesta temperatura não houve a carbonização dos grãos.

Além das altas temperaturas/tempos de expansão maiores que os especificados, a razão em peso de arroz:areia acima de 1:15 respectivamente, também tendeu à carbonização dos grãos durante o processo de expansão. Os mesmos efeitos observados neste trabalho também foram encontrados por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a,b).

Para as condições do Puffer, aquecendo de 100 a 150 gramas de arroz com 1500 a 2250 gramas de areia (razão em peso de 1:15 de arroz:areia respectivamente), nas temperaturas/tempos estabelecidos, obteve-se uma expansão máxima no arroz. Entretanto, a temperatura da areia e a razão em peso de arroz:areia, estão inter-relacionadas entre si e, dependendo de suas condições, estas afetam a expansão. Essa interação entre arroz:areia e TE também foi verificada por Chinnaswamy e Bhattacharya (1983a), que utilizaram a mesma razão em peso de arroz:areia usada neste experimento e TE de 250°C, obtendo arroz puffed de máxima expansão.

A agitação manual da massa arroz:areia também afetou o processo. Com rápida agitação verificou-se que não houve carbonização ou insuficiência na expansão dos grãos. Com agitação mais lenta, os grãos ficaram mais tempo em contato com a areia em um único ponto, resultando na transferência de calor irregular da

areia para os grãos, tornando um número significativo de grãos carbonizados num ponto e sem expansão em outros.

O arroz puffed manteve sua forma cilíndrica, a superfície amarelada, lisa e porosa (Figura 15). Por outro lado, a pipoca de arroz modificou completamente sua forma original, transformando sua superfície em irregular, com fendas, de cor branco leitoso, completamente diferente do arroz puffed, mas também adquiriu leveza e porosidade, como pode-se verificar na Figura 15.

4.7 O Equipamento "Puffer"

O Puffer ofereceu um grande número de vantagens no processamento em relação aos outros métodos citados na literatura (Heiland et al., 1977 e Patterson e Bray, 1985). O processamento com alta temperatura/curto tempo (HTST - high temperature short time) de residência, resultou num produto leve e crocante.

O equipamento permitiu sua utilização com segurança, mesmo com a utilização de altas temperaturas. Seu tamanho é pequeno, simples, operado manualmente e pode ser removido para qualquer lugar, não oferecendo perigo ao operador. Para aumentar rapidamente sua temperatura com obtenção de fonte de calor concentrado, o Puffer foi equipado com uma chama a gás liquefeito de petróleo, que foi manualmente aumentada ou diminuída, conforme a necessidade. A fotografia do Puffer é mostrada nas Figuras 16 e 17. A mesma segurança não foi observada no equipamento de Patterson e Bray (1985), que requer usuário treinado para seu

manuseio devido a alta pressão em que este opera, não sendo necessário pressão no Puffer para seu funcionamento.

Para iniciar o processamento (aquecer o equipamento), foi observado que o tempo requerido para o aquecimento da areia foi de aproximadamente 12 minutos e, para as etapas subsequentes, como a areia armazena calor (Das e Srivastav, 1989), o tempo de aquecimento foi mais rápido, utilizando de 1 a 1,5 minutos para se chegar à temperatura requerida. Com a diminuição do tempo de aquecimento, pode-se observar uma economia no consumo de energia.

Devido à simplicidade do equipamento e do processo de fabricação de expandidos, com um menor custo que outros métodos (Eskew, Cording e Sullivan, 1963 e Patterson e Bray, 1985), a fabricação destes alimentos é acessível. É evidente neste estudo que produtos similares podem ser facilmente processados no mesmo equipamento, necessitando somente de algumas modificações no pré-tratamento, específico para cada produto.

Pelo fato da câmara do Puffer ficar super-aquecida, o operador necessita de agilidade no seu manuseio para não haver a carbonização do alimento em processamento. Observou-se que o material a ser expandido se permanecer no interior desta por 2 a 3 segundos além do tempo de residência especificado, o produto inflado começa a se carbonizar. Por outro lado, se retirado antes do tempo requerido, este não se expandirá totalmente.

Observou-se que não houve danos mecânicos nas amostras de arroz. Uma quantidade desprezível de grãos ficaram presos entre as aletas do agitador, que foram facilmente removidos com uma pinça. Não houve perdas de grãos de arroz durante o

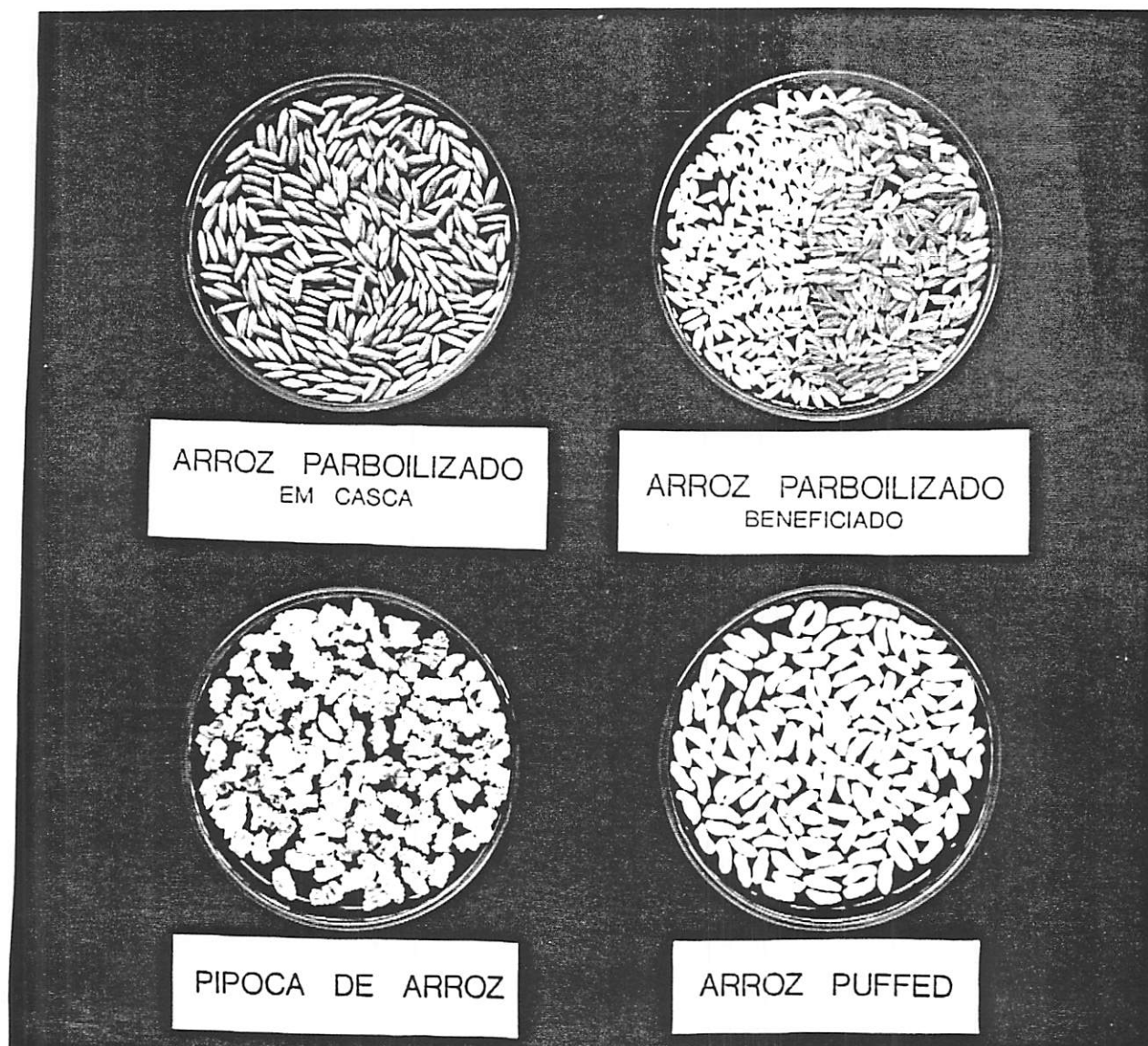


FIGURA 15. Fotografia do arroz parboilizado em casca para obtenção de Pipoca de Arroz e arroz parboilizado beneficiado para obtenção de Arroz Puffed

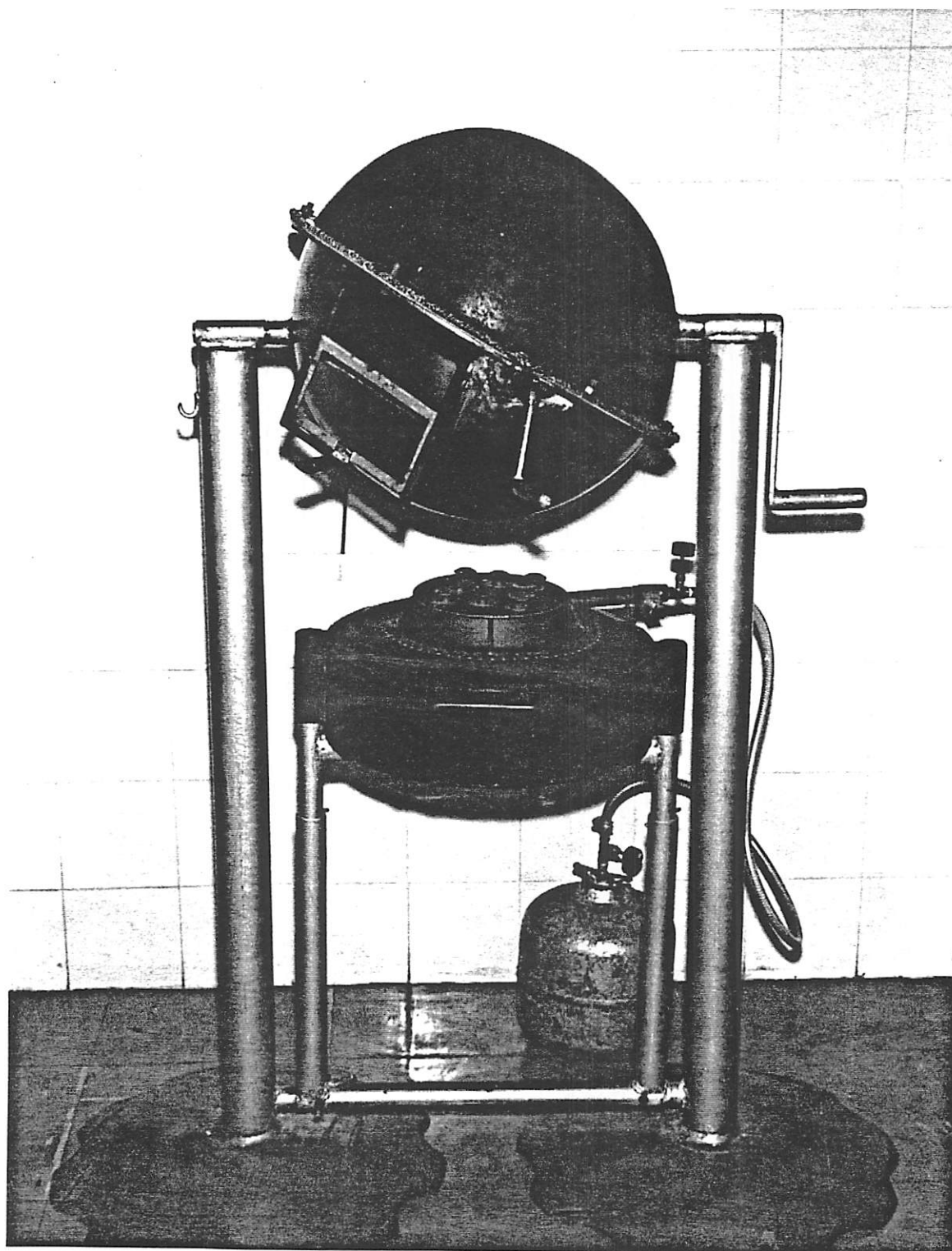


FIGURA 16. Fotografia da vista frontal externa do Puffer

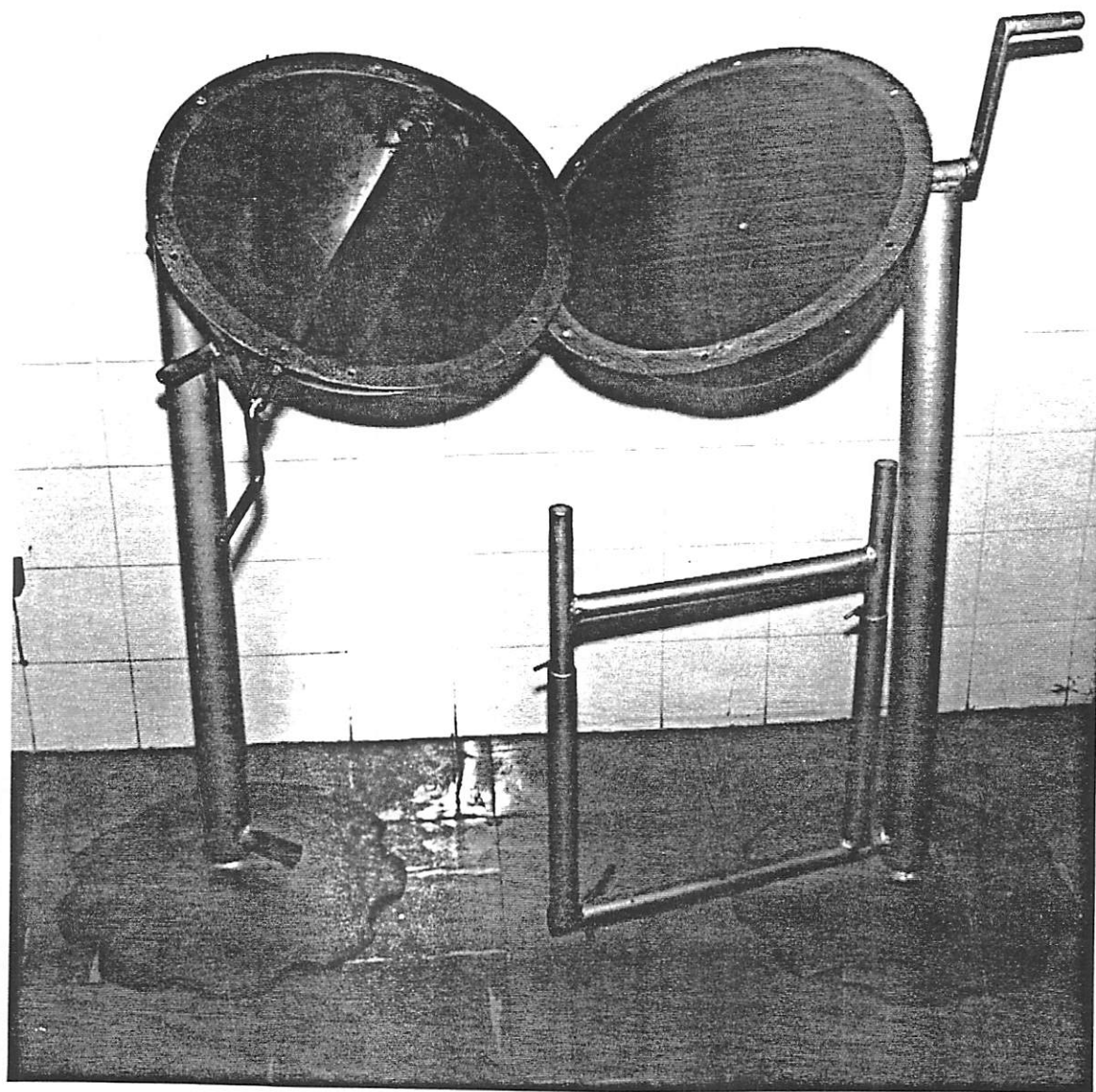


FIGURA 17. Fotografia da vista frontal interna do Puffer

processamento, pois a porta para alimentação/descarga do alimento permaneceu fechada enquanto o produto foi preparado e a câmara girada. Foram observados ainda que, quando o arroz se expandia ao máximo, este saía totalmente isento de areia. Por outro lado, quando a expansão era pouca, os grãos ficavam impregnados de areia, indicando que o teor de umidade durante a expansão não diminuiu o suficiente para a obtenção de expandidos de qualidades aceitáveis.

Foi observado também que não houve necessidade de limpeza interna na câmara de expansão, pois a areia seca e limpa não adere ao aço, não permitindo assim a existência de ferrugem, mofo, bolor ou carvão. Por outro lado, uma máquina de expansão desenvolvida por Patterson e Bray, (1985), após uso contínuo, há a necessidade de limpeza interna, utilizando para isso areia aquecida.

A utilização deste equipamento foi satisfatória e acredita-se que para futuros trabalhos este poderá ser automatizado e fabricado em série. É apropriado para uso comercial, especialmente em pequenas empresas alimentares onde se deseja flexibilidade e uma variedade de produtos do tipo expandido. O Puffer nas dimensões especificadas na secção 3.2.2 tem uma capacidade produtiva de 2 a 3 kg/h, sem contudo haver a necessidade de troca de areia. Pode-se preparar vários tipos de alimentos expandidos nutritivos à base de legumes, milho, grão-de-bico, soja, trigo, sorgo, etc., para serem consumidos como alimento snack ou tipo breakfast podendo adicionar leite, açúcar, mel, chocolate, malte, sorvete, iogurte ou sal. Devido ao

baixo custo na fabricação de tais alimentos, estes podem ser oferecidos em escolas e centros infantis de alimentação.

5 CONCLUSÕES

- 1 - As condições de maceração de 80°C/10 horas e temperatura de tratamento térmico de 160°C ofereceram eficiência no processo de parboilização.
- 2 - O arroz expandido elaborado no Puffer obteve um aumento de volume satisfatório, apresentando baixo teor de umidade, com características físicas aceitáveis, podendo ser armazenado por longo tempo. Com excessão da pipoca de arroz variedade Guarani, esta não apresentou uma expansão satisfatória.
- 3 - As razões de expansão dos produtos tenderam a aumentar com o aumento da temperatura de expansão.
- 4 - Nas condições otimizadas com temperatura de parboilização de 160°C e independente da temperatura de expansão, a pipoca de arroz variedade Douradão obteve a maior expansão.
- 5 - O arroz puffed variedade Guarani apresentou a maior razão de expansão, sendo que houve uma tendência de concentração do maior valor nas condições otimizadas com temperatura de parboilização de 160°C e temperatura de expansão de 300°C.

- 6 - O Puffer ofereceu versatilidade na obtenção de novos produtos expandidos, necessitando apenas de algumas modificações no pré-tratamento e na temperatura de expansão, específico para cada tipo de alimento.

- 7 - A fabricação do Puffer foi simples, de fácil manuseio, não necessitando de usuários treinados para operação, sendo que o próprio consumidor é capaz de preparar seu snack ou cereal matinal facilmente, em poucos minutos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1 - Devido aos bons resultados obtidos no Puffer, sugere-se a automação do equipamento, a fim de facilitar o seu manejo.**
- 2 - Utilizar o equipamento para desenvolver novos produtos expandidos.**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAIR, C.R. Production and utilization of rice. In: HOUSTON, D.F. (ed.). *Rice Chemistry and Tecnology*. St. Paul: AACC, 1972. Cap.1, p.1-15.
- ALI, N.; PANDYA, A.C. Basic concept of parboiling of paddy. *Journal Agricultural Engineering Research*, London, v.19, n.6, p.111-115, 1974.
- ALI, S.Z.; BHATTACHARYA, K.R. Starch retrogradation and damage in parboiled rice and flaked rice. *Die Starke*, v.28, n.7, p.233-240, 1976.
- AMATO, G.W. Método para determinação de grãos não-gelatinizados. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.41, n.377, p.14-16, 1988.
- AMATO, G.W.; SILVEIRA FILHO, S. Parboilizado: Importância e Perspectivas. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.41, n.382, p.9-11, 1988.
- ANTHONI RAJ, S.; VENKATESAN, V.; SINGARAVADIVEL, K.; VASAN, B.S. Improvement in the conventional parboiling of rice through prevention of husk opening. *Journal of Food Science and Technology*, Mysore, v.18, p.252, 1981.
- ANTONIO, A.A.; JULIANO, B.O. Amylose content and puffed volume of parboiled rice. *Journal of Food Science*, Chicago, v.38, n.5, p.915-916, 1973.
- ARNT, M. Origem e desenvolvimento do arroz parboilizado. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.30, n.300, p.21-22, 1977.
- BECHTEL, D.B.; POMERANZ, Y. The rice kernel. In: POMERANZ, Y. *Advance in Cereal Science and Technology*. St. Paul: AACC, 1980. v.3, p.73-109.
- BHATTACHARYA, K.R.; INDUDHARA SWAMY, Y.M. Conditions of drying parboiled paddy for optimum milling quality. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v.44, p.592-600, 1967.



- BHATTACHARYA, K.R. Parboiling of rice. In: JULIANO, B.O., (ed.) *Rice Chemistry and Technology*. St. Paul: AACC, 1985. p.289-348.
- BHATTACHARYA, K.R.; SUBBA RAO, P.V. Effect of processing conditions on quality of parboiling rice. *Journal Agricultural of Food Chemistry*, New York, v.14, n.15, p.476-479, 1966.
- BROCKINGTON, S.F.; KELLY, V.J. Rice breakfast cereals and instant foods. In: HOUSTON, D.F., (ed.). *Rice Chemistry and Technology*. St. Paul:AACC, 1972. p.433-448.
- BROWN, G.E.; FARKAS, D.F.; MARCHENA, E.S. Centrifugal fluidized bed - blanches, dries and puffs piece - form foods. *Food Tecnology*, Chicago, v.26, n.12, p.23-31. Dec. 1972.
- CARVALHO, J.L.V.; AMATO, G.W.; MAZZARI, M.R.; GERMANI, R. Retenção de vitaminas B1 e B2 em arroz parboilizado processado em autoclave e em estufa no Brasil. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.45, n.403, p.12-14, jul/ago, 1992 (EXPOINTER).
- CHANDRASEKHAR, P.R.; CHATTOPADHYAY, P.K. Heat transfer during fluidized bed puffing of rice grains. *Journal of Food Process Engineering*, Westport, v.11, n.2, p.147-157, 1989.
- CHINNASWAMY, R.; BHATTACHARYA, K.R. Pressure parboiled rice: A new base for expanded rice. *Journal of Food Science and Technology*, Mysore, v.23, n.14, p.197-202, 1986.
- CHINNASWAMY, R.; BHATTACHARYA, K.R. Relationship between amylose content and expansion characteristics of parboiled rice. *Journal of Cereal Science*, London, v.2, p.273-279, 1984.
- CHINNASWAMY, R.; BHATTACHARYA, K.R. Studies on expanded rice. optimum processing conditions. *Journal of Food Science*, Chicago, v.48, n.6, p.1604-1608, 1983a.
- CHINNASWAMY, R.; BHATTACHARYA, K.R. Studies on expanded rice. Physicochemical basis of varietal differences. *Journal of Food Science*, Chicago, v.48, n.6, p.1600-1603, 1983b.
- CHINNASWAMY, R.; UNNIKRISHNAN, K.R.; BHATTACHARYA, K.R. Rheological properties of certain processed rice products. *Starch/Staerke*, Deerfild Beach, v.37, n.3, p.99-103, 1985.
- CLARK, J.P. Texturization processes in the cereal foods industry *Food Technology*, Chicago, v.40, n.3, p.91-93, 1986.
- DAS, H.; SRIVASTAV, P.P. Surface heat transfer coefficient of rice puffed with sand. *Journal of Food Science and Technology*, Mysore, v.26, n.1, p.26-28, 1989.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
50 EAST LEXINGTON AVENUE
NEW YORK, N. Y. 10017
LONDON: ROUTLEDGE Kegan Paul
1985

- DUSI, D.A. Características de hidratação de arroz (*Oryza sativa*, L) em casca, cultivar Empasc 101, e o efeito do método de gelatinização sobre o valor nutricional. Viçosa:UFV, 1982. 52p. (Tese- Mestrado em Engenharia Agrícola).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão. A pesquisa de arroz no Brasil nos anos 80: avaliação crítica dos principais resultados. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 4, Goiânia, 1994.
- ESKEW, R.K.; CORDING Jr., J.; SULLIVAN, J.F. Explosive puffing *Food Engineering*, Philadelphia, v.35, n.4, p.91-92, 1963.
- FAST, R.B. Breakfast cereals: processed grains for human consumption. *Cereal Foods World*, St. Paul, v.32, n.3, p.241-242, 244, 1987.
- FONSECA, H.; SOAVE, J.; AZZINI, L.E.; BANZATTO, N.V.; CAMARGO, O. B.A. Arroz - Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: FEALQ-ESALQ-CIC, [19--]. v.2, 170p.
- GARIBOLDI, F. Parboiled rice. In: HOUSTON, D.F., (ed.). *Rice Chemistry and Tecnology*, St. Paul: AACC, 1972. p.358-380.
- GOODMAN, D.E.; RAO, R.M. Amylose content and puffed volume of gelatinized rice. *Journal of Food Science*, Chicago, v.49, n.4, p.1204, 1984.
- GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Estudo da água de maceração de arroz a 60 C em diferentes condições de manejo. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.47, n.414, p.6-10, 1994.
- HALICK, J.V.; BEACHELL, H.M.; STANSEL, J.W.; KRAMER, H.H. A note on the determination of gelatinization temperature of rice varieties. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v.37, n.5, p.670-672, 1960.
- HEILAND, W.K.; SULLIVAN, J.F.; KONSTANCE, R.P; CRAIG Jr., J.C.; CORDING, J.; ACETO, N.C. A continuous explosion puffing system *Food Technology*, Chicago, v.31, n.11, p.32-33,36, 1977.
- HERZOG, A. Arroz parboilizado - seu significado e importância. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.30, n.302, p.10-14, set/out, 1977.
- HODGE, J.E.; OSMAN, E.M. Carboidrates. In: FENNEMA, O.R., ed. *Principles of Food Science*. New York: Marcel Dekker, 1976. v.1, Cap.3, p.41-138.
- HORWITZ, W., (ed.). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15th ed. Washington: AOAC, 1990. v.2, 1298p.

THE UNIVERSITY OF MICHIGAN LIBRARY
ANN ARBOR, MICHIGAN 48106-1000
SERIALS ACQUISITION DEPARTMENT
300 NORTH ZEEB ROAD
ANN ARBOR, MI 48106-1000
TEL: 734 763 5000
FAX: 734 763 5000
WWW: WWW.LIBRARY.MICHIGAN.EDU

- HOUSTON, D.F. Higrscopic equilibrium of brown rice. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v.29, p.71-72, 1952.
- HSIEH, F.; HUFF, H.E.; PENG, I.C.; MAREK, S.W. Puffing of rice cakes as influenced by tempering and heating conditions. *Journal of Food Science*, Chicago, v.54, n.5, p.1310-1312, 1989.
- HUI, Y.H. *Encyclopedia of Food Science and Tecnology*. New York: Interscience Publication John Wiley & Sons, 1992. v.4, p.2264-2284.
- INGLETT, G.E. Effects of refining operations on cereals. In: HARRIS, R.S.; KARMAS, E. (eds.). *Nutritional evaluation of Food Processing*. Westport: AVI. 1977. p.139-158.
- JULIANO, B.O.; SAKURAI, J. Miscellaneous rice products. In: JULIANO, B.O., (ed.). *Rice Chemistry and Tecnology*. St. Paul: AACC, 1985.
- KENT, N.L. In: *Tecnology of Cereals*. 3.ed. Oxford: Pergamon Press. 1983. p.184-191.
- KONSTANCE, R.P.; SULLIVAN, J.F.; TALLEY, F.B.; CALHOUN, M.J.; CRAIG Jr., J.C. Flavour and storage stability of explosion puffed potatoes - autoxidation. *Journal of Food Science*, Chicago, v.43, n.2, p.411, 1978.
- KOZEMPEL, M.F.; SULLIVAN, J.F.; CRAIG Jr., J.C.; KONSTANCE, R.P. Explosion puffing of fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, Chicago, v.54, n.3, p.772-773, 1989.
- LUH, B.S. *Rice Production and Utilization*. Westport: AVI Publishing, 1980. 925p.
- LUH, B.S.; BHUMIRATANA, A. Breakfast rice cereals and baby foods In: LUH, B.S., (ed.). *Rice Production & Utilization*. Westport: AVI, 1980. Cap.18, p.622-649.
- LUH, B.S.; MICKUS, R.R. Parboiled rice. In: LUH, B.S. *Rice Production and utilization*. Westport: AVI, 1980. p.501-542.
- LUH, J.J.; CHANG, T. Rice in its temporal and spatial perspectives. In: LUH, B.S., (ed.). *Rice Production and Utilization*. Westport: AVI, 1980. p.1-74.
- MÁQUINAS SUZUKI S.A. *Testador de Arroz Suzuki, instruções para uso*. São Paulo, 1983.
- MATZ, S.A. *Snack Food Tecnology*. Westport: AVI, 1976. 349p.
- MECHAN, D.K.; KESTER, E.B.; PENSE, J.W. Parboiling characteristic of California medium grain in rice. *Food Technology*, Chicago, v.15, n.11, p.475-479. Nov. 1961.

- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Portaria n.269, de 17 de novembro de 1988. Norma de identificação, qualidade, embalagem e apresentação do arroz. Diário Oficial do Brasil, Brasília, 22 nov. 1988. p.22531-22535.
- MURUGESAN, G.; BHATTACHARYA, K.P. Studies on puffed rice. I. Effect of processing conditions. *Journal of Food Science and Technology*, Mysore, v.23, n.4, p.197-202, 1986.
- MURUGESAN, G.; BHATTACHARYA, K.R. Rheological and hidration properties of popped rice. *Journal of Texture Studies*, Connecticut, v.20, n.3, p.325-333, 1989.
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Boletín Trimestral FAO de Estadísticas. Roma, 1994. v.7, n.1, p.21.
- PATTERSON, G.; BRAY, W.J. The puffing machine for quick cooking of cereals and legumes. Davis: Meals for Millions/Freedom from Hunger Foudation, 1985. 28p.
- PAYNE, F.A.; TARABA, J.L.; SAPUTRA, D. A review of puffing process for expansion of biological products. *Journal of Food Engineering*, England, v.10, p.183-197, 1989.
- PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. São Paulo: Nobel, 1982. 430p.
- RAGHAVENDRA RAO, S.N.; JULIANO, B.O. Effect of parboiling on some physicochemical properties of rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.18, n.2, p.289-294, 1970.
- ROBERTS, R.L.; HOUSTON, D.F.; KESTER, E.B. Expanded rice product - a new use for parboiled rice. *Food Tecnology*, Chicago, v.5, n.9, p.361-363, Sept. 1951.
- ROBERTS, R.L.; POTTER, A.L.; KESTER, E.B.; KENEASTER, K.K. Effect of processing conditions on the expanded volume, color and soluble starch of parboiled rice. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v.31, n.2, p.121-129, 1954.
- ROOS, Y.H. Phase transitions and transformations in food systems In: HELDMAN, D.R.; LUND, D.B., (eds.). *Handbook of Food Engineering*. New York: Marcel Dekker, 1992. 756p.
- SALUNKHE, D.K.; CHAVAN, J.K.; KADAN, S.S. *Postharvest Biotechnology of Cereals*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1985. Cap.5, 208p.
- SESAY, K.; VERMA, L.R. Rice parboiling for developing countries. In: Le MAGUER, M.; JELEN, P., (eds.). *Food Engineering and Process Applications*. New York: Elsevier Applied Science Publishers. v.1, Transport Fenomena, 1986. 642p.

- SILVA, P.D. da Arroz parboilizado. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.33, n.319, p.40-49, abr. 1980.
- SRINIVAS, T.; DESIKACHAR, H.S.R. Factors affecting the puffing quality of paddy. *Journal of Science of the Food and Agriculture*, London, v.24, n.8, p.883-891, 1973.
- SULLIVAN, J.F.; CRAIG Jr., J.C. The development of explosion puffing. *Food Technology*, Chicago, v.38, n.2, p.52-55,131, 1984.
- SULLIVAN, J.F.; CRAIG Jr., J.C.; KONSTANCE, R.P.; EGOVILLE, M.J.; ACETO, N.C. Continuous explosion - puffing of apples. *Journal of Food Science*, Chicago, v.45, n.7, p.1550, 1980.
- SULLIVAN, J.F.; KONSTANCE, R.P.; ACETO, N.C.; HEILAND, W.K.; CRAIG Jr., J.C. Continuous explosion - puffing of potatoes. *Journal of Food Science*, Chicago, v.42, n.6, p.1462-1463, 1977.
- SULLIVAN, J.F.; KONSTANCE, R.P.; DELLAMONICA, E.S.; HEILAND, W.K.; CRAIG Jr., J.C. Carrot - dehydration - optimization process studies on the explosion - puffing process. *Journal of Food Science*, Chicago, v.46, n.5, p.1537, 1981.
- UHLIG, C.W.; HEBERLE, E. Arroz parboilizado x arroz macerado. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.32, n.311, p.54-56. jan/fev, 1979.
- UHLIG, C.W.; HEBERLE, E. Arroz parboilizado. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.33, n.319, p.40-49, 1977.
- VELUPILLAI, L.; VERMA, L.R. Effects of drying and tempering on quality of parboiled rice. In: Le MAGUER, M.; JELEN, P., (eds.). *Food Engineering and Process Applications*. New York: Elsevier Applied Science Publishers. v.2, Unit Operations, 1986. 613p.
- VILLAREAL, C.P.; JULIANO, B.O. Varietal differences in quality characteristics of puffed rices. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v.64, n.5, p.337-342, Sept/Oct, 1987.
- VITTI, P.; LEITÃO, R.F.F.; PIZZINATO, A. Aferventação de variedades de arroz. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.6, n.1, p.103-119, 1975.
- WHISTLER, R.L.; PASCHALL, E.F., (eds.). *Starch: Chemistry and Technology*. New York: Academic Press, 1965. 2V.

ANEXOS

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1A.	Resumo das Análises de Variância do efeito do tratamento térmico no beneficiamento do arroz	94
2A	Resumo das Análises de Variância para a Pipoca de Arroz	95
3A	Resumo das Análises de Variância para o Arroz Puffed	96

U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION

TABELA 1A. Resumo das Análises de Variância do efeito do tratamento térmico no beneficiamento do arroz

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio				
		Teor de umidade arroz parboilizado beneficiado	% grãos inteiros no beneficiamento	% grãos quebrados no beneficiamento	% farelo no beneficiamento	% casca no beneficiamento
V	2	0.0920 **	216.4469 **	195.9245 **	0.6959 *	0.8826
TP	2	10.1529 **	149.3969 **	135.4234 **	1.1615 **	1.4682 *
V x TP	4	0.0088	19.6138 **	17.9811 **	0.5715 *	1.4842 **
Resíduo	18	0.0045	0.1099	0.1744	0.1878	0.2804
CV (%)		0.57	0.56	4.43	5.36	2.31

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

V - Variedades de arroz

TP - Temperatura de parboilização (°C)

TABELA 2A. Resumo das Análises de Variância para a Pipoca de Arroz

Causas da Variação		Quadrado Médio - Pipoca de Arroz						
GL	Teor Unidade da pipoca arroz (%bu)	Volume Inicial Aparente (ml)	Volume Final Aparente (ml)	Razão de Expansão Aparente	Volume Inicial Especifico (ml)	Volume Final Especifico (ml)	Razão de Expansão Especifica	
V	2	7.7720 **	15.47993 **	2541.2017 **	70.0973 **	2.520006 **	658.1867 **	84.3949 **
TP	2	1.8642 **	0.00001	161.3394 **	3.8513 **	0.000003	32.2300 **	3.9654 **
TE	2	0.2438 **	0.00001	11.6002 **	0.4145 **	0.000003	1.9726	0.3130
V x TP	4	0.2594 **	0.00003	18.6599 **	0.5058 **	0.000001	4.5181 **	0.4503 *
V x TE	4	0.0691	0.00003	3.4001	0.0909	0.000001	0.6171	0.0456
TP x TE	4	0.1050 *	0.00003	0.7912	0.0539	0.000001	0.5404	0.0600
V x TP x TE	8	0.0958 *	0.00002	2.0840	0.0567	0.000001	1.0522	0.1248
Resíduo	54	0.0408	0.00667	2.2985	0.0506	0.003704	1.1999	0.1421
CV (%)		6.44	1.21	6.74	3.41	1.98	10.15	10.58

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

V - Variedades de arroz

TP - Temperatura de Parboilização (°C)

TE - Temperatura de Expansão (°C)

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

A