

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA “ELISEU MACIEL”
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGROINDUSTRIAL**



**EFEITOS DO TEMPO DE ENCHARCAMENTO SOBRE PARÂMETROS
DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA E NUTRICIONAL DE ARROZ
PARBOILIZADO**

**Gilberto Arcanjo Fagundes
Químico Industrial de Alimentos**

**PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
2010**

GILBERTO ARCANJO FAGUNDES
Químico Industrial de Alimentos

**EFEITOS DO TEMPO DE ENCHARCAMENTO SOBRE PARÂMETROS
DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA E NUTRICIONAL DE ARROZ
PARBOILIZADO**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia Agroindustrial
da Universidade Federal de Pelotas,
como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Ciência e
Tecnologia Agroindustrial.

Comitê de Orientação:
Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (Orientador)
Prof. Dr. Paulo Romeu Gonçalves

PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
2010

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

F156e Fagundes, Gilberto Arcanjo

Efeitos do tempo de encharcamento sobre parâmetros de avaliação tecnológica e nutricional de arroz parboilizado / Gilberto Arcanjo Fagundes ; orientador Moacir Cardoso Elias; co-orientador Paulo Romeu Gonçalves - Pelotas, 2010.-74f. ; il.- Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

1.Oryza sativa 2.Perfil lipídico 3.Hidratação 4.Parboilização
5.Gorizanol I.Elias, Moacir Cardoso(orientador) II .Título.

CDD 633.18

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (Orientador) – DCTA – FAEM – UFPEL

Prof. Dr. Fabrizio da Fonseca Barbosa – DCA – UFPEL

Prof. Dr. Márcio Paim Mariot – CAVG / IFSUL

Aos meus pais, Valdir José e Lúcia;
Aos meus irmãos, Jair Antonio e Jane Maria; e
Ao meu sobrinho, Jeferson Luis, por serem meus exemplos de vida
e minhas motivações para uma vida melhor.

DEDICO

Agradecimentos

A concretização desta dissertação só foi possível com o auxílio direto ou indireto, de vários amigos e colegas. Agradeço:

- Ao Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias, pela orientação e amizade.
- Aos colegas do LABGRÃOS, Ana Paula Wally, Franciela Spier, Fernanda de Moura, Flávia Paiva, Lúcia Borges, Daniel Rutz e Diego Zeni, pelo convívio, amizade e auxílio no desenvolvimento experimental.
- Aos professores Paulo Gonçalves e Maria Regina Rodrigues, e aos alunos do Departamento de Química Orgânica, Gabriela, Dalila e Marco Aurélio pelas contribuições técnicas no trabalho.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.
- Às minhas ex-professoras, mas sempre amigas, Ângela Fiorentini e Vera Klajn, pela amizade e pelas caronas de idas e vindas entre Santa Rosa e Pelotas, encurtando a distância e a saudade dos familiares e amigos.
- Aos amigos, Ronald, Jerri, Analise, Zeca, Bruna e Cristiano pela amizade e hospedagens quando em trânsito.
- Aos amigos feitos em Pelotas, em especial ao Fábio, Adriana, Helena, Eduardo, Luciane, Clarissa e Márcio pelo apoio e convívio.
- À minha família, em especial ao meu irmão, por todo o caminho que trilhou e por ser o exemplo que sempre procurei seguir.

A todos, o meu sincero muito obrigado!

RESUMO

FAGUNDES, GILBERTO ARCANJO. **EFEITOS DO TEMPO DE ENCHARCAMENTO SOBRE PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA E NUTRICIONAL DE ARROZ PARBOILIZADO.** 2010. 74f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O arroz, segundo cereal mais produzido no mundo, é importante para o Brasil, onde é consumido por mais de 90% dos brasileiros. No processo de parboilização há migração de nutrientes do gérmen e das camadas periféricas para o interior da cariopse, aumento dos rendimentos industriais, da vida de prateleira e do valor nutritivo do grão. Na fração lipídica é encontrado o γ -orizanol, um composto nutracêutico de alta atividade antioxidante e com aplicações farmacológicas, cosméticas e alimentícias. O expressivo aumento no consumo de arroz parboilizado tem contribuído para a busca de conhecimentos sobre o processo de parboilização e os benefícios conferidos por ele. Objetivou-se, com o trabalho, avaliar efeitos do beneficiamento industrial e do tempo de encharcamento na parboilização sobre parâmetros tecnológicos, avaliação de qualidade nutricional, atributos sensoriais, perfil lipídico e γ -orizanol. Foram utilizados grãos da classe longo fino, produzidos em sistema irrigado. As amostras de óleos foram derivatizadas com $\text{BF}_3\text{-MeOH}$ e analisadas por cromatografia gasosa. A fração γ -orizanol foi analisada em espectrômetro de massa com ionização por eletronebulização (ESI). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados mostram que a parboilização promove alterações nos atributos sensoriais, aumentos de rendimentos de grãos inteiros, das concentrações dos teores de proteínas, fibras, óleo e minerais nos grãos polidos, e da firmeza, da gomosidade e da mastigabilidade dos grãos cozidos, com reduções da adesividade e dos parâmetros do perfil branquimétrico dos grãos. O aumento do tempo de hidratação não altera o perfil da fração γ -orizanol e nem o perfil lipídico do óleo de arroz, mas promove alterações nos atributos sensoriais, como aumento na adesividade e reduções na mastigabilidade, na gomosidade e na firmeza dos grãos cozidos e nos parâmetros do perfil branquimétrico.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; parboilização; hidratação; perfil lipídico; γ -orizanol

ABSTRACT

FAGUNDES, GILBERTO ARCANJO. **EFFECTS OF HYDRATATION TIME ON EVALUATION TECHNOLOGICAL AND NUTRITIONAL PARAMETERS IN PARBOILED RICE.** 2010. 74f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Rice, second most produced cereal in the world, it's important to Brazil, where it is consumed by over 90% of Brazilians. In parboiling process occurs migration of nutrients from germ and peripheral layers inside the caryopsis, higher incomes industrial, shelf life and nutritional value of grain. In the lipid fraction is found γ -oryzanol, a nutraceutical compound with high antioxidant activity and pharmaceutical applications, cosmetic and food industry. Significant increase in parboiled rice consumption contributes to the search for knowledge about parboiling process and benefits conferred by him. The aim of this study was to evaluate effects from industrial processing and hydration time in parboiling on technological parameters, evaluation of nutritional quality, sensory attributes, lipid profile and γ -oryzanol. Were used long thin class grains, produced in the irrigation system. The oil samples were derivatized using $\text{BF}_3\text{-MeOH}$ and analyzed by gas chromatography. The γ -oryzanol fraction was analyzed by mass spectrometry with electronebulization (ESI). The data were analyzed by variance analysis and means compared by Tukey test at 5% significance level. The results show that parboiling causes changes in the attributes sensory, increase whole grains yields, concentrations of protein, fiber, oil and ashes in the polished grains, and firmness, chewiness and gumminess of cooked rice grains, with reduction of adhesiveness and profile whiteness. The increase of hydration time does not change γ -oryzanol fraction nor lipid profile of rice oil, but promotes changes in attributes sensory, as increase in the adhesiveness and reduction in the chewiness, gumminess and firmness of cooked grains and at whiteness profile.

Keywords: *Oryza sativa*; parboiling; hydration; lipids profile; γ -oryzanol

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma genérico do processo de beneficiamento de arroz branco polido e parboilizado.....	24
Figura 2	Fórmula estrutural dos compostos majoritários da fração γ -orizanol	28
Figura 3	Ficha para avaliação sensorial de arroz cozido.....	37
Figura 4	Isotermas de hidratação de arroz a 60, 65 e 70°C.....	41
Figura 5	Rendimento volumétrico de arroz branco polido.....	47
Figura 6	Rendimento volumétrico de arroz parboilizado.....	48
Figura 7	Rendimento gravimétrico de arroz branco polido.....	48
Figura 8	Rendimento gravimétrico de arroz parboilizado.....	48
Figura 9	Cromatograma dos ácidos graxos usados como padrões.....	51
Figura 10	Cromatograma dos ácidos graxos do óleo de arroz branco polido....	52
Figura 11	Cromatograma dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizado.....	52
Figura 12	Espectrograma dos constituintes majoritários do γ -orizanol usado como padrões, e suas estruturas.....	54
Figura 13	Espectrograma dos constituintes majoritários do γ -orizanol do óleo de arroz branco polido.....	55
Figura 14	Espectrograma dos constituintes majoritários do γ -orizanol do óleo de arroz parboilizado polido.....	55

Figura 15	Rendimento volumétrico do arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.....	60
Figura 16	Rendimento gravimétrico do arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.....	60
Figura 17	Cromatograma dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C por 4h.....	63
Figura 18	Cromatograma dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C por 5h.....	63
Figura 19	Cromatograma dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C por 6h.....	64
Figura 20	Espectrograma dos constituintes majoritários do γ -orizanol do óleo de arroz branco parboilizado, com hidratação a 65°C por 4h.....	66
Figura 21	Espectrograma dos constituintes majoritários do γ -orizanol do óleo de arroz branco parboilizado, com hidratação a 65°C por 5h.....	66
Figura 22	Espectrograma dos constituintes majoritários do γ -orizanol do óleo de arroz branco parboilizado, com hidratação a 65°C por 6h.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição centesimal do arroz integral, branco polido e parboilizado polido.....	22
Tabela 2	Fórmula molecular e nomenclatura dos ácidos graxos do arroz.....	27
Tabela 3	Composição em ácidos graxos do óleo de arroz.....	27
Tabela 4	Delineamento do Experimento I.....	31
Tabela 5	Delineamento do Experimento II.....	32
Tabela 6	Rendimento de grãos inteiros de arroz branco e parboilizado.....	42
Tabela 7	Composição centesimal de arroz branco e parboilizado.....	44
Tabela 8	Perfil branquimétrico de arroz branco polido e parboilizado.....	45
Tabela 9	Perfil texturométrico de arroz branco polido e parboilizado.....	46
Tabela 10	Tempo de cocção de arroz branco polido e parboilizado.....	47
Tabela 11	Análise sensorial de arroz branco polido e parboilizado.....	50
Tabela 12	Padrões de ácidos graxos usados na caracterização do óleo de arroz branco polido e parboilizado.....	51
Tabela 13	Concentração de ácidos graxos no óleo de arroz branco polido e parboilizado.....	53
Tabela 14	Compostos majoritários da fração γ -oryzanol presente no óleo de arroz branco polido e parboilizado.....	56

Tabela 15	Perfil branquimétrico de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas, através do branquímetro Zaccaria.....	57
Tabela 16	Perfil branquimétrico de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas, através do colorímetro Minolta.....	57
Tabela 17	Perfil texturométrico de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.....	58
Tabela 18	Tempo de cocção de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.....	59
Tabela 19	Análise sensorial de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.....	61
Tabela 20	Concentração dos ácidos graxos no óleo de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.....	64
Tabela 21	Compostos majoritários da fração γ -oryzanol presentes no óleo de arroz parboilizado, com hidratação a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.....	67

SUMÁRIO

RESUMO.....	06
ABSTRACT.....	07
LISTA DE FIGURAS.....	08
LISTA DE TABELAS.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISAO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Aspectos evolutivos e produção de arroz.....	16
2.2 Consumo, qualidade e composição química de arroz.....	18
2.3 Industrialização e beneficiamento do arroz.....	21
2.4 Fração lipídica do arroz.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Material.....	28
3.1.1 Preparo das amostras.....	28
3.2 Métodos.....	29
3.2.1 Delineamento experimental.....	29
3.2.1.1 Experimento I.....	29
3.2.1.2 Experimento II.....	30
3.3 Operações de beneficiamento.....	30
3.3.1 Processo convencional.....	30
3.3.2 Processo de parboilização.....	31
3.4 Avaliações.....	32
3.4.1 Composição centesimal.....	32
3.4.1.1 Umidade.....	32
3.4.1.2 Proteína bruta.....	32
3.4.1.3 Extrato etéreo.....	33
3.4.1.4 Cinzas.....	33
3.4.1.5 Fibras.....	33
3.4.1.6 Carboidratos.....	33
3.4.2 Parâmetros de cocção.....	33
3.4.2.1 Tempo de cocção.....	33
3.4.2.2 Rendimento de cocção.....	33
3.4.3 Avaliação sensorial	34
3.4.4 Perfil texturométrico.....	35
3.4.5 Perfil branquimétrico e colorimétrico.....	36

3.4.6 Perfil lipídico.....	36
3.4.6.1 Derivatização dos ácidos graxos.....	36
3.4.6.2 Cromatografia.....	37
3.4.6.3 γ -orizanol.....	37
3.4.7 Análise estatística.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Experimento I.....	40
4.1.1 Desempenho industrial.....	40
4.1.2 Composição centesimal.....	41
4.1.3 Perfil branquimétrico.....	43
4.1.4 Perfil textuométrico.....	44
4.1.5 Parâmetros de cocção.....	45
4.1.6 Avaliação sensorial.....	47
4.1.7 Perfil lipídico.....	49
4.1.8 Perfil do γ -orizanol.....	52
4.2 Experimento II.....	55
4.2.1 Perfil branquimétrico.....	55
4.2.2 Perfil textuométrico.....	56
4.2.3 Parâmetros de cocção.....	57
4.2.4 Avaliação sensorial.....	59
4.2.5 Perfil lipídico.....	60
4.2.6 Perfil do γ -orizanol.....	63
5. CONCLUSÕES.....	66
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A partir do final do século passado, tem ocorrido constantes mudanças nos hábitos alimentares, de um lado estão as pessoas que passaram a ver os alimentos como carreadores de bem-estar, com redução de riscos e doenças e veículos para uma melhor qualidade de vida. Por outro lado, estão locadas as pessoas que em função de suas atividades não possuem ou não destinam um tempo hábil para uma alimentação correta e saudável, recorrendo aos alimentos de fácil e rápido preparo, como os conhecidos *fast food*.

O arroz é o segundo cereal mais produzido no mundo e está presente na mesa de dois terços da população mundial, em suas mais variadas formas de processamento. O Brasil é o nono maior produtor de arroz (FAO, 2010), e o maior entre os países não orientais. A produção nacional é destinada quase totalmente para consumo interno, sendo que mais de 60% dessa produção ocorre no Rio Grande do Sul.

É um alimento básico na dieta da população brasileira, onde mais de 94% da população, englobando todas as classes sociais, o consome pelo menos uma vez por semana, principalmente na forma de arroz branco polido, mais de 70%, seguido pelo arroz parboilizado, 25%, e arroz integral, de 3 a 5% (ELIAS et al., 2005; BEHRENS et al., 2007).

No processo de parboilização, que ocorre antes das etapas de descascamento, polimento e seleção dos grãos, é aplicado tratamento hidrotérmico nos grãos de arroz em casca, realizado em três operações unitárias: encharcamento, autoclavagem (nas indústrias mais tecnificadas) e secagem. Indústrias menos tecnificadas utilizam estufa ou forno para buscar o efeito simultâneo das duas últimas (ELIAS, 2007).

Como consequência dessas operações, há migração de minerais, vitaminas e outros compostos hidrossolúveis junto com a água para o interior do grão, havendo também alguma lixiviação. As posteriores gelatinização e retrogradação do amido reestruturam os grãos, aumentando a retenção dos nutrientes citados, reduzindo as quebras e as perdas no polimento, o que aumenta os rendimentos industriais, a vida de prateleira e o valor nutritivo do arroz, em comparação com o processo convencional de industrialização do arroz branco (AMATO e ELIAS, 2005; BEHRENS et al., 2007; WANG et al., 2008; ABIAP, 2010).

O óleo de arroz tem na composição a predominância dos ácidos palmítico, esteárico, oléico, linoléico e ácido linolênico. A maior parte está localizada no germén e nas camadas mais periféricas que são removidas no farelo na operação de polimento (KIM et al., 2006).

As propriedades nutracêuticas do arroz são creditadas ao óleo, principalmente a fração insaponificável, onde são encontrados compostos que apresentam benefícios nutricionais, como os tocotrienóis, tocoferóis e γ -orizanol, os quais apresentam atividade antioxidante, efeito hipocolesterolêmico, entre outros. O γ -orizanol é uma mistura de ésteres do ácido ferúlico com esteróis e alcoóis triterpênicos, que tem aplicações nutracêuticas, farmacológicas e em formulações de cosmético, usado como antioxidante natural em alimentos, bebidas e cosméticos (SCAVARIELLO e ARELLANO, 1998).

Os expressivos aumentos de consumo e exportação de arroz parboilizado nos últimos anos, tem contribuído para a crescente busca de conhecimentos sobre o processo de parboilização.

Objetivou-se, com o trabalho, avaliar efeitos do processo de beneficiamento industrial e do tempo de encharcamento, sobre os parâmetros tecnológicos, de qualidade nutricional, atributos sensoriais, perfil lipídico e γ -orizanol em comparação com o processo convencional de beneficiamento industrial de arroz polido branco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O arroz é um cereal da família das gramíneas, constituído por sete espécies, *Oryza barthii*, *Oryza glaberrima*, *Oryza latifolia*, *Oryza longistaminata*, *Oryza punctata*, *Oryza rufipogon* e *Oryza sativa*.

Segundo a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010), o arroz é o alimento mais importante para a segurança alimentar da humanidade, tanto pelo volume produzido quanto pelo seu excelente balanceamento nutricional. Por ser produzido e consumido em todos os continentes é considerado o alimento mestre no combate a fome (GOMES *et al*, 2004).

2.1 Aspectos evolutivos e produção de arroz

No mundo existe mais de 240.000 cultivares registrados, adaptadas a condições de clima, características do solo e das diferentes culturas. Desta variação surgem grãos com diversas características de temperatura de gelatinização, textura, estabilidade e viscosidade (IRGA, 2009).

O arroz está presente na mesa de dois terços da população mundial, constituindo-se no principal alimento de vários países, e o seu cultivo é tão antigo quanto a própria civilização. Cerimônias civis, sociais e religiosas de muitos povos do oriente atestam a sua importância nutricional e cultural. Por ser símbolo da fecundidade, na Ásia o arroz sempre acompanhou os recém-casados nos matrimônios sendo os grãos atirados sobre os casais ao final da cerimônia.

Tendo como berço milenar a Ásia, o arroz foi levado pelos árabes à Europa, sendo batizado na Espanha como "aruz". No Brasil, a confirmação de registros feitos por Américo Vespúcio constatou a presença do cereal em grandes áreas alagadiças no Amazonas. Historiadores afirmam que o arroz já se fazia presente no Brasil muito

antes da descoberta, por espécies selvagens, contudo esse grão não era valorizado por ser da alimentação diária dos indígenas.

A prática da orizicultura no Brasil de forma organizada e racional era notada em meados do Século 18, com a vinda dos colonizadores portugueses. A partir deste período é que o arroz polido conquistaria lugar na mesa dos brasileiros, na sua mistura inigualável com o feijão.

A forma típica de comê-lo era o arroz cozido em água e sal, úmido e compacto. O arroz soltinho e seco, presente nas casas mais nobres, por isso chamado de "arroz de branco", é resultado de uma fórmula posterior, que não dispensava os cuidados na fervura e no momento certo de interromper a cocção.

Embora tivesse cultura descomplicada, o arroz ao contrário do feijão, exigia beneficiamento e com isso em 1766 houve a autorização para a instalação da primeira descascadora de arroz no Rio de Janeiro, com isso as famílias não demoraram a incorporar no cardápio o arroz-doce e outros pratos.

Para garantir a posição de maior produtor ocidental, o Brasil utiliza quatro sistemas de cultivo, introduzidos e adaptados de acordo com as condições econômicas e topográficas de cada região, baseados principalmente na disponibilidade e no consumo de água. São eles: 1) arroz de sequeiro, que ocupa a maior área; 2) arroz irrigado por inundação controlada, o que apresenta maior rendimento; 3) arroz irrigado por inundação natural e 4) arroz de baixada úmida.

Apesar da produtividade de arroz ter aumentado nas safras anteriores, estima-se que na safra 2009/10 haja redução da produtividade em torno de 11,2% em relação à safra anterior, que foi de 7.150kg/ha (CONAB, 2010). Essa redução segundo especialistas é considerada normal porque a cifra colhida na safra passada foi consequência da produtividade recorde do Rio Grande do Sul, maior estado produtor de arroz da federação, e que nesta safra enfrenta problemas de clima. A expansão do cultivo também está limitada por falta de terras próximas aos mananciais de água ou favoráveis para o uso de irrigação, sendo este tipo de cultivo o responsável pela maior parcela da produção.

Segundo a CONAB (2010), a área cultivada com arroz na safra 2009/10 está em torno de 2.775,1 mil hectares, 3,9% inferior à área cultivada na safra 2008/09 que foi de 2.909 mil hectares. Desse percentual, a redução de 2,4% na área cultivada ocorreu apenas no Rio Grande do Sul, onde a produção deve ser subtraída em 13,3% (CONAB, 2010). Um fator considerável para toda essa redução é

atribuído às condições climáticas adversas que atingiram grande parte do estado, como chuvas, enchentes e enxurradas. Em nível nacional, a produção de arroz na safra 2009/10 está estimada em 11.507,9 mil toneladas, reduzindo 8,7% em relação à safra 2008/09, que foi de 12.602,5 mil toneladas.

2.2 Consumo, qualidade e composição química

A excelente qualidade do arroz produzido no Brasil é devida ao lançamento de variedades que produzem grão da classe longo fino, atendendo a preferência dos consumidores, além de possibilitarem produtividade e bom desempenho de cocção (IRGA, 2010). A parcela majoritária da população brasileira, 94%, consome arroz, pelo menos uma vez na semana, entretanto, a grande maioria dessa população consome diariamente. A preferência dos consumidores é pelo arroz branco polido, representando mais de 70% dos consumidores, seguido pelo arroz parboilizado, 25%, e arroz integral, de 3 a 5% (ELIAS, 2007; ABIAP, 2010).

Para os não apreciadores desse cereal no seu preparo tradicional, já existe no mercado produtos a base de arroz, a exemplo de farinhas mistas para a elaboração de pães, sopas e pizzas (GULARTE et al., 2005); como substituto da gordura em produtos cárneos e lácteos, reduzindo o teor de gordura e valor calórico das formulações; uso de quirera de arroz para aumentar a crocância em empanados; bolos com farinha de arroz, e amido modificado (DIAS et al., 2005). Além disso, a utilização de co-produtos do arroz, como o farelo (com propriedades funcionais), transformam o arroz de um alimento básico, com baixo valor agregado, em uma alternativa de uma cozinha rica, do ponto de vista gastronômico e de valor nutricional (GULARTE et al., 2005).

Em estudo realizado em Gana por Tomlins et al. (2005), os consumidores locais tiveram um alto índice de aceitação sobre o arroz parboilizado importado, em comparação com o produzido no país, demonstrando que diferentes condições no processo de parboilização acarreta diferentes graus de aceitabilidade.

O conteúdo de amilose no arroz é um dos fatores mais importantes de qualidade e que mais influencia a preferência do consumidor. Está diretamente relacionado com o volume de expansão e absorção de água durante o cozimento, com a dureza e a brancura do arroz cozido (JULIANO, 2009).

Frei et al. (2003) mostraram que o consumo de cereais com alto teor de amilose tem maior capacidade de diminuir a resposta glicêmica e retardar o

esvaziamento gastrointestinal do que aqueles com baixo teor de amilose. Esta menor resposta glicêmica tem sido atribuída à formação de complexos entre amilose e lipídios durante o aquecimento, a qual diminui a susceptibilidade à ação das enzimas. Alimentos digeridos lentamente ou que apresentam baixo índice glicêmico têm sido associados com melhora no controle do diabetes e redução dos lipídios sanguíneos.

O consumo de arroz parboilizado aumentou nos últimos anos, passando dos 18,8% em 1998 para os quase 25% atuais, com predominância nos estados do sul do Brasil, representando um consumo *per capita* de 8,4kg/ano do produto (ABIAP, 2010).

A FAO recomenda o consumo do arroz parboilizado em substituição ao branco, visto que a parboilização preserva os seus constituintes nutricionais, além de fornecer 20% da energia e 15% das proteínas necessárias ao homem, destacando-se pela sua fácil digestão.

A proteína do arroz é considerada de boa qualidade, pois contém os oito aminoácidos essenciais à alimentação humana, que associada ao feijão, possibilita uma mistura proteica valiosa (ROSELL et al., 2007).

Segundo dados da literatura, que comparam a composição do arroz integral, parboilizado integral, parboilizado polido e arroz polido, há um enriquecimento de 18% nos teores de cinzas, no arroz parboilizado polido em comparação ao polido não parboilizado, com um alto conteúdo de potássio e fósforo, além de um pequeno decréscimo de manganês, cálcio e zinco, decorrentes da solubilização e migração desses minerais no grão, durante o processo de gelatinização do amido (HEINEMANN et al., 2005).

A composição química dos grãos de arroz pode variar em função desde as características genéticas, passando pelas influências dos fatores ambientais, até as condições de armazenamento e método de beneficiamento empregado, sendo constituído basicamente de casca (22%), endosperma (70%) e farelo (8%) (DORS et al., 2009).

A casca é constituída de celulose (25%), ligninas (30%), pentosanas (15%) e cinzas (21%), sendo a sílica (95%) o mineral predominante (HOSENEY, 1991; AMATO, 2005). No endosperma predomina o amido, representando até 94% do

grão polido, seguido de pequenas proporções de proteína, gordura e fibra (SCHIRMER *et al*, 2005), conforme é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e parboilizado polido.

Constituinte	Tipo de beneficiamento		
	Arroz Integral	Arroz branco polido	Arroz parboilizado polido
Amido total	74,12	87,58	85,08
Proteínas (Nx5,95)	10,46	8,94	9,44
Lipídios	2,52	0,36	0,69
Cinzas	1,15	0,3	0,67
Fibra total	11,76	2,87	4,15
Fibra insolúvel	8,93	1,05	1,63
Fibra solúvel	2,82	1,82	2,52

Fonte: adaptado de DENARDIN, SILVA E STORCK, 2004

O amido é constituído de dois polímeros, amilose e amilopectina. Esses polímeros, em função de aspectos físico-químicos e da sua relação, amilose/amilopectina, podem alterar a digestibilidade, grau de cristalinidade, tipo de processamento e interações com outros constituintes, constituindo-se assim, em amido resistente, principalmente a amilose quando resfriada após a gelatinização, quando é retrogradada (LOBO e SILVA, 2003). O conteúdo de amilose varia de 12 a 35% no arroz normal, enquanto que variedades cerosas contêm um baixo teor de amilose.

No polimento do arroz é separado o farelo, que representa em torno de 10% da massa do grão (De MIRA *et al.*, 2009), sendo rico em pigmento, fibra e nutrientes, com destaque para a proteína, rica em aminoácidos essenciais, e minerais (cálcio, ferro, fósforo, potássio e magnésio), óleo, vitamina A, vitamina E, vitaminas do complexo B, principalmente niacina, tiamina, vitamina B6 e vitamina B12 (PERRETTI *et al.*, 2002; AMANTE *et al.*, 2005).

O farelo de arroz contém um teor variável de óleo (20 a 25%) (GARCIA *et al.*, 2009; FAO, 2010), com predomínio de ácidos graxos insaturados na sua composição (CICERO e GADDI, 2001). Na fase de maturação do grão de arroz, a composição em ácidos graxos é influenciada pela temperatura, especialmente os

ácidos polinsaturados, que diminui a concentração à medida que aumenta a temperatura (KITTA et al., 2005).

Até há poucos anos, o farelo de arroz era tido como rejeito na alimentação humana, em função da quelação de minerais, por parte dos ácidos orgânicos, principalmente o sequestro do cálcio, pelo ácido fítico. Na atualidade, passa a ter importância devido a inúmeros benefícios à saúde, como por exemplo, fixação do ferro, prevenção de cálculos renais, extração do óleo, ingrediente de ração animal e da “multimistura”, nos programas sociais do Brasil (AMANTE et al., 2005), além de servir de matéria-prima para a química fina (AMATO, 2006).

2.3 Industrialização e beneficiamento

Da operação de descascamento resulta o arroz integral. Ao ser polido para remoção do farelo, é obtido o arroz branco. Os grãos também podem ser submetidos à parboilização, podendo ser consumidos na forma integral ou polido. Para a determinação da qualidade e do preço do produto, os principais parâmetros considerados são o rendimento de grãos inteiros, quebrados e com defeitos. Os tipos de métodos de beneficiamento afetam diretamente a porcentagem de grãos inteiros (AMATO e ELIAS, 2005).

Segundo Fagundes et al. (2007), a quebra dos grãos ocorre principalmente durante os processos de descascamento e de polimento, sendo que a maior parte dos grãos quebrados no beneficiamento, já apresentava fissuras antes do processamento.

A parboilização, além dos incrementos nutricionais proporcionados aos grãos, também aumenta significativamente o rendimento de grãos inteiros através da reestruturação interna dos grãos, soldando pequenas fissuras existentes, e conferindo à cariopse, dureza, rigidez e resistência ao trincamento, durante o polimento (PATINDOL et al., 2008).

A Figura 1 apresenta um fluxograma genérico do beneficiamento dos grãos pelo processo convencional de branco polido e também por parboilização.

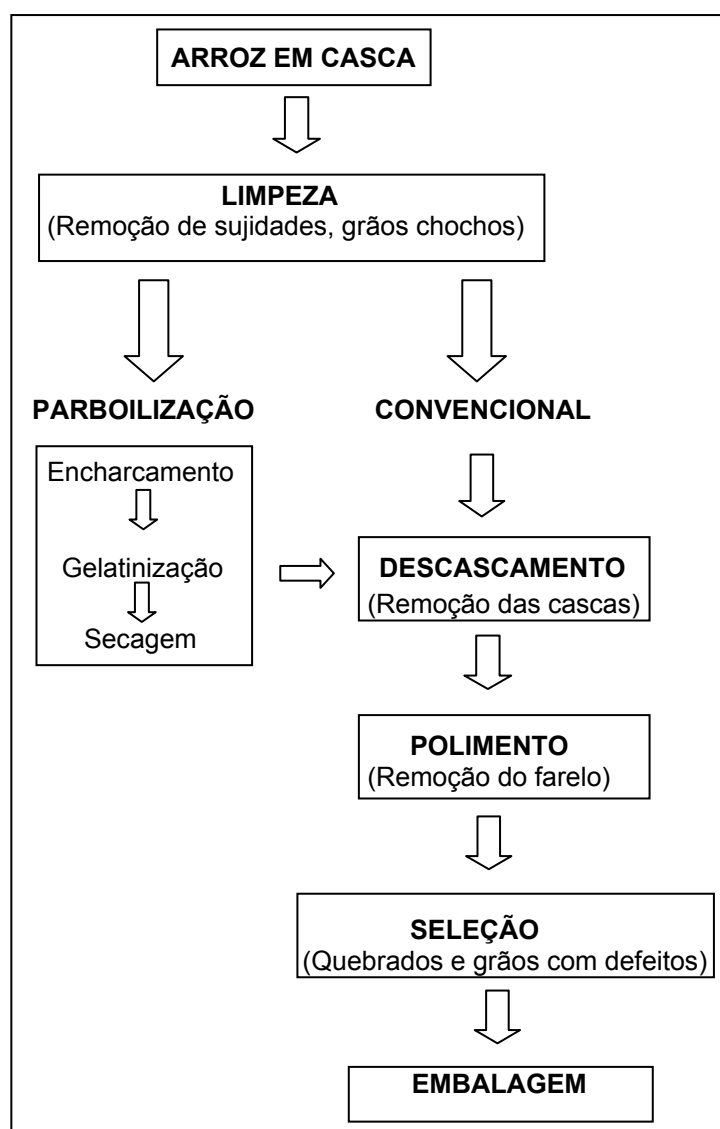


Figura 1. Fluxograma genérico do beneficiamento dos grãos de arroz pelo processo convencional de branco polido e por parboilização.

Com a remoção do farelo no arroz convencional e consequente perda significativa de nutrientes, como vitaminas e minerais, o endosperma do grão apresenta-se sob o aspecto de grão branco polido, (HEINEMANN et al., 2006). As comunidades que tinham o arroz branco polido como base da alimentação, correlacionaram a ocorrência de beribéri com o consumo desse tipo de arroz, sendo comprovado posteriormente que a ocorrência desta doença era devido à falta de tiamina (vitamina B1) e que os estudos para combater a propagação da mesma, foram os primeiros fatos a despertar a atenção para o arroz parboilizado, que hoje sabidamente, contém um teor maior de vitaminas hidrossolúveis incorporadas ao grão (AMATO e ELIAS, 2005).

O beneficiamento dos grãos de arroz por parboilização começou a se desenvolver em tribos da África e Índia, como um processo rudimentar de maceração do arroz, onde o grão em casca era mergulhado em vasilhas com água, à temperatura ambiente, com posterior secagem ao sol ou em chapas quentes, e descascamento do grão (ABIAP, 2010). Esse processo tinha como finalidade principal a abertura da casca para facilitar o beneficiamento ao pilão, principalmente em escala artesanal ou familiar (AMATO e SILVEIRA, 1991).

A introdução do vapor sob pressão seguido pela secagem artificial foi uma evolução dos métodos antigos, constituindo importantes melhorias no processo de parboilização (AMATO, 2005). Atualmente, o processo de parboilização tem como base o tratamento hidrotérmico do grão de arroz em casca, realizado em três etapas básicas: encharcamento, autoclavagem e secagem, para posterior descascamento, polimento e seleção do grão (ELIAS, 1998; BRASIL, 2009; ABIAP, 2010).

A palavra “parboilizado” teve origem na adaptação do termo inglês *parboiled*, proveniente da aglutinação de *partial* + *boiled*, ou seja, “parcialmente fervido”.

O encharcamento promove a entrada de água para o interior do grão, valendo-se da propriedade do amido de absorver cerca de 30% do seu peso em água, em temperatura inferior à de gelatinização (AMATO et al., 1991).

Para decidir qual o tempo mais adequado para a operação de encharcamento, devem ser levadas em conta as características de hidratação do arroz, que dependem da variedade, condições de cultivo e tempo de armazenamento.

O aumento da temperatura da água é um meio para diminuir o tempo de residência. A gelatinização não ocorre nas camadas internas enquanto a umidade não atingir o centro do endosperma, tornando o produto mais quebradiço durante o beneficiamento (AMATO et al., 1991; SILVA et al., 1995).

Estudos indicam que as variáveis no processo de secagem, principalmente a temperatura do ar, interferem na qualidade do arroz parboilizado, notadamente na cor (ELBERT et al., 2000), assim como, a temperatura de encharcamento, o tempo de aquecimento e a temperagem no processo de parboilização, influenciam a qualidade do arroz parboilizado (BELLO et al., 2004), altas temperaturas e tempo prolongado na hidratação causam o endurecimento e o escurecimento do grão (SRIDHAR et al., 2003)

A parboilização promove o enriquecimento dos grãos polidos com vitaminas e minerais, desestruturação do amido, inativação de enzimas e de todos os processos biológicos do grão, dissolução e redistribuição de substâncias lipossolúveis do gérmen e do farelo, a exemplo dos glóbulos de gordura, e a separação e submersão de substâncias proteicas na massa compacta de amido gelatinizado (ELIAS, 1998; AMATO e ELIAS, 2005).

Os grãos parboilizados resultam em uma estrutura compacta, vítrea, translúcida e brilhante, com maior capacidade de absorção de água e menor absorção de gordura ao cozinhar; tem sido largamente utilizado como uma das formas de minimizar a quebra dos grãos durante o beneficiamento, aumentando o rendimento industrial (MÜLLER, 1999), evitar a remoção excessiva de compostos importantes do ponto de vista nutricional, aumentar a vida de prateleira, em função de uma menor absorção de umidade do ambiente (AMATO e ELIAS, 2005; BEHRENS et al., 2007; WANG et al., 2008; DORS et al., 2009), deixando os grãos menos propensos a desintegração durante o cozimento (PRIESTLEY, 1976), aumentando a conservação, diminuindo a quantidade de sólidos na água de cocção, e melhorando o valor nutritivo.

2.4 Fração lipídica do arroz

A maior parte do óleo de arroz está localizada no germén e pode chegar a uma concentração de 25%, contendo 68 a 71% de triacilgliceróis, 2 a 3% de diacilgliceróis, 5 a 6% de monoacilgliceróis, 2 a 3% de ácidos graxos livres (AGL), 2% a 3% de ceras, 5 a 7% de glicolipídios, 3 a 4% de fosfolipídios e até 5% de matéria insaponificável (CHOUDHURY e JULIANO, 1979; BRASIL, 1999).

O teor de AGL no óleo de arroz pode chegar a 70% em peso, podendo ocorrer um incremento diário de 4 a 5%, dependendo das condições de armazenagem, pela ação de enzimas hidrolíticas, destacando-se nesta composição cerca de 75% de ácidos graxos insaturados oléico (ω -9), e linoléico (ω -6), 1 a 3% do ácido graxo α -linolênico (ω -3) e 22% de ácidos graxos saturados palmítico e esteárico.

A Tabela 2 apresenta a fórmula molecular das estruturas dos ácidos graxos saturados e insaturados, com a respectiva nomenclatura oficial e comum, que fazem parte da composição do óleo do arroz, segundo Lee et al. (2002).

Tabela 2. Fórmula molecular a nomenclatura dos ácidos graxos do arroz.

Fórmula	Nome sistemático	Nome comum
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{COOH}$	ácido tetradecanóico	ácido mirístico
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{13}-\text{COOH}$	ácido pentadecanóico	ácido pentadecílico
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$	ácido hexadecanóico	ácido palmítico
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{15}-\text{COOH}$	ácido heptadecanóico	ácido margárico
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$	ácido octadecanóico	ácido esteárico
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{18}-\text{COOH}$	ácido eicosanóico	ácido araquídico
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{20}-\text{COOH}$	ácido docosanóico	ácido behênico
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{22}-\text{COOH}$	ácido tetracosanóico	ácido lignocérico
$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2 \quad \Delta_9$	ácido 9- hexadecenóico	ácido palmitoleico
$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2 \quad \Delta_9$	ácido 9-octadecenóico	ácido oleico
$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2 \quad \Delta_{9,12}$	ácido 9,12-octadecadienóico	ácido linoleico
$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2 \quad \Delta_{9,12,15}$	ácido 9,12,15-octadecatrienóico	ácido linolênico
$\text{C}_{20}\text{H}_{38}\text{O}_2 \quad \Delta_{11}$	ácido 11-eicosenóico	-
$\text{C}_{20}\text{H}_{36}\text{O}_2 \quad \Delta_{11,14}$	ácido 11,14-eicosadienóico	-

Fonte: Lee et al., 2002.

Na Tabela 3, são referidos os ácidos graxos e seus percentuais na composição do óleo de arroz, conforme a Resolução nº 482 de 1999 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que fixa a identidade dos óleos e gorduras vegetais.

Tabela 3. Composição em ácidos graxos do óleo de arroz.

Ácido graxo	Nomenclatura	Concentração (%)
C 14:0	ácido mirístico	0,4 - 1,0
C 16:0	ácido palmítico	12,0 - 18,0
C 16:1	ácido palmitoleico	0,2 - 0,4
C 18:0	ácido esteárico	1,0 - 3,0
C 18:1	ácido oléico	40,0 - 50,0
C 18:2	ácido linoléico	29,0 - 42,0
C 18:3	ácido linolênico	< 1,0
C 20:0 - C 22:0	-	< 1,0

Fonte: ANVISA, 1999.

O óleo de arroz contém aproximadamente 4,2% de matéria insaponificável, entre 1 e 1,5% a mais que outros óleos vegetais. A fração γ -orizanol representa em torno de 2% dos constituintes insaponificáveis (RUKIMINI e RAGHURAM, 1991), podendo apresentar de 13 a 20 vezes a concentração dos outros compostos antioxidantes do óleo de arroz (HAMID et al., 2007; LILITCHAN et al., 2008; PESTANA et al., 2008).

Segundo Wilson et al. (2000), essa fração representa em torno de 4,4% do óleo bruto, e é constituída de esteróis (43%), metil-esteróis (10%), álcoois triterpênicos (29%) e esqualeno ou tocotrienóis (19%). A fração γ -orizanol é uma mistura de 10 (dez) ésteres do ácido ferúlico com esteróis e álcoois triterpênicos (Figura 2), conferindo ao óleo maior resistência à oxidação e deterioração (JAHN, 2004), e é o mais importante antioxidante do óleo de arroz (LEE et al., 2005).

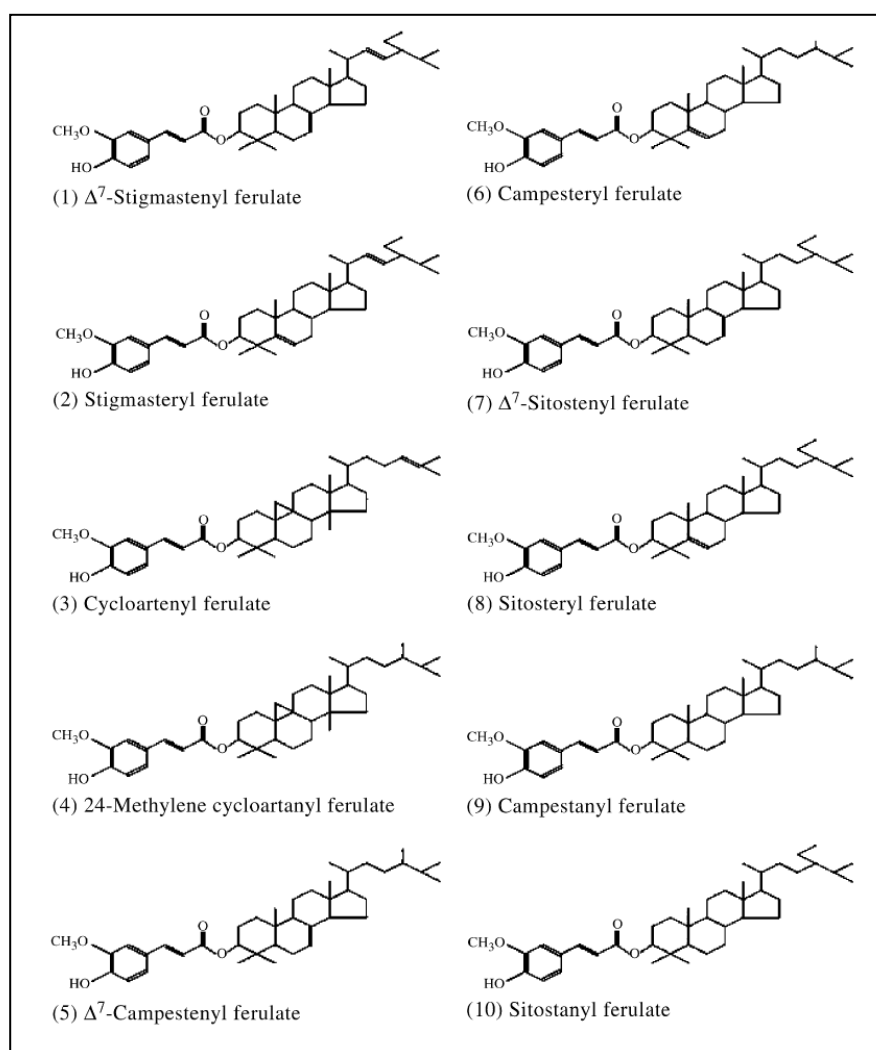


Figura 2. Fórmulas estruturais dos compostos majoritários da fração γ -orizanol.

Fonte: PONGAMPHAI et al., 2008.

O poder antioxidante do óleo de arroz, quantificado pela soma de todos os constituintes, principalmente γ -orizanol, está correlacionado com o período de crescimento da planta e com as exigências de água por parte de cada variedade (IQBAL et al., 2005). O γ -orizanol é o único composto antioxidante do óleo de arroz que tem aplicações nutraceuticas, farmacológicas, e como antioxidante natural em alimentos, bebidas e cosméticos (DANIELSKI et al., 2005; AMANTE et al., 2005; LILITCHAN et al., 2008; GARCIA et al., 2009).

Entre as propriedades nutraceuticas do γ -orizanol, citam-se, atividade antioxidante, efeito hipocolesterolêmico agentes de prevenção de doenças cerebrais, redução dos triacilgliceróis, aumento do colesterol de alta densidade, HDL, inibição da secreção gástrica ácida (CICERO e GADDI, 2001; JULIANO et al., 2005; CHOTIMARKORN et al., 2008; De MIRA et al., 2009).

O γ -orizanol confere ao óleo uma maior resistência à oxidação, preservando o flavour, a cor e as vitaminas dos alimentos durante o armazenamento, além de combater o estresse oxidativo das células provocado pelos radicais livres (LEE et al., 2005; GARCIA et al., 2009).

Antioxidantes sintéticos como BHA e BHT são usualmente usados, porém os seus usos têm sido reportados por malefícios à saúde, como toxicidade e carcinogenicidade (CHOTIMARKORN et al., 2008). Esses fatos aumentam o interesse pela identificação de antioxidantes naturais presentes em fontes alimentares e seus co-produtos pelos benefícios à saúde, evidenciando a importância da pesquisa sobre a distribuição dos ácidos graxos e do γ -orizanol no óleo de arroz parboilizado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram executados no Laboratório de Pós Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LABGRÃOS) do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas (DCTA – FAEM – UFPEL), Laboratório de Oleoquímica e Biodiesel do Departamento de Química Orgânica do Instituto de Química da Universidade Federal de Pelotas (DQO – IQ – UFPEL), e Laboratório de Química Analítica Ambiental e Oleoquímica do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LAAO – IQ – UFRGS).

3.1 Material

Foram utilizados grãos de arroz (*Oryza sativa*, L.) em casca, da classe longo fino, “agulhinha”, produzidos em sistema irrigado na região sul do Rio Grande do Sul, colhidos com umidade próxima a 20%, pré-limpos e secos em sistema intermitente, até 13% de umidade, em equipamentos de escala piloto do LABGRÃOS.

3.1.1 Preparo das amostras

Para cada amostra de 50kg de arroz em casca foram coletadas três alíquotas de 1000g, as quais foram submetidas aos beneficiamentos industriais de arroz branco polido (convencional) e parboilização.

3.2 Métodos

3.2.1 Delineamento experimental

O trabalho foi estruturado em dois experimentos. O Experimento 1 foi destinado a comparar efeitos da parboilização sobre parâmetros de avaliação química, tecnológica e de qualidade de consumo, perfil lipídico e γ -orizanol nos grãos de arroz parboilizados, em comparação com os grãos brancos polidos. No Experimento 2 foram avaliados efeitos do tempo da operação de encharcamento na parboilização sobre parâmetros de avaliação tecnológica e de qualidade de consumo, perfil lipídico e do γ -orizanol nos grãos de arroz.

3.2.1.1 Experimento I: Comparativos entre arroz branco e parboilizado quanto a parâmetros de avaliação química, tecnológica e qualidade de consumo, perfil lipídico e γ -orizanol

Para avaliação dos efeitos da parboilização sobre parâmetros de avaliação química, tecnológica, qualidade de consumo, perfil lipídico e γ -orizanol, nos grãos de arroz, foram utilizados os tratamentos e avaliações expressos na Tabela 4.

Tabela 4. Comparação entre arroz branco e parboilizado quanto a parâmetros de avaliação química, tecnológica e de qualidade de consumo, perfil lipídico e fração γ -orizanol.

Tratamentos	Variável independente	Variáveis dependentes
	Tipo de beneficiamento	Avaliações
1	Convencional de arroz branco polido	1. Parâmetros químicos e tecnológicos: desempenho industrial, composição centesimal, perfil branquimétrico, perfil texturométrico 2. Qualidade de consumo: atributos sensoriais e parâmetros de cocção
2	Parboilização	3. Perfil lipídico 4. γ -orizanol

Parboilização: encharcamento a 65°C, 5h; autoclavagem (110°C, 0.5kg.cm⁻², 10min).

3.2.1.2 Experimento II - Efeitos do tempo de encharcamento, a 65°C, sobre parâmetros de avaliação química, tecnológica, qualidade de consumo, perfil lipídico e γ -orizanol em grãos de arroz parboilizado.

Para determinação dos parâmetros de avaliação química, tecnológica, qualidade de consumo, perfil lipídico e γ -orizanol, nos grãos de arroz parboilizado, submetidos a três tempos de encharcamento a 65°C, foram utilizados os tratamentos e avaliações expressos na Tabela 5.

Tabela 5. Efeitos do tempo de encharcamento, a 65°C, sobre parâmetros de avaliação química, tecnológica, qualidade de consumo, perfil lipídico e γ -orizanol em grãos de arroz parboilizados.

Tratamentos	Variável independente	Variáveis dependentes
	Tempo de Encharcamento (h)	Avaliações
1	4	1. Parâmetros químicos e tecnológicos: perfil branquimétrico, perfil texturométrico
2	5	2. Qualidade de consumo: atributos sensoriais e parâmetros de cocção
3	6	3. Perfil lipídico 4. γ -orizanol

Parboilização: (encharcamento a 65°C, durante 4, 5 e 6h); autoclavagem (110°C, 0.5kg.cm⁻², 10 min)

3.3 Operações de beneficiamento industrial

As etapas dos beneficiamentos de arroz branco polido e parboilização foram realizadas conforme as Normas de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Arroz (BRASIL, 2009). O processo de parboilização foi conduzido em escala piloto (LABGRAOS – Pólo de Inovação Tecnológica de Alimentos – DCTA – FAEM – UFPEl), segundo metodologia desenvolvida por Elias (1998).

3.3.1 Processo convencional

a. Descascamento

Após a limpeza, os grãos foram descascados em engenho de provas da marca Zaccaria modelo PAZ-1-DTA, de acordo com as recomendações prescritas no

manual de operações fornecido pelo fabricante. Os marinheiros, grãos que não tiveram sua casca removida na primeira passagem, foram separados manualmente.

b. Polimento

O polimento foi realizado no mesmo engenho de provas, com remoção de 7 a 11% de farelo, conforme testes preliminares. A intensidade do polimento (IP) foi determinada pela equação 1.

$$IP = \left[1 - \left(\frac{\text{peso}(g) \text{ do arroz polido}}{\text{peso}(g) \text{ do arroz integral}} \right) \right] \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

c. Separação dos grãos quebrados

O material descascado e polido ainda passou pela separação de inteiros e quebrados, realizada em *trieur* (cilindro alveolado) do próprio engenho de provas, durante um minuto.

d. Identificação e separação de defeitos

A identificação e a separação dos grãos com defeitos foram realizadas de acordo com os termos, conceitos e caracterização constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009). As análises foram realizadas utilizando somente grãos polidos sem defeitos.

e. Moagem

Para a realização das análises, as amostras foram homogeneizadas e moídas em moinho de facas da marca Perten®, modelo Laboratory Mill 3100, em peneira de 60 Mesh. Após, foram acondicionadas hermeticamente em frascos de vidro e, mantidas a 15°C até a realização de cada análise.

3.3.2 Processo de parboilização

a. Operação unitária de hidratação ou encharcamento

As amostras foram acondicionadas em sacos de filó, identificadas e colocadas em latas. Nas latas foi adicionado água na proporção grãos/água de 1:1,5; com temperatura (da água) de 2°C acima da temperatura da água dos tanques de encharcamento, onde as latas eram imersas.

Através de testes preliminares, foram definidas as condições hidrotérmicas binárias (tempo e temperatura) aplicáveis pelas indústrias parboilizadoras em função do desempenho da amostra de arroz utilizada no trabalho.

b. Autoclavagem:

Realizada em autoclave vertical, com uma pressão de $0,5\text{kgf.cm}^{-2}$, durante 10 minutos, conforme metodologia proposta por Elias (1998).

c. Secagem:

Realizada após o escoamento do excesso de água livre das amostras por gravidade. Foi usado secador estacionário modelo VITÓRIA, dotado de resistências elétricas para aquecimento do ar de secagem, com temperatura a 45°C , até que os grãos atingissem umidade próxima a 13%.

d. Descascamento

Realizado da mesma forma descrito para o beneficiamento convencional, com adaptações feitas na metodologia desenvolvida por ELIAS (1998).

e. Polimento

A operação de polimento foi ajustada para remoção de 4 a 7% de farelo, seguindo resultados obtidos em testes preliminares, com base nos procedimentos industriais usuais. A intensidade do polimento (IP) foi determinada pela equação 1.

As demais etapas (separação dos grãos quebrados, identificação e separação de defeitos e moagem) foram conforme o processo industrial de beneficiamento convencional (arroz branco polido).

3.4 Avaliações

3.4.1 Composição Centesimal

3.4.1.1 Umidade

O percentual de umidade foi estabelecido utilizando grãos de arroz em casca pelo uso de estufa a 105°C , por 24 horas, de acordo com o método oficial de análises de sementes preconizado pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992).

3.4.1.2 Proteína Bruta

O conteúdo de proteína bruta foi determinado pelo método Kjeldahl, pelo uso do fator 5,95 para conversão de nitrogênio em proteína conforme procedimento da AOAC (1997);

3.4.1.3 Extrato Etéreo

O extrato etéreo foi determinado com uso do extrator tipo Soxhlet, de acordo com o procedimento descrito pelo método da AOAC (1997).

3.4.1.4 Cinzas

O conteúdo de matéria mineral ou cinzas foi determinado em mufla a 550°C/5h de acordo com o procedimento descrito pelo método da AOAC (1997).

3.4.1.5 Fibras

A determinação de fibras foi realizada utilizando método químico, determinando o resíduo orgânico insolúvel da amostra, após digestão ácida e alcalina.

3.4.1.6 Carboidratos

Os carboidratos foram calculados por diferença centesimal.

3.4.2 Parâmetros de Cocção

As características de cocção do arroz pelos parâmetros de tempo de cocção, rendimento volumétrico e rendimento gravimétrico, utilizando amostras de grãos inteiros sem defeitos, beneficiados pelos processos convencional e parboilizado, foram avaliadas de acordo com a metodologia proposta por Martinez e Cuevas (1989), com adaptações por Gularte (2002).

3.4.2.1 Tempo de Cocção

Verificação da porcentagem de grãos de arroz cozidos a partir de 15 minutos de cozimento. Como padrão, adota-se 90% como sendo a quantidade mínima de grãos sem translucidez para que o arroz esteja cozido. A presença de translucidez no centro dos grãos é visualizada com luz polarizada através de placas de vidro. Análise realizada conforme metodologia desenvolvida por Gularte (2002).

3.4.2.2 Rendimentos de Cocção

A partir do volume dos grãos de arroz (medido em proveta), adiciona-se água nas proporções de 1,8 a 2,2 para arroz branco polido, e de 2,3 a 2,7 para arroz parboilizado. Quando a temperatura da água atingir 80°C inicia a contagem do tempo de cocção previamente obtido. Após 30min de repouso pesa-se o recipiente em balança semi-analítica e mede-se a altura do arroz através do paquímetro. Análise realizada conforme metodologia desenvolvida por Gularte (2002).

Equação 2. Rendimento volumétrico:
$$R_v = \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \cdot 100$$

R_v = Rendimento volumétrico (%);

V_f = Volume final - arroz cozido (cm³);

V_i = Volume inicial - arroz cru (cm³).

O rendimento gravimétrico (R_g) foi determinado pelo quociente entre o peso final P_f (arroz cozido) e o inicial P_i (arroz cru), conforme Equação 3.

Equação 3. Rendimento gravimétrico:
$$R_g = \left(\frac{P_f}{P_i} \right) \cdot 100$$

R_g = Rendimento gravimétrico (%);

P_f = Peso final - arroz cozido (g);

P_i = Peso inicial - arroz cru (g).

3.4.3 Avaliação sensorial

A proporção de água que apresentar os melhores resultados de rendimento gravimétrico e volumétrico é usada para multiplicar pelo volume de 100g de arroz crus. Utiliza-se o tempo de cocção determinado previamente. A água utilizada para a cocção foi previamente aquecida a 95°C. As amostras foram cozidas em chapa aquecida a 300°C, em panela de alumínio e servidas aos julgadores com temperatura de 60°C.

Na avaliação sensorial foi utilizado o método proposto por Gularte (2002; 2005), com adaptações, com uso de um teste contendo uma escala não-estruturada de nove centímetros, com termos descritivos, caracterizando os atributos cor, brilho, odor, soltabilidade, firmeza e sabor (Figura 3). A avaliação foi realizada por uma equipe treinada de quinze julgadores.

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE ARROZ					
Nome: _____	Data : ____ / ____ / ____				
Instruções: Avalie da esquerda para a direita os atributos solicitados, registrando com um traço onde representa a intensidade de cada atributo.					
COR	Branco cinzentado	branco	amarelo claro	amarelo	amarelo forte
_____	----- ----- ----- -----				
BRILHO	Opaco	ligeiramente opaco	regularmente	moderadam. brilhoso	muito brilhoso
_____	----- ----- ----- -----				
ODOR	Característico Branco	ligeiram. alterado	parboilizado fraco	característico parboilizado	parboilizado forte
_____	----- ----- ----- -----				
SOLTABILIDADE	Pastosos	grudados	parcialmente separados	regularmente solto	grãos bem separados
_____	----- ----- ----- -----				
SABOR	Característico à branco	ligeiramente branco alterado	parboilizado fraco	característico parboilizado	parboilizado forte
_____	----- ----- ----- -----				
FIRMEZA	Em forma de massa mole	mole	macios firmes	firmes mastigáveis	centro duro
_____	----- ----- ----- -----				

Figura 3. Ficha utilizada para avaliação sensorial de arroz cozido.

3.4.4 Perfil texturométrico

As amostras submetidas à determinação do perfil de texturométrico foram selecionadas pelo desempenho no comportamento de cocção. Foi utilizado o texturômetro modelo Texture Analyser TA.XTplus, Stable Micro Systems para avaliar os parâmetros de perfil texturométrico do arroz cozido. Com ensaios preliminares foram adaptadas as metodologias propostas por Champagne (1998) e Lyon (2000).

Acondicionou-se 10 gramas de amostra cozida em placa de Petri de vidro de formato cilíndrico, 5cm de diâmetro e 1cm de altura, com probe cilíndrico de 4,5cm de diâmetro. O texturômetro foi configurado para comprimir a 60% do tamanho original da amostra, com velocidade de teste de 1mm.s^{-1} e tempo entre compressões de 3 segundos. As propriedades avaliadas e suas unidades de medida são definidas analogamente em relação a uma descrição sensorial como:

- Firmeza (g) – força máxima requerida para comprimir a amostra numa dada porcentagem pré-estabelecida;
- Mastigabilidade (N.mm) – número de mastigações necessárias para tornar o alimento com consistência adequada para ser engolido;

- Gomosidade (N) – energia requerida para desintegrar um alimento semi-sólido para um estado pronto de ser engolido, sem mastigar;
- Elasticidade (mm) – grau como o alimento retoma a sua forma após uma compressão parcial da língua contra os dentes ou céu da boca;
- Adesividade (J) – força necessária para remover o alimento que adere na língua, dentes e mucosas.

3.4.5 Perfil branquimétrico e colorimétrico

Realizado em branquímetro Zaccaria MBZ-1: Operado conforme recomendações da indústria fabricante. O equipamento, com potência de 20W, sistema bivolt e 50/60hz, fornece os graus de brancura, transparência e polimento, utilizando escala própria.

Realizado em colorímetro Minolta Chromameter (CR-300, Osaka, Japan): A brancura dos grãos de arroz parboilizado foi também determinada utilizando Colorímetro Minolta modelo CR-300, usando sistema CIEL*a*b*, onde os valores de luminosidade (L^*) variam entre zero (preto) e 100 (branco), os valores das coordenadas de cromaticidade a^* e b^* , variam de: $-a^*$ (verde) até $+a^*$ (vermelho), e de: $-b^*$ (azul) até $+b^*$ (amarelo).

3.4.6 Perfil lipídico

Todos os óleos extraídos foram submetidos à derivatização dos ácidos graxos por transesterificação com $\text{BF}_3/\text{Me-OH}$ (AOCS, 1998; MATOS, 2007), e os ésteres metílicos resultantes foram analisados por cromatografia gasosa (KIM *et al.*, 2006; MILLER e ENGEL, 2006)

3.4.6.1 Derivatização dos ácidos graxos

Pesou-se 250mg de óleo em um Erlenmeyer de 50mL. Foram adicionados 6mL de uma solução metanólica de NaOH (2g/100mL), após foi acoplado um condensador de Libieg, deixando em refluxo por 10min sob uma chapa de aquecimento, com agitação magnética. Após foram adicionados 7mL de trifluoreto de boro metanólico ($\text{BF}_3\text{-MeOH}$) através do condensador e deixou-se em ebulição por 2min. Na próxima etapa adicionou-se 5mL de hexano, com ebulição por 1min. Após ebulição, o sistema foi desligado e resfriado naturalmente. A solução foi

transferida para um tubo de ensaio onde adicionou-se solução saturada de NaCl. O sobrenadante foi retirado e adicionado Na_2SO_4 anidro à fase orgânica. A fase orgânica foi transferida novamente deixando-se evaporar o hexano presente. Os óleos derivatizados para ésteres metílicos de ácidos graxos foram armazenados sob refrigeração, e posteriormente analisados por cromatografia gasosa.

3.4.6.2 Cromatografia

Os ésteres metílicos resultantes da derivatização foram analisados por em cromatógrafo gasoso com detector de ionização com chama (GC/FID modelo Shimadzu GC 2010), equipado com uma coluna capilar de sílica fundida DB-5 (metil silicone com 5% de grupos fenila, com 30m de comprimento, 0,25mm de espessura e revestida com filme de 0,25 μm) na seguinte programação de temperatura: 180°C (0min) – 1°C/min⁻¹ – 210°C – 10°C/min⁻¹ – 280°C (10min) e nas seguintes condições: temperatura da coluna = 180°C, temperatura do detector = 280°C e temperatura do injetor = 280°C, split 1:50. A identificação dos ésteres metílicos foi por comparação com o tempo de retenção dos padrões cromatográficos dos ésteres metílicos dos ácidos graxos. Os ésteres metílicos, foram diluídos em 5mL com hexano, posteriormente foi retirada uma alíquota de 0,5mL e diluído novamente em 2mL, sendo injetados 0,5 μL de cada solução hexânica.

3.4.6.3 γ -orizanol

Todas as amostras de óleo bruto foram diluídas na proporção 1:1 em uma mistura de propanol-metanol (85:15), contendo 40mM de KOH e diretamente injetadas. Usando os correspondentes picos $[\text{M}-\text{H}]^-$ os quatro constituintes majoritários da fração γ -orizanol foram avaliados em espectrômetro de massa (MILLER *et al.*, 2003) com detector de *íon trap* (MS/MS), Esquire 6000, equipado com a câmara de ionização por eletronebulização (ESI). As condições otimizadas para as análises no ESI-MS, modo negativo, foram as seguintes: eluente foi o metanol com acetato de amônio 10mM, voltagem do capilar de 4100V, voltagem do focalizador de 15V, pressão do nebulizador de 33,4psi, fluxo do gás de secagem 8mL/min⁻¹ e temperatura de 250°C, saída do capilar de 150V. Os parâmetros de controle da ionização a pressão atmosférica (API) e do espectrômetro de massas foram via *Smart tune*.

3.4.7 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0.05$). As análises foram feitas com auxílio do software GraphPad Prism 5.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para possibilitar o estudo dos efeitos da parboilização, foi necessário estabelecer o comportamento hidrotérmico dos grãos utilizados nos experimentos, através das isotermas de hidratação, constantes na Figura 4.

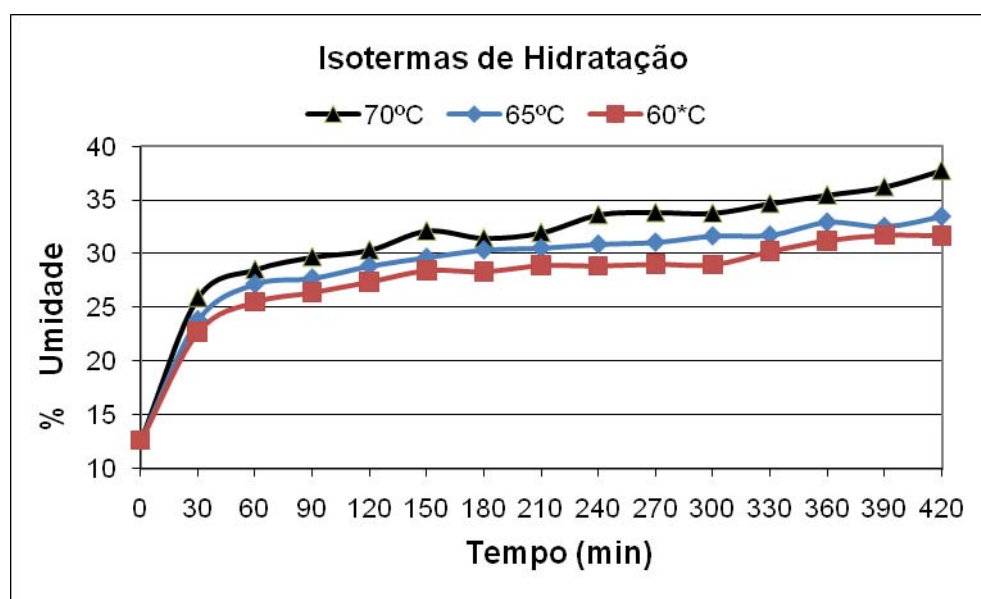


Figura 4. Isotermas de hidratação do arroz, em temperatura de 60, 65 e 70°C.

Observa-se na Figura 4 que os grãos de arroz utilizados nos estudos apresentam tendência de estabilidade de absorção de água na operação de encharcamento. Ao final da etapa de autoclavagem, observando-se os grãos, verificou que na condição mais drástica de temperatura, 70°C, houve deformação dos grãos, com rompimento da estrutura amilácea.

Para que o processo de parboilização seja satisfatório é necessário que o amido absorva o máximo possível de água na operação de encharcamento sem deformar o grão, para possibilitar que ocorra a gelatinização do amido que se completa na operação de autoclavagem (AMATO e ELIAS, 2005) ou nas estufas nos processos menos tecnificados (ELIAS et al., 2009).

A parboilização do arroz, através de tratamentos hidrotérmicos, modifica a estrutura físico-química de seus constituintes, permitindo o trânsito de água intra-granular, sendo absorvido principalmente pelo amido, de característica polar e presente no endosperma. Dentre os fatores que mais interferem no valor nutritivo do arroz estão os processos de beneficiamento, em especial a parboilização dos grãos (ELIAS et al., 2008).

4.1. EXPERIMENTO I: Comparativos entre arroz branco e parboilizado quanto a parâmetros de avaliação química, tecnológica e de qualidade de consumo, perfil lipídico e γ -orizanol.

4.1.1 Desempenho industrial

Na Tabela 6 são apresentados os desempenhos industriais dos grãos de arroz beneficiados pelo processo convencional e por parboilização.

Tabela 6. Desempenho industrial do arroz beneficiado pelo processo convencional de arroz branco e por parboilização.

Tipo de beneficiamento	% Renda	% Grãos inteiros	% Grãos quebrados	% Grãos com defeitos
Branco polido	59,8b	54,7b	5,1a	0,83b
Parboilização	69,2a	66,2a	3,0b	1,36a

Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A parboilização conferiu aos grãos aumentos na porcentagem de rendimento dos grãos inteiros, promovendo uma menor quebra ao passar pela etapa de polimento. Como consequência, se obteve uma renda maior, em comparação com os grãos beneficiados pelo processo convencional de branco polido.

Resultados semelhantes foram obtidos por Elbert et al. (2001), o qual explica que a parboilização aumenta o rendimento dos grãos devido ao rearranjo interno dos grãos após o período de temperagem.

O arroz em casca, classe longo-fino, conforme estabelece a Portaria nº 269/1988, deve apresentar renda base de 68%, rendimento de grãos inteiros de 50% e 18% de grãos quebrados e/ou quirera, após ter sido descascado e polido (BRASIL, 1988).

Meneghetti et al. (2005), variando o tempo de polimento em grãos de arroz da classe longo-fino, observaram que o aumento da intensidade de polimento provoca diminuições significativas na renda e na incidência de defeitos, devido à remoção de defeitos das camadas periféricas, como manchados e/ou picados. Em contrapartida, há um aumento significativo dos percentuais de grãos quebrados, devido ao maior tempo de fricção e abrasão, dos grãos.

A porcentagem de grãos inteiros, além da importância tecnológica, também tem importância econômica, pois quanto maior é a sua renda, maior é o preço pago pelo produto.

Elias e Franco (2006), afirmam que a maioria dos grãos quebrados durante o beneficiamento já apresentava fissuras antes da industrialização, decorrentes de alterações climáticas e ocorrências fitossanitárias na pré-colheita e efeitos operacionais de colheita e secagem, principalmente.

O aumento da porcentagem dos grãos com defeitos beneficiados por parboilização ocorre devido às ações de enzimas e microrganismos (defeitos metabólicos) que se beneficiam das condições de encharcamento para degradar o grão, característico deste tipo de beneficiamento.

Os defeitos em grãos são classificados em duas categorias, os metabólicos e não metabólicos, estes por sua vez são originários de características genéticas, do manejo no campo e no processo de parboilização.

4.1.2 Composição centesimal

A Tabela 7 apresenta a composição centesimal dos grãos de arroz beneficiados pelo processo convencional e por parboilização.

Tabela 7. Composição centesimal dos grãos de arroz, beneficiados pelo processo convencional de arroz branco polido e por parboilização.

Parâmetros (%)	Tipo de beneficiamento	
	Branco polido	Parboilização
Umidade	12,8a	13,0a
Matéria Mineral	0,4b	1,1a
Lipídeos	0,52b	0,95a
Fibras	1,5b	3,7a
Proteína (N x 5,95)	7,6b	9,5a
Carboidratos	77,18a	71,75b

Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O grau de umidade obtido dos grãos de arroz beneficiados pelo processo de parboilização está de acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (13,2%). Os minerais presentes no arroz, mesmo que em quantidades pequenas, desempenham funções nutritivas importantes. Storck et al. (2005) afirmam que a variação na composição nutricional dos grãos, é atribuída ao tipo de beneficiamento industrial e às diferentes intensidades de polimento aplicadas nas indústrias.

Os grãos de arroz beneficiados pelo processo de parboilização tiveram maior concentração de matéria mineral (cinzas), lipídeos, fibras e proteínas, com redução de carboidratos (Tabela 7).

As maiores concentrações de proteínas, lipídeos, fibras e minerais encontram-se, predominantemente, nas camadas mais externas da cariopse, sendo carregados para o interior do grão durante a etapa de hidratação através dos fenômenos de difusão e lixiviação.

Conforme afirmam Heinemann et al. (2005) e Walter et al. (2008), as concentrações dos principais constituintes do arroz, com exceção do amido, diminuem da periferia para o centro do grão, devido à remoção de farelo, e a intensificação do polimento pode remover a quase totalidade dos lipídeos e cinzas. As proteínas do arroz são removidas em torno de 1% com o farelo, durante o polimento do grão integral para o grão branco polido. Essa redução corresponde a 10% do total de proteínas do arroz, provando que o arroz, mesmo quando não está sob a forma de grão integral, continua sendo importante fonte de proteínas.

O conteúdo de proteínas nos grãos varia muito com os fatores genéticos, ambientais e manejo da cultura. Sua interação com o amido produz uma estrutura

complexa que influencia diretamente sobre as propriedades mecânicas dos grãos, principalmente em relação à resistência a abrasividade do polimento (SINGH et al., 2000; SUJATHA et al., 2003).

4.1.3 Perfil branquimétrico

Os grãos de arroz beneficiados por parboilização, apesar de mais nutritivos, diferem dos beneficiados pelo processo convencional quanto aos parâmetros branquimétricos, com redução de graus de brancura, transparência e polimento, o que altera o aspecto visual dos grãos (Tabela 8).

Tabela 8. Parâmetros branquimétricos de arroz branco polido e parboilizado.

Tipo de Beneficiamento	Brancura (%)	Transparência (%)	Polimento (%)
Parboilização	36,4b	3,26b	79b
Branco polido	40,7a	9,99a	133a

Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O aumento dos valores nos parâmetros do perfil branquimétrico, à medida que aumenta o grau de polimento nos grãos de arroz, pode ser associado à remoção de alguns nutrientes das camadas periféricas, principalmente os lipossolúveis e os minerais, que são os principais responsáveis por conferirem cor ao grão integral.

Nas indústrias de beneficiamento de arroz, o polimento do arroz branco geralmente produz de 7 a 11% de farelo enquanto que o arroz parboilizado produz entre 4 e 7% (ELIAS et al., 2009).

Os graus de brancura, de transparência e de polimento são utilizados pela indústria para padronizar e homogeneizar o arroz beneficiado. Embora reduza o valor nutricional, o aumento do grau de polimento favorece a comercialização do grão branco polido, pois atende às exigências da maioria dos consumidores brasileiros, que preferem o produto mais branco e translúcido (GULARTE, 2002; MENEGHETTI et al., 2005; HEINEMANN et al., 2006; ELIAS et al., 2007).

4.1.4 Perfil texturométrico

O beneficiamento por parboilização alterou os atributos texturométricos dos grãos de arroz, com aumento da firmeza, coesividade, gomosidade e mastigabilidade e redução na adesividade dos grãos, em comparação com os valores obtidos para os grãos beneficiados pelo processo convencional de branco polido (Tabela 9)..

Tabela 9. Perfil texturométrico dos grãos de arroz branco polido e parboilizado.

Propriedades da textura	Tipo de beneficiamento	
	Branco polido	Parboilização
Firmeza (g)	3436b	6910a
Adesividade (J)	24,13a	2,23b
Elasticidade (mm)	0,615a	0,610a
Coesividade (adimensional)	0,38b	0,52a
Gomosidade (N)	1231b	3835a
Mastigabilidade (N.mm)	854b	2401a

Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os resultados são similares aos encontrados na literatura (CHAMPAGNE et al., 1998; LYON et al., 1999; PARK et al., 2001; BELLO et. al., 2006; MOHAPATRA e BAL, 2007; ROCHA et al.,2008).

A firmeza está relacionada à força necessária para atingir uma deformação, o mesmo acontece com a adesividade, que representa o trabalho necessário para deslocar o dispositivo de compressão da amostra (dependendo diretamente das forças coesivas e viscosas da amostra) e com a gomosidade, relacionada à força necessária para desintegrar o material.

Segundo Mohapatra e Bal (2007) a coesividade é o grau no qual o arroz deforma, desintegra-se ou quebra na compressão. Isso significa que, quanto mais macio for o arroz, mais coeso será, não se separando com facilidade, como ocorre em grãos mais duros.

Com a remoção durante o polimento, de parte das proteínas, grande parte dos lipídios, além da fibra alimentar e dos minerais presentes nas camadas mais externas do grão, pode-se explicar os valores obtidos pelos grãos beneficiados pelo processo convencional, uma vez que estes componentes, conforme relata Lyon et al. (1999), influenciam na textura dos grãos.

4.1.5 Parâmetros de cocção

Na Tabela 10 são apresentados os tempos de cocção e nas Figuras de 5 a 8 aparecem os rendimentos gravimétricos e volumétricos das amostras de arroz beneficiados pelo processo industrial de branco polido e parboilizado.

Tabela 10. Tempo de cocção dos grãos de arroz polido, beneficiados pelo processo industrial de parboilização e branco polido.

Tipo de beneficiamento	Tempo de Cocção (min)
Parboilização	33a
Branco polido	19b

Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

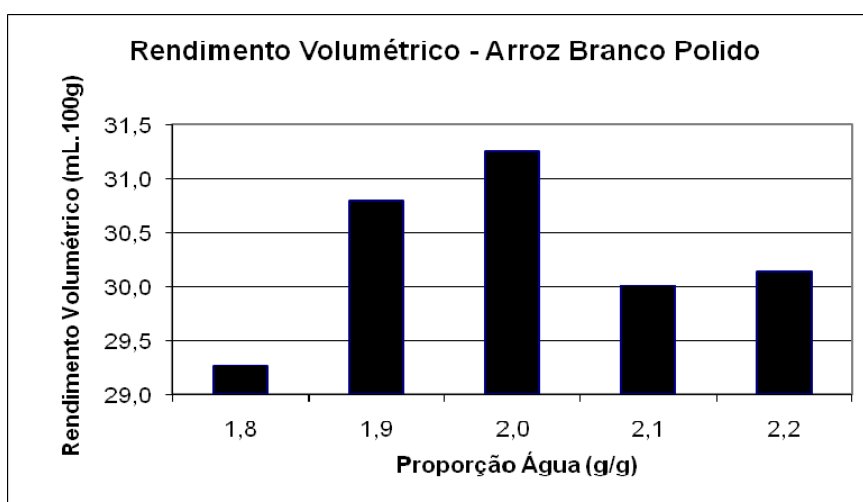


Figura 5. Rendimento volumétrico do arroz branco polido

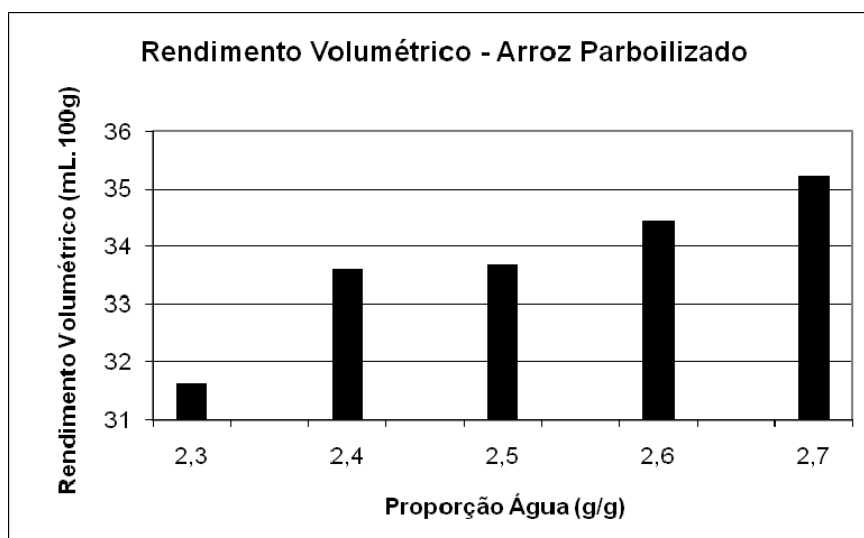


Figura 6. Rendimento volumétrico do arroz parboilizado a 65°C, por 5h.

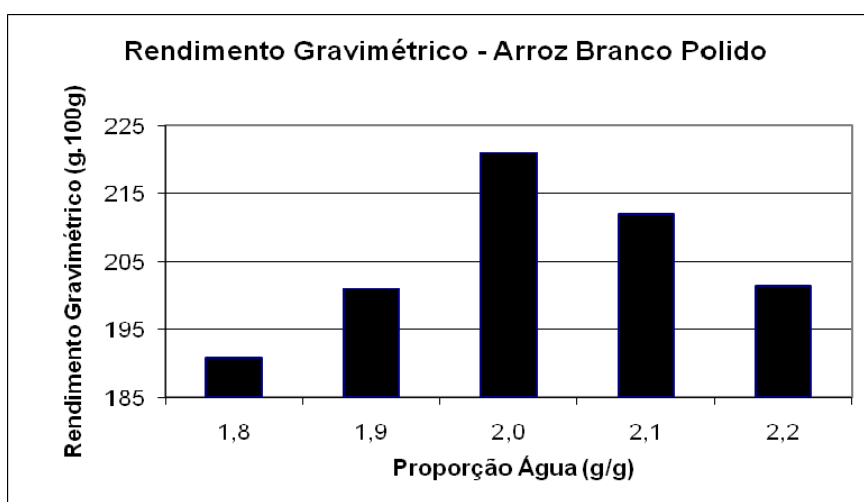


Figura 7. Rendimento gravimétrico do arroz branco polido

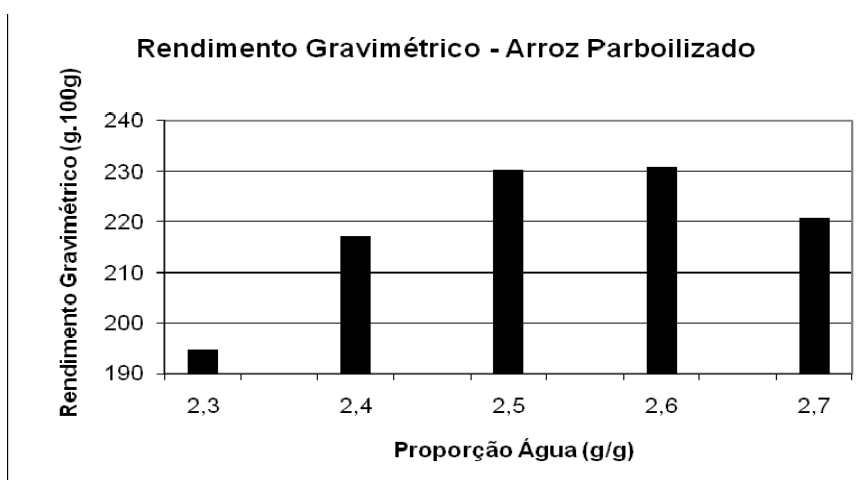


Figura 8. Rendimento gravimétrico do arroz parboilizado a 65°C, por 5h.

O tempo de cocção do arroz é definido como o tempo mínimo em que o grão se torna translúcido ou gelatinizado, quando colocado em água fervente.

Como se observa na Tabela 10, o tempo de cocção dos grãos de arroz parboilizados foi maior do que os grãos não parboilizados. Esta resposta está associada ao processo de gelatinização do amido ocorrida na parboilização, o que aumenta a dureza e a resistência dos grãos e consequentemente dificulta a entrada de água durante a cocção.

A necessidade de uma proporção maior de água para a cocção do arroz parboilizado é explicada pela dificuldade de hidratação dos grãos em decorrência da reestruturação dos grãos de arroz, pela redução dos espaços internos no processo de parboilização, o que está associado com o maior tempo necessário à cocção, e com a maior taxa de evaporação de água no processo.

Grãos com altos teores proteicos, como por exemplo os grãos integrais, resistem ao intumescimento do amido, impedindo sua desestruturação, causada pela complexação entre amilose e proteína, o que reduz a absorção de água e, por consequência, os rendimentos gravimétrico e volumétrico, conforme relatam Maia et al. (1999).

Resultados similares foram relatados por Gularte et al. (2005), que avaliando grãos de seis cultivares de arroz, beneficiados pelo processo convencional de branco polido, observaram que amostras com baixos teores de amilose e altos teores de gordura apresentavam altos rendimentos volumétricos e grãos com altos valores de amilose causavam diminuição na absorção de água.

Foram selecionadas as melhores condições de rendimento volumétrico e gravimétrico (2,5 para arroz parboilizado e 2,0 para arroz branco polido), as quais passaram a ser utilizadas para as demais análises que incluíam grãos cozidos de arroz (perfil texturométrico, análise sensorial e perfil colorimétrico).

4.1.6 Avaliação sensorial

Os atributos avaliados quanto à aparência dos grãos foram cor e brilho; para a textura foram soltabilidade e firmeza; além de sabor e odor. Na Tabela 11 são apresentados os resultados dos atributos sensoriais dos grãos de arroz beneficiados pelo processo convencional de arroz branco polido e por parboilização.

Tabela 11. Análise sensorial dos grãos de arroz branco polido e parboilizado.

Atributo	Tipo de Beneficiamento	
	Branco polido	Parboilização
Cor	1,9b	4,8a
Brilho	4,3a	2,5b
Odor	0,7b	4,3a
Soltabilidade	3,3b	5,9a
Sabor	0,4b	4,2a
Firmeza	3,3b	5,3a

Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A parboilização promoveu uma coloração amarela, redução de brilho, acentuou o odor e sabor e aumentou a firmeza e a soltabilidade dos grãos de arroz, quando comparado com os grãos beneficiados pelo processo de branco polido. A parboilização confere aos grãos de arroz maiores teores de lipídeos, proteínas e minerais em relação ao grão branco, (Tabelas 1 e 7), o que explica estas diferenças.

Os grãos parboilizados apresentaram cor, brilho, odor e sabor típicos. Os atributos firmeza e soltabilidade estão intimamente associados ao teor de amilose, que influi nas qualidades culinárias, de tal forma que, quanto maior for o seu teor, mais separados ficarão os grãos após a cocção, conforme relato de Chandier (1994).

A soltabilidade do arroz, atributo que mede o grau de coesão entre os grãos contribui para a pegajosidade dos grãos, sendo que o amido e as proteínas lixiviadas durante a hidratação dos grãos, estão dentre os fatores que colaboram para tal fato. O teor de lipídeos exerce função tecnológica importante, uma vez que confere brilho e intensifica o sabor na cocção, conforme relata Gularte et al. (2005).

A cor é um importante parâmetro para a determinação da qualidade do arroz, devido à preferência do consumidor pelo arroz mais branco, diferentemente do que ocorre na parboilização, que promove nos grãos de arroz uma coloração amarelo claro, o que está associado às alterações química do próprio grão, como formação de melanoidinas ou dissoluções de pigmentos contidos na casca e transferidos para o interior do grão por difusão. Contudo, devido às alegações de saúde, observa-se

uma crescente procura pelo arroz parboilizado e outros subgrupos de arroz com maior valor nutricional agregado, a exemplo do integral, conforme relatam Meneghetti et al. (2005) e Sloan (2005).

4.1.7 Perfil lipídico

A caracterização do óleo dos grãos de arroz beneficiados pelo processo convencional branco polido e por parboilização permitiu identificar a presença de oito ácidos graxos (mirístico, palmítico, linoléico, oléico, elaídico, esteárico, araquídico e lignocérico), através da solução padrão. A Figura 9 mostra o cromatograma dos padrões dos ácidos graxos, listados na Tabela 12.

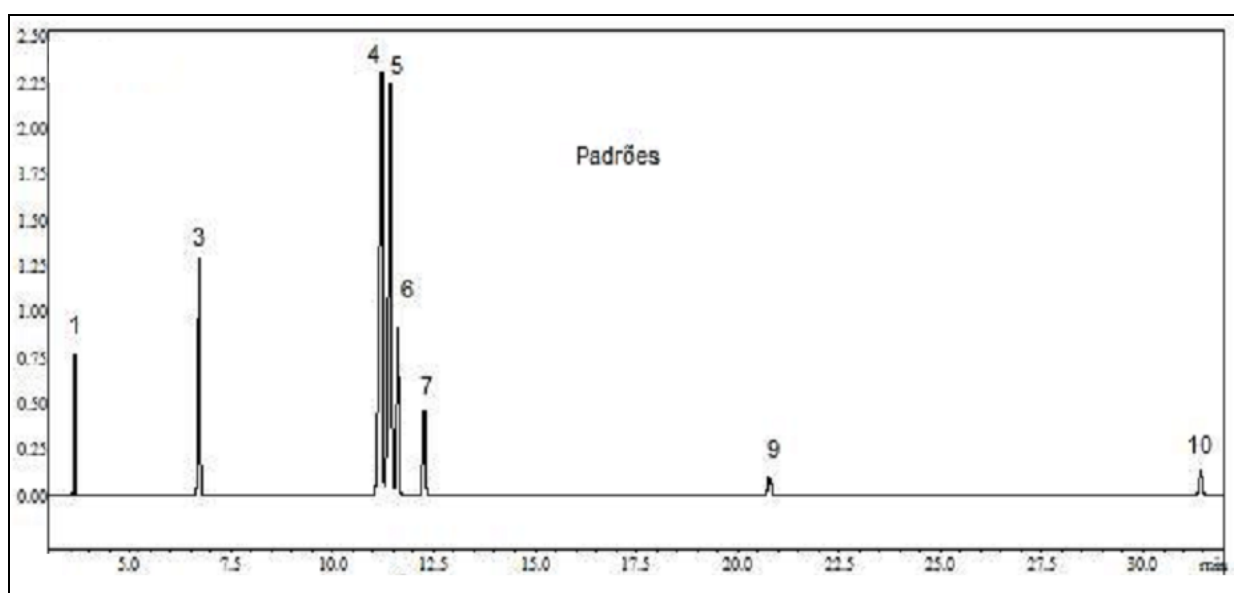


Figura 9. Cromatograma do GC/FID dos ésteres metílicos dos ácidos graxos usados como padrões.

Condições: 180°C (0 min) – 1°C/min – 210°C – 10°C/min – 280°C (10 min). Tcoluna: 180°C; Tdetector: 280°C e Tinjetor: 280°C; Coluna capilar DB-5.

Tabela 12. Ácidos graxos e seus respectivos tempos de retenção usados como padrões para caracterização do óleo de arroz branco polido e parboilizado.

Nº Pico	Tempo de Retenção (min)	Éster metílico do ácido:
1	3,648	Mirístico
3	6,711	Palmítico
4	11,211	Linoléico
5	11,428	Oléico
6	11,615	Elaídico
7	12,261	Esteárico
9	20,793	Araquídico
10	31,421	Lignocérico

As Figuras 10 e 11 mostram os cromatogramas dos ácidos graxos do óleo de arroz branco polido e parboilizado, respectivamente, e a Tabela 13 apresenta as concentrações (%) dos respectivos ésteres metílicos, calculados em relação à área normalizada dos picos. Todas as amostras de óleo foram derivatizadas antes da injeção no cromatógrafo.

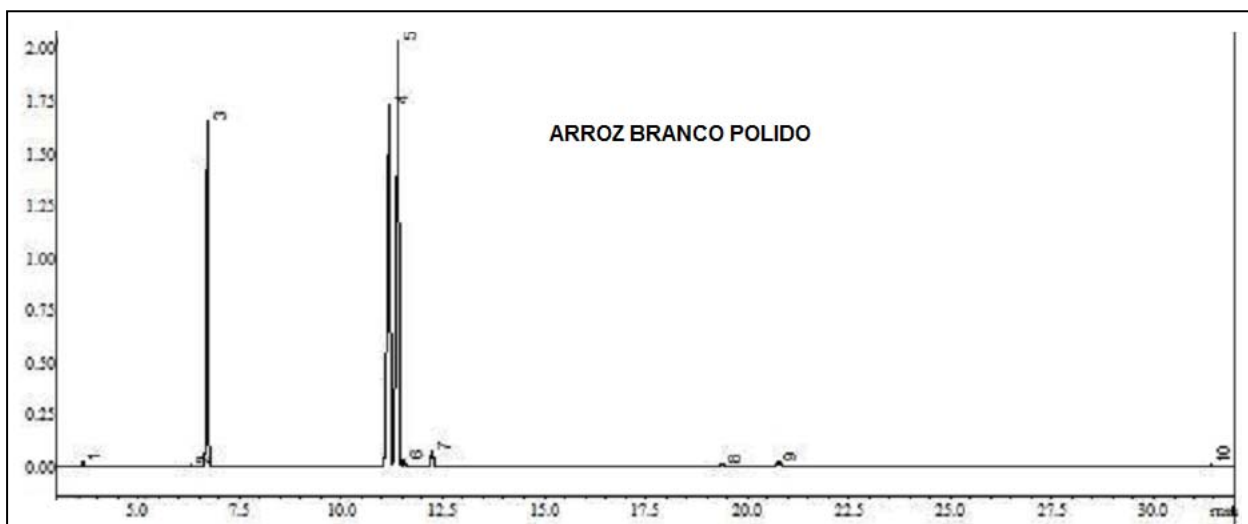


Figura 10. Cromatograma do GC/FID dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de arroz branco polido.

Condições: 180°C (0 min) – 1°C/min – 210°C – 10°C/min – 280°C (10 min). Tcoluna: 180°C; Tdetector: 280°C e Tinjetor: 280°C; Coluna capilar DB-5.

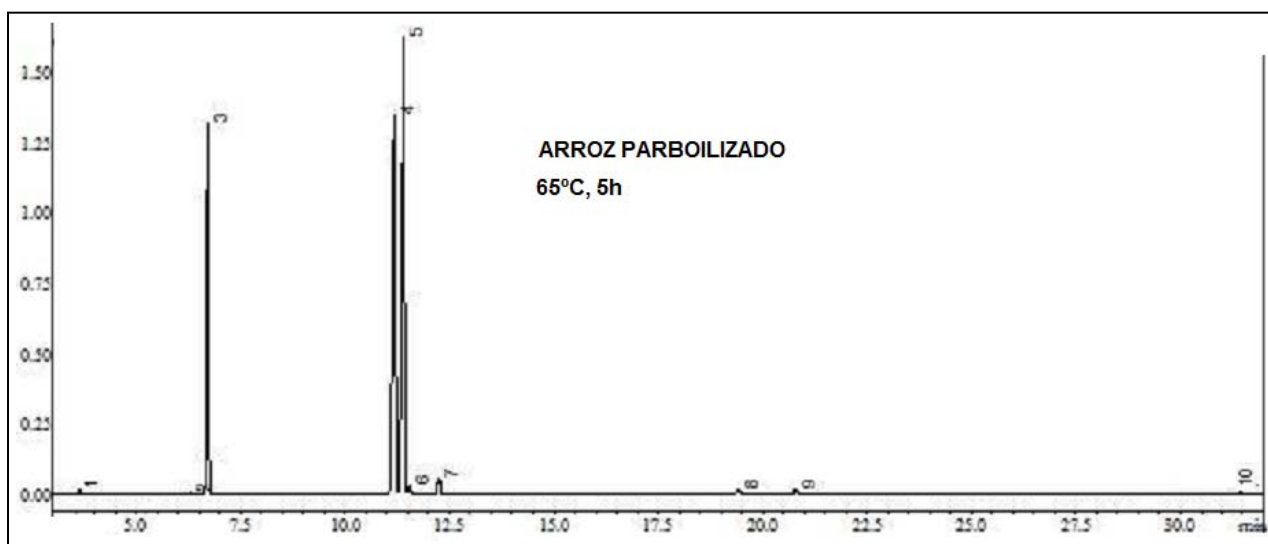


Figura 11. Cromatograma do GC/FID dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizado. Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min).

Condições: 180°C (0 min) – 1°C/min – 210°C – 10°C/min – 280°C (10 min). Tcoluna: 180°C; Tdetector: 280°C e Tinjetor: 280°C; Coluna capilar DB-5.

Tabela 13. Concentração (%) dos ácidos graxos presentes no óleo do arroz branco polido e parboilizado.

Nº Pico	Éster metílico do ácido:	Tipo de beneficiamento	
		Branco Polido	Parboilização
1	Mirístico	D 0,21a	D 0,20a
2	Palmitoléico*	D 0,12a	D 0,12a
3	Palmítico	C 20,03a	C 20,39a
4	Linoléico	B 35,87a	B 36,06a
5	Oléico	A 40,51a	A 39,95a
6	Elaídico	D 0,67a	D 0,69a
7	Esteárico	D 1,40a	D 1,43a
8	Não identificado**	D 0,43a	D 0,41a
9	Araquídico	D 0,56a	D 0,54a
10	Lignocérico	D 0,21a	D 0,20a

* Ácido graxo identificado por comparação na literatura. **A. G. não identificado por falta do seu padrão correspondente. Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância (letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha).

Pelos cromatogramas das Figuras 10 e 11, é possível observar similaridades entre os perfis cromatográficos, além disso, a não significância entre a concentração dos ácidos graxos nos óleos do arroz branco polido e parboilizado, indicam que os ácidos graxos presentes da fração lipídica dos grãos estão distribuídos uniformemente na cariopse, e que o processo de parboilização não alterou o perfil lipídico. Resultados semelhantes foram encontrados por Gonçalves (2007), que utilizando colunas capilares de sílica fundida DB-5 e Carbowax, analisou ácidos graxos extraídos dos óleos de arroz parboilizado e branco polido, e, reportou semelhanças nos cromatogramas dos ésteres metílicos.

Observando-se os dados da Tabela 13 é possível verificar que a composição do óleo de arroz é predominantemente de ácidos graxos insaturados, oléico e linoléico, representando mais de 75%, independente do tipo de beneficiamento dos grãos. O ácido graxo saturado mais expressivo é o palmítico, presente na concentração de 20% do óleo. Juntas, essas frações constituem cerca de 95% do total de ácidos graxos presentes nas amostras. As proporções relativas dos demais ácidos graxos, embora sejam qualitativamente importantes, quantitativamente são

pouco expressivas. Os resultados encontrados são corroborados por Kim et al. (1999); Amante et al. (2005); Anwar et al. (2005) e Gonçalves (2007).

4.1.8 Perfil do γ -orizanol

Os principais compostos da fração γ -orizanol presente no óleo de arroz foram caracterizados por cromatografia líquida associada à espectrometria de massa com ionização por electrospray (LC-ESI-MS/MS). De acordo com o Prof. J. B. Fenn, ganhador do Premio Nobel em Química no ano de 2002 pelo trabalho pioneiro no uso de *Electrospray* como fonte de ionização para espectrometria de massa:

“a Espectrometria de Massas é a arte de medir átomos e moléculas para determinar suas massas moleculares. Tal informação sobre a massa ou peso é muitas vezes suficiente, frequentemente necessária, e sempre útil na determinação da identidade de uma espécie. Para praticar esta arte, colocamos carga nas moléculas de interesse, isto é, os analitos, e então medimos como as trajetórias do íons resultantes respondem, sob vácuo, a várias combinações de campos elétricos e magnéticos. Essa é a condição para a conversão de moléculas neutras de um analito em íons” (Lanças, 2009).

A análise da fração γ -orizanol no óleo dos grãos de arroz beneficiados pelo processo convencional branco polido e por parboilização, através da espectrometria de massas, permitiu identificar a presença dos constituintes majoritários dessa fração, utilizando uma solução padrão. A Figura 12 apresenta os espectros dos padrões de γ -orizanol.

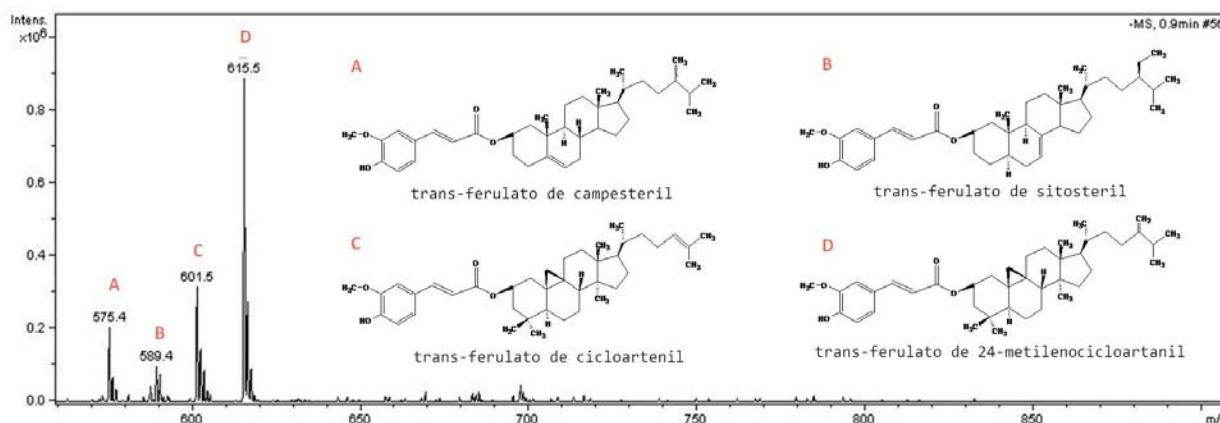


Figura 12. Espectrograma dos ésteres de alcoóis e esteróis triterpênicos, constituintes da solução padrão do γ -orizanol e suas estruturas.

A composição do γ -orizanol por alcoóis triterpênicos e esteróis ferulatos foram identificados utilizando o modo negativo, ESI-MS, através da desprotonização molecular dos íons. As Figuras 13 e 14 mostram os espectros de massas dos picos do íon negativo $[M-H]^-$ da análise de γ -orizanol nos óleos dos grãos de arroz branco polido e parboilizados, e a Tabela 14 lista os principais compostos presentes nas amostras e apresenta as m/z do íon desprotonado $[M-H]^-$, além do fragmento mais abundante $[M-H-Me]^-$, quando ocorre a perda do ligante metila ($-CH_3$).

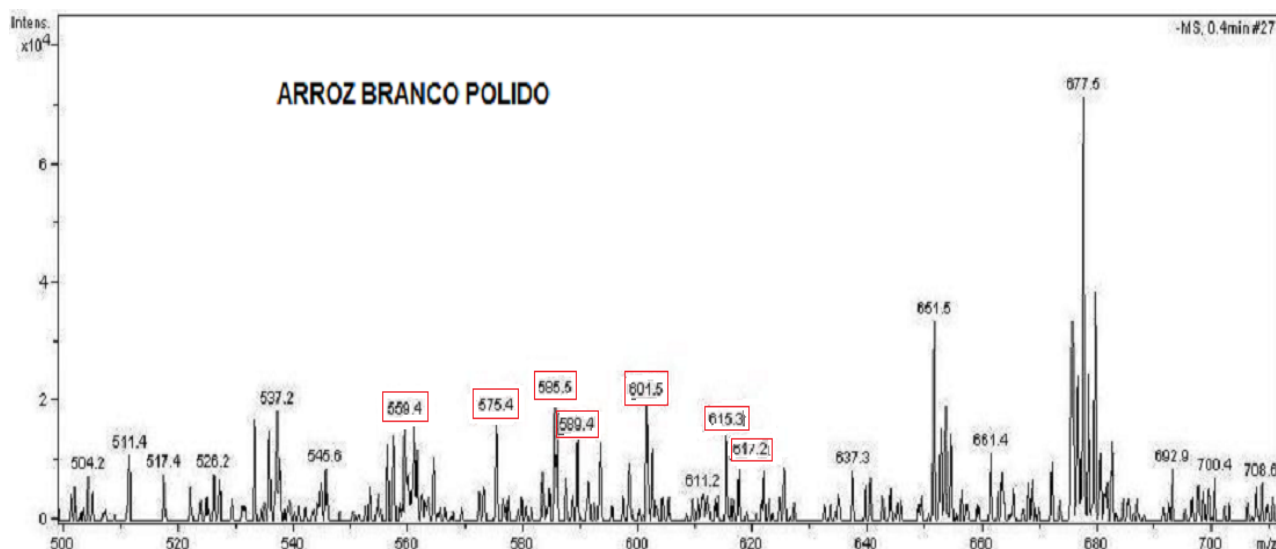


Figura 13. Espectros de massa dos constituintes majoritários da fração γ -orizanol do óleo de arroz branco polido.

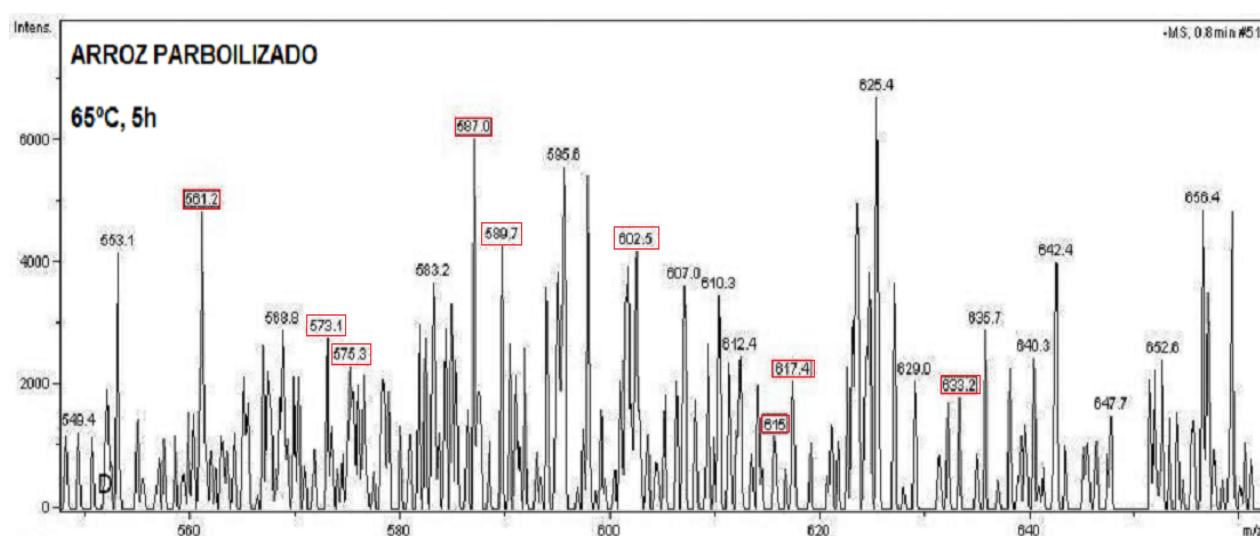


Figura 14. Espectros de massa dos constituintes majoritários da fração γ -orizanol do óleo de arroz parboilizado. Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min).

Tabela 14. Compostos majoritários da fração γ -orizanol e suas respectivas massas, presente no óleo de arroz.

Composto	[M-H] ⁻	[M-H-Me] ⁻
trans-ferulato de campesteril	575	560
cafeato de cicloartenil	587	572
trans-ferulato de sitosteril	589	574
trans-ferulato de cicloartenil	601	586
trans-ferulato de 24-metilenocicloartanil	615	600
trans-ferulato de 24-metilcicloartanil	617	602
24 ou 25-hidroxi trans-ferulato de 24-metilcicloartanil	633	618

Ao comparar-se o caráter hidrofóbico dos lipídios, especialmente os triacilgliceróis, que os tornam menos atingidos pelos fenômenos de difusão e lixiviação, típicos da operação de encharcamento, com a fração γ -orizanol, portadora na estrutura molecular, de grupos polares metoxila e hidroxila no anel aromático do ácido ferúlico, pode-se levantar a hipótese de que essa fração estaria mais sujeita aos fenômenos de difusão e lixiviação na operação de encharcamento. Esse fato pode justificar pequenas perdas de γ -orizanol para a água de encharcamento.

Segundo Pongamphai et al. (2008), o melhor método para extração da fração γ -orizanol é feito pela combinação dos solventes orgânicos hexano, apolar, para separação das frações saponificável e insaponificável do óleo, e etanol, polar, para solubilização do γ -orizanol, constituído de alcoóis triterpênicos e esteróis do ácido ferúlico, também moléculas polares. O autor faz menção ao método de extração por Soxhlet, em virtude da temperatura e tempo utilizados, pode levar a degradação dos compostos antioxidantes.

Gonçalves (2007) comparando os teores de γ -orizanol no óleo proveniente do grão beneficiado sob a forma de branco polido, com o óleo do seu respectivo farelo, observou que através do polimento houve perda acima de dez (10) vezes do grão para o farelo. Em contrapartida, o óleo dos grãos parboilizados teve um aumento na concentração de γ -orizanol ao redor de seis (6) vezes comparado com os grãos não parboilizados, evidenciando a migração dessa fração das partes mais externas para as mais internas do grão, visto que não foram detectados γ -orizanol no farelo parboilizado, incrementando o valor nutracêutico do produto.

4.2. EXPERIMENTO II: Efeitos do tempo de encharcamento, a 65°C sobre parâmetros de avaliação química, tecnológica e de qualidade de consumo, perfil lipídico e γ -orizanol em grãos de arroz polidos parboilizados.

4.2.1 Perfil branquimétrico e colorimétrico

Foi observado que, em grãos crus, o tempo de encharcamento interfere no perfil branquimétrico do arroz, havendo reduções de graus de brancura e de polimento quando o tempo de encharcamento é aumentado de 5 para 6 horas, diferentemente do que ocorreu com a ampliação do tempo de 4 para 5 horas, que não alterou nenhum dos parâmetros (Tabela 15). Quando cozidos, os grãos de arroz têm seu perfil colorimétrico uniformizado, independentemente do tempo de encharcamento utilizado na parboilização (Tabela 16).

Tabela 15. Perfil branquimétrico dos grãos de arroz parboilizado polido.

Condição de Encharcamento		Brancura (%)	Transparência (%)	Polimento (%)
Temperatura (°C)	Tempo (h)			
65	4	37,9a	3,44a	88a
	5	37,1a	3,39a	83a
	6	34,8b	3,38a	75b

Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 16. Perfil colorimétrico, dos grãos cozidos, de arroz parboilizado polido

Condição de Encharcamento		Luminosidade	A (-) Vermelho	B (+) Amarelo
Temperatura (°C)	Tempo (h)			
65	4	73,3a	1,0a	11,6a
	5	71,6a	1,4a	9,6a
	6	69,3a	1,2a	10,7a

Médias seguidas por letras iguais, não diferem entre si, pelo teste de ANOVA.

A mudança de cor nos grãos de arroz, do branco para amarelo, durante as etapas no processo de parboilização, é devido às modificações estruturais dos glicosídeos e acoplamentos de peptídeos, conhecidos como reação de Maillard, conforme afirmam Sirisoontarak e Noomhorm (2006), ou ainda pela formação das melanoidinas devido à oxidação de fenóis (ZANÃO et al., 2009).

Os colorímetros usam sensores que simulam a visão do olho humano para com a cor, e quantificam diferenças de cor. A avaliação da cor é um fator importante para a qualidade do arroz parboilizado, constituindo um aspecto determinante na aceitação deste produto pelos consumidores.

Não foi detectado diferença no parâmetro luminosidade das amostras submetidas aos diferentes tempos de encharcamento na parboilização, demonstrando que após o cozimento, os grãos parboilizados tornaram-se mais homogêneos. Os valores de luminosidade variam de negro ($L = 0$) a branco ($L = 100$), ou seja, quanto mais próximo de 100, mais clara é a amostra, e quanto mais distante, mais escura. O valor a^* , caracteriza coloração na região do vermelho (+a) ao verde (-a); e o valor b^* , indica coloração no intervalo do amarelo (+b) ao azul (-b).

4.2.2 Perfil texturométrico

A hidratação por 6 horas na parboilização alterou os atributos texturométricos do arroz cozido, conforme se pode observar na Tabela 17, comparado com as demais amostras parboilizadas com encharcamento durante 4 e 5 horas.

Tabela 17. Análise das propriedades de textura dos grãos cozidos de arroz parboilizado, com encharcamento a 65°C.

Atributos	Tempo de encharcamento		
	4h	5h	6h
Firmeza (g)	6952a	6865a	5762b
Adesividade (J)	2,17b	2,27b	3,64a
Elasticidade (mm)	0,62a	0,61a	0,49b
Coesão (adimensional)	0,52a	0,50ab	0,47b
Gomosidade (N)	3657a	3967a	2761b
Mastigabilidade (N.mm)	2371a	2591a	1556b

Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na maior condição de hidratação avaliada, os atributos firmeza, gosmosidade e a mastigabilidade, tiveram reduções próximas a 20, 30 e 40%, respectivamente, afetando diretamente os grãos, no que se refere a atributos relacionados à

preferência do consumidor. A adesividade aumentou acima de 60%, com o aumento do tempo de encharcamento para 6h, resultando em grãos mais aderentes.

Com 6 horas de encharcamento, e com temperatura de 65°C, a água lixivia nutrientes para fora dos grãos, associado à remoção de proteínas, lipídios, fibra e minerais durante o polimento; os grãos parboilizados tendem a assemelhar-se aos grãos brancos polidos quanto a composição centesimal, a qual está fortemente ligada aos atributos textuométricos.

Segundo Lyon et al. (1999), os tipos e as severidades aplicadas pelos beneficiamentos industriais influenciam nas propriedades textuométricas dos grãos. Os resultados estão de acordo com o que foi observado por Rocha et al. (2008).

4.2.3 Parâmetros de cocção

Os diferentes tempos de hidratação na parboilização não alteraram significativamente o tempo de cozimento dos grãos de arroz (Tabela 18). As Figuras 15 e 16 demonstram os rendimentos gravimétricos e volumétricos das amostras de arroz parboilizado.

Tabela 18. Tempo de cocção dos grãos polido de arroz, beneficiados pelo processo industrial de branco polido e por parboilização.

Condição de Encharcamento		Tempo de Cocção (min)
Temperatura (°C)	Tempo (h)	
65	4	33a
	5	33a
	6	32a

Médias seguidas por letras iguais, não diferem entre si, pelo teste de ANOVA.

Com a reestruturação dos grãos de arroz, provocados pela parboilização, ocorre redução dos espaços internos, dificultando a entrada de água no grão, fazendo-se necessária uma proporção maior de água para a cocção deste tipo de arroz. Pela dificuldade na hidratação dos grãos durante a cocção, é necessário, também um maior tempo, e com isso, ocorre uma maior evaporação de água durante o processo.

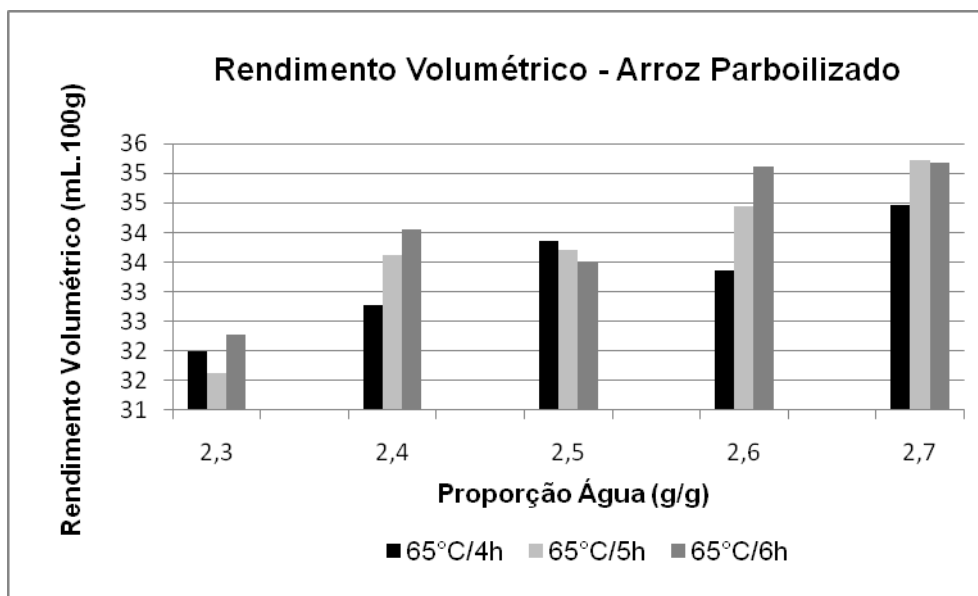


Figura 15. Rendimento volumétrico de arroz parboilizado, com encharcamento a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.

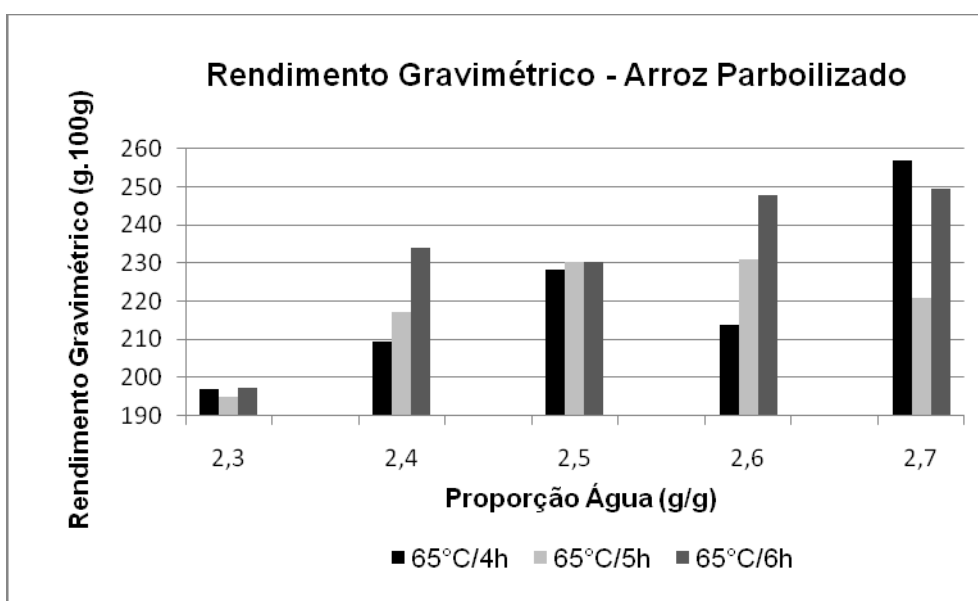


Figura 16. Rendimento gravimétrico de arroz parboilizado, com encharcamento a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.

Pela observação das Figuras 15 e 16, foram selecionadas as melhores condições de rendimento volumétrico e gravimétrico (2,5), as quais foram utilizadas para as demais análises que incluíam grãos cozidos de arroz (perfil texturométrico, análise sensorial e perfil colorimétrico).

4.2.4 Avaliação sensorial

O encharcamento a 65°C durante 6 horas acentuou ainda mais a coloração amarela conferida pela parboilização quando comparado ao tempo de hidratação de 4 horas (Tabela 19). Assim como a coloração, o odor e o sabor também tiveram seus resultados aumentados em função do maior tempo de encharcamento.

Tabela 19. Avaliação de atributos sensoriais das amostras de grãos cozido de arroz parboilizado a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.

Atributo Sensorial	Tempo de encharcamento		
	4h	5h	6h
Cor	4,3b	5,2ab	6,1a
Brilho	2,1b	3,2ab	4,1a
Odor	4,2b	5,0b	6,6a
Soltabilidade	5,7a	5,8a	6,0a
Sabor	4,0b	4,9b	6,4a
Firmeza	4,3b	5,3a	5,1a

Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O atributo soltabilidade não foi influenciado pelas variações do tempo de hidratação, o que sugere a ocorrência de baixa lixiviação das proteínas e do amido, componentes estes responsáveis pela pegajosidade do grão. As diferenças nos teores de amilose conferem ao grão de arroz variações quanto à firmeza e à soltabilidade, o que influencia a qualidade culinária. Chandier (1994) explica que quanto maior for o teor de amilose no grão, mais separados estes ficarão após a cocção.

A amostra hidratada durante 6 horas, teve seu atributo brilho configurado como regular, enquanto a amostra hidratada por 4 horas apresentou brilho ligeiramente opaco. Conforme relatam Gularte et al. (2005), os lipídeos, além de intensificar o sabor, conferem maior intensidade de brilho ao grão; desta forma, é possível que o maior tempo de encharcamento tenha promovido uma lixiviação maior de lipídeos para o interior do grão. O maior tempo de hidratação também foi o responsável pela maior concentração de pigmentação escura, associado às alterações química do próprio grão, como formação de melanoidinas ou dissoluções de pigmentos contidos na casca e transferidos para o interior do grão por difusão.

Estes resultados são importantes na definição da seleção de parâmetros operacionais na parboilização, pelos efeitos na preferência dos consumidores. Heinemann et al. (2006), por exemplo, aplicaram um questionário à 286 consumidores de arroz, na cidade de São Paulo/SP, avaliando o consumo de arroz, formas de ingestão, e conhecimento sobre as características do arroz parboilizado. Como caracterização sobre o produto, os consumidores afirmaram: o arroz parboilizado é mais nutritivo que o arroz branco; cozido tem uma durabilidade maior quando mantido em geladeira.

As características do arroz parboilizado mais apreciadas pelos consumidores brasileiros são a uniformidade, integridade e o tamanho dos grãos, em contrapartida, a coloração, o sabor e o odor acentuados são os critérios mais rejeitados, além do maior tempo necessário para o cozimento dos grãos, sendo que após a cocção a aceitação do arroz parboilizado equivale-se a do arroz branco polido.

A preferência dos consumidores brasileiros é pelo arroz branco polido do tipo longo fino, conhecido como “agulhinha”, enquanto que os consumidores indianos e paquistaneses preferem o arroz parboilizado em função da firmeza e soltabilidade que apresentam os grãos; e no Japão a preferência se dá pela variedade japônica, caracterizada por ser de textura macia e ter maior aderência entre os grãos. Os resultados são compatíveis com relatos da literatura (JULIANO, 1985; HEINEMANN et al., 2006).

4.2.5 Perfil lipídico

A caracterização do óleo dos grãos de arroz beneficiados pelo processo de parboilização permitiu identificar a presença de oito ácidos graxos (mirístico, palmítico, linoléico, oléico, elaídico, esteárico, araquídico e lignocérico), através da solução padrão dos seus respectivos ésteres metílicos.

As Figuras 17, 18 e 19 mostram os cromatogramas dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizados, com encharcamento a 65°C, por 4, 5 e 6 horas, respectivamente, e a Tabela 20 apresenta as concentrações (%) dos respectivos ésteres metílicos, calculados em relação à área normalizada dos picos. Todas as amostras de óleo foram derivatizadas antes da injeção no cromatógrafo.

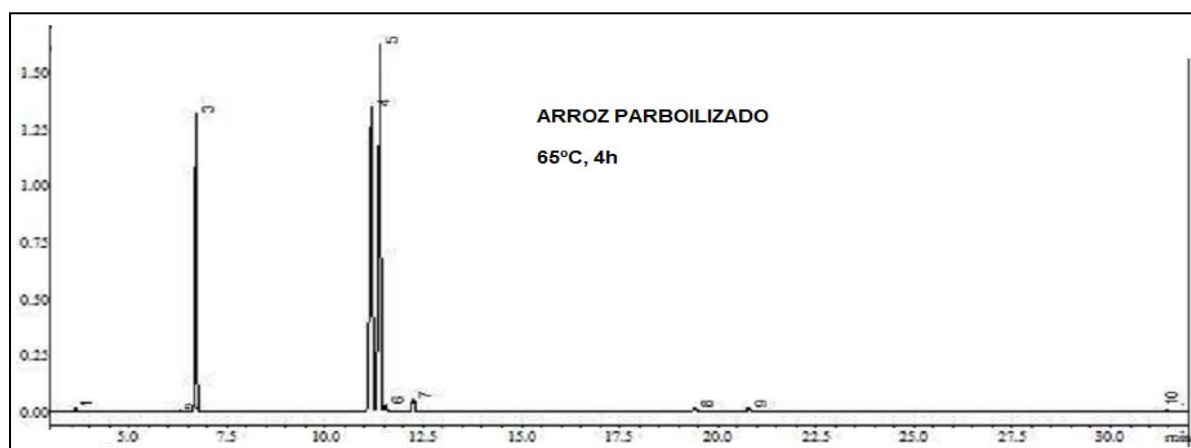


Figura 17. Cromatograma do GC/FID dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizado. Encharcamento: 65°C, 4h; autoclavagem: 110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min. Condições: 180°C (0 min) – 1°C/min – 210°C – 10°C/min – 280°C (10 min). Tcoluna: 180°C; Tdetector: 280°C e Tinjetor: 280°C; Coluna capilar DB-5.

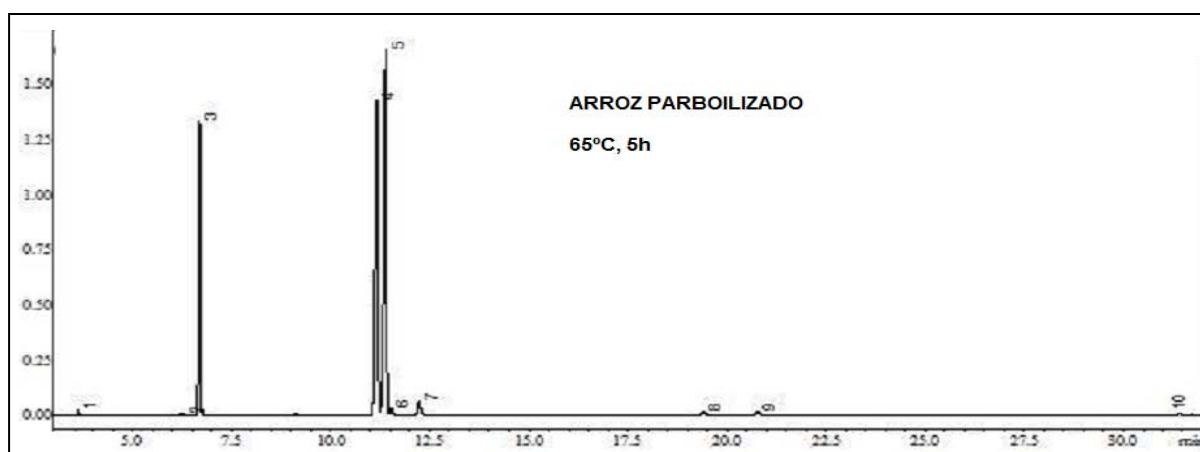


Figura 18. Cromatograma do GC/FID dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizado. Encharcamento: 65°C, 5h; autoclavagem: 110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min. Condições: 180°C (0 min) – 1°C/min – 210°C – 10°C/min – 280°C (10 min). Tcoluna: 180°C; Tdetector: 280°C e Tinjetor: 280°C; Coluna capilar DB-5.

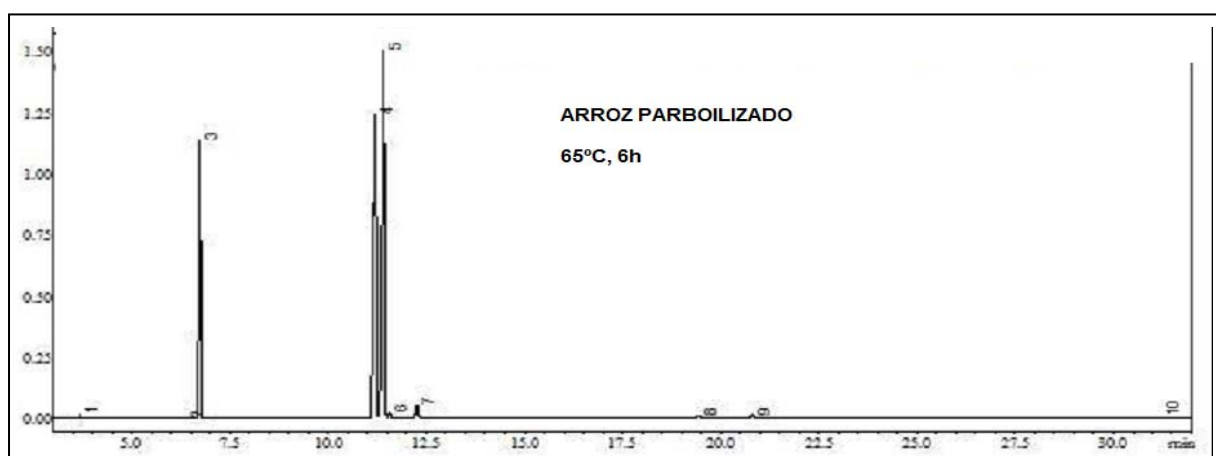


Figura 19. Cromatograma do GC/FID dos ésteres metílicos dos ácidos graxos do óleo de arroz parboilizado. Encharcamento: 65°C, 6h; autoclavagem: 110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min. Condições: 180°C (0 min) – 1°C/min – 210°C – 10°C/min – 280°C (10 min). Tcoluna: 180°C; Tdetector: 280°C e Tinjetor: 280°C; Coluna capilar DB-5.

Tabela 20. Concentração (%) dos ácidos graxos presentes no óleo do arroz parboilizado, com encharcamento a 65°C, por 4, 5 e 6 horas.

Nº Pico	Éster metílico do ácido:	Tempo de encharcamento		
		4h	5h	6h
1	Mirístico	D 0,21a	D 0,20a	D 0,19a
2	Palmitoléico*	D 0,13a	D 0,12a	D 0,12a
3	Palmítico	C 20,69a	D 20,39a	C 20,25a
4	Linoléico	B 35,36a	B 36,06a	B 35,50a
5	Oléico	A 40,16a	A 39,95a	A 40,49a
6	Elaídico	D 0,71a	D 0,69a	D 0,73a
7	Esteárico	D 1,47a	D 1,43a	D 1,50a
8	Não identificado**	D 0,49a	D 0,41a	D 0,47a
9	Araquídico	D 0,56a	D 0,54a	D 0,55a
10	Lignocérico	D 0,21a	D 0,20a	D 0,19a

* Ácido graxo identificado por comparação na literatura. **A. G. não identificado por falta do seu padrão correspondente. Parboilização: encharcamento (65°C, por 4, 5 e 6h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância. (letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha).

Analisando conjuntamente os cromatogramas das Figuras 17, 18 e 19, e a Tabela 20, verifica-se que não houve diferença na concentração de ácidos graxos entre os tempos de encharcamento, ou seja, as condições de tempo de encharcamento testadas não promoveram alterações no perfil lipídico dos grãos parboilizados.

Este resultado indica que a distribuição, composição e concentração dos ácidos graxos presentes da fração lipídica dos grãos estão distribuídos uniformemente na cariopse, o que também foi constatado por Gonçalves (2007). O autor ao estudar a fração lipídica de grãos de arroz beneficiados por processos diferentes, verificou que nenhuma condição foi capaz de modificar a composição e a concentração dos ácidos graxos.

A composição do óleo de arroz, através da observação da Tabela 20 foi predominantemente de ácidos graxos insaturados, oléico e linoléico, representando mais de 75%, independente do tempo de encharcamento avaliado. O ácido graxo saturado mais expressivo é o palmítico, presente na concentração de 20% do óleo. Juntas, essas frações constituem cerca de 95,0% do total de ácidos graxos presentes nas amostras.

As proporções relativas dos demais ácidos graxos, embora sejam qualitativamente importantes, quantitativamente são pouco expressivas. Os resultados observados são semelhantes aos relatados por KIM et al. (1999), AMANTE et al. (2005), ANWAR et al. (2005), GONÇALVES (2007).

4.2.6 Perfil do γ -orizanol

A análise da fração γ -orizanol no óleo dos grãos de arroz beneficiados pelo processo de parboilização (com encharcamento a 65°C, durante 4, 5 e 6 horas) através da espectrometria de massas, permitiu identificar a presença dos constituintes majoritários dessa fração, utilizando solução padrão. O γ -orizanol é composto por alcoóis triterpenicos e esteróis ferulatos, os quais foram identificados utilizando o modo negativo, ESI-MS, através da desprotonização molecular dos íons.

As Figuras 20, 21 e 22 mostram os espectros de massas dos picos do íon negativo $[M-H]^-$ da análise de γ -orizanol nos óleos dos grãos de arroz parboilizados, e a Tabela 21 lista os principais compostos presentes nas amostras e apresenta as m/z do íon desprotonado $[M-H]^-$, além do fragmento mais abundante $[M-H-Me]^-$, quando ocorre a perda do ligante metila ($-CH_3$).

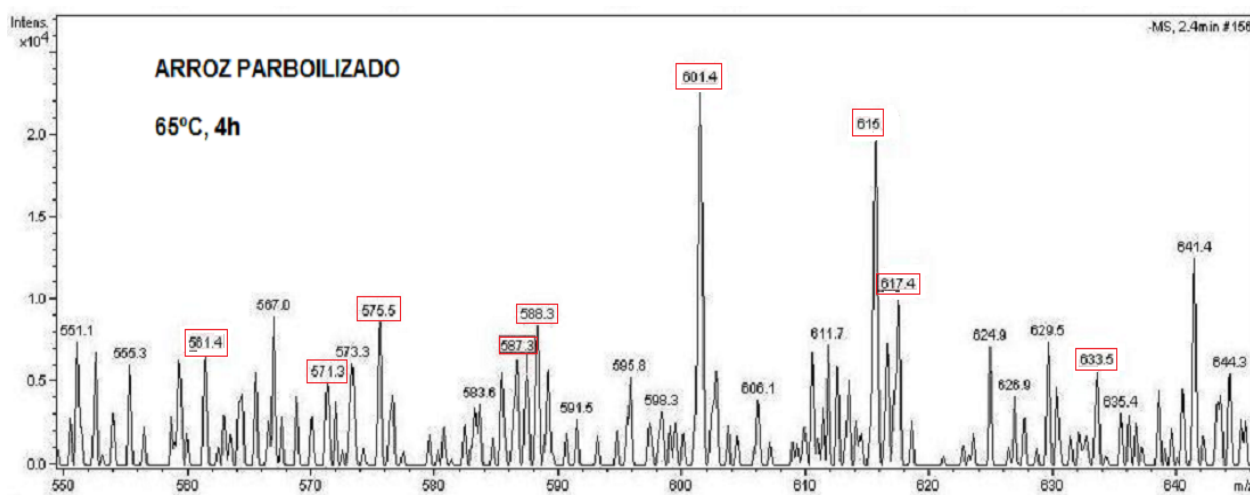


Figura 20. Espectros de massa dos constituintes majoritários da fração γ -orizanol do óleo de arroz parboilizado. Parboilização: encharcamento (65°C, 4h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min).

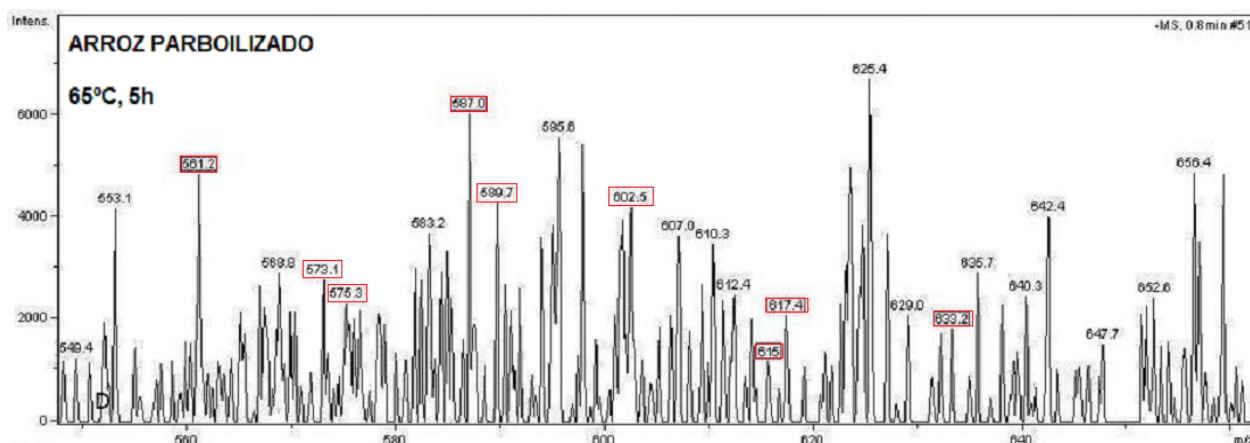


Figura 21. Espectros de massa dos constituintes majoritários da fração γ -orizanol do óleo de arroz parboilizado. Parboilização: encharcamento (65°C, 5h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min).

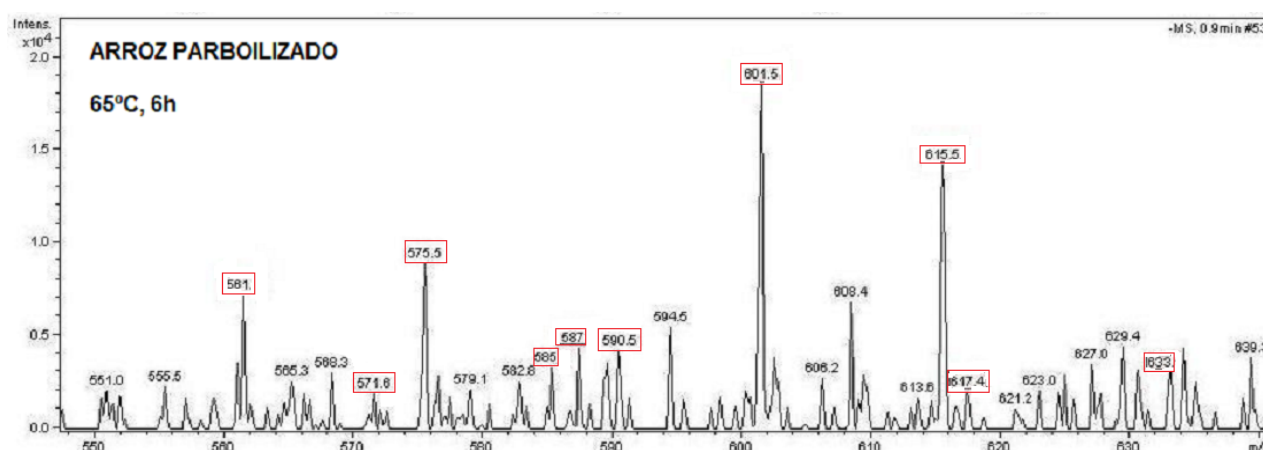


Figura 22. Espectros de massa dos constituintes majoritários da fração γ -orizanol do óleo de arroz parboilizado. Parboilização: encharcamento (65°C, 6h); autoclavagem (110°C, 0,5kg.cm⁻², 10min).

Tabela 21. Compostos majoritários da fração γ -orizanol e suas respectivas massas, presente no óleo de arroz.

Composto	[M-H] ⁻	[M-H-Me] ⁻
trans-ferulato de campesterol	575	560
cafeato de cicloartenil	587	572
trans-ferulato de sitosteril	589	574
trans-ferulato de cicloartenil	601	586
trans-ferulato de 24-metilenocicloartenil	615	600
trans-ferulato de 24-metilcicloartenil	617	602
24 ou 25-hidroxi trans-ferulato de 24-metilcicloartenil	633	618

Analisando os espectrogramas do óleo de arroz parboilizado das Figuras 20, 21 e 22, é possível verificar que os tempos de encharcamento testados não alteraram qualitativamente os espectros de massa da fração γ -orizanol, sendo identificados os mesmos compostos em todas as amostras de óleo.

Gonçalves (2007) observou um aumento na concentração de γ -orizanol no óleo dos grãos de arroz parboilizado, visto que seu respectivo farelo apresentou teores insignificantes (traços). Em contrapartida, o farelo de arroz não parboilizado é o maior detentor da fração γ -orizanol, representando mais de dez (10) vezes a concentração encontrada no grão não parboilizado, evidenciando a migração do γ -orizanol para o interior do grão, durante a parboilização.

Convém ressaltar que a fração γ -orizanol, composta por grupos polares na sua estrutura, sofre fenômenos de difusão e lixiviação durante a hidratação dos grãos de arroz, podendo dessa forma, resultar em algumas perdas de γ -orizanol durante o processo de parboilização.

5 CONCLUSÕES

5.1. Comparado com o beneficiamento convencional de arroz branco, o processo de parboilização promove aumentos no rendimento de grãos inteiros, nas concentrações de proteínas, fibras, óleo e cinzas nos grãos polidos, na firmeza, na gomosidade e na mastigabilidade dos grãos cozidos, com reduções na adesividade dos grãos cozidos e nos índices de brancura, transparência e polimento.

5.2. O processo de parboilização não altera o perfil lipídico, a concentração dos ácidos graxos, nem o perfil dos compostos majoritários da fração γ -orizanol do óleo de arroz, sendo que o aumento do tempo de encharcamento também não provoca alterações nesses parâmetros

5.3. O aumento do tempo de encharcamento na parboilização promove aumento no parâmetro adesividade do perfil texturométrico e reduções no índice de brancura, na firmeza, na gomosidade e na mastigabilidade dos grãos cozidos

5.4. O aumento do tempo de encharcamento na parboilização não altera parâmetros como tempo e rendimentos gravimétricos e volumétricos na cocção do arroz, mas promove diferenças significativas nos atributos sensoriais, intensificando cor nos grãos crus, sabor e odor nos grãos cozidos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIAP. Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado. **Arroz Parboilizado**. <<http://www.abiap.com.br>>. 2010.
- AMANTE, E.R; SILVA, M.A. da. **Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran**. Journal of Food Engineering. 2005.
- AMATO, G. W.; SILVEIRA, S. **Parboilização de arroz no Brasil**. Porto alegre: Cientec, 1991. 91p.
- AMATO, G.W. **Arranjos produtivos do arroz**. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre. Vol 54 (439), p14-15. 2006.
- AMATO, G.W. **Parboilização e qualidade do arroz**. IN: ELIAS, M.C e LORINI, I. In: II Simpósio Sul-Brasileiro de Qualidade Arroz. Pelotas Abrapós/UFPEL. p.349-364. 2005.
- AMATO, G.W.; CARVALHO, J.L.V.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz Parboilizado: Tecnologia Limpa, Produto Nobre**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2002, 240p.
- AMATO, G.W.; ELIAS, M.C. **A Parboilização do Arroz**. 1. ed. Porto Alegre: Ricardo Lenz Editor, 2005. v.1, 160p.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC Resolução 482. **Regulamento técnico referente a óleos e gorduras vegetais**, 1999.
- ANWAR, F; ANWER, T; MAHMOOD, Z. **Methodical characterization of rice (*Oryza sativa*) bran oil from Pakistan**. Grasas y Aceites, v.56, n.2, p.125-134, 2005.
- AOAC. **Official Methods Of Analysis Of The Association Of Official Analytical Chemists**. 16th ed., Washington, DC, 1997.
- AOCS. American Oil Chemists' Society. **Official and tentative methods of the American Oils Chemists' Society**, Champaign, IL., 1998.
- BEHRENS, J. H. *et al.* **Parboiled rice: A study about attitude, consumer liking and consumption in São Paulo, Brazil**. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 992–999. 2007.
- BELLO, M.; BAEZA, R.; TOLABA, M.P.; **Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment**. Journal of Food Engineering. V. 72 p. 124–133, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Norma de classificação, embalagem e marcação do arroz. Instrução Normativa Nº 6**, Diário Oficial da União, Seção 1, Página 3. 2009.

- CHAMPAGNE, E. T.; LYON, B. G.; MIN, B. M.; VINYARD, B. T.; BETT, K. L. *et al.* **Effects of postharvest processing on rice texture profile analysis.** Cereal Chemistry, v.75, p.181-186, 1998.
- CHANDIER, R. F. **Arroz en los trópicos.** São José. Costa Rica: CIDIA, 1994. 304p.
- CHOTIMARKORN, C. *et al.* **Antioxidant components and properties of five long-grained rice bran extracts from commercial available cultivars in Thailand.** Food Chemistry 111. p. 636–641. 2008.
- CHOUDHURY, N. H; JULIANO, B. **Effect of amilose content on the lipids mature rice grain.** Phytochemistry, v.19, n.7, p.1385-1389, 1980.
- CICERO, A.F.C; GADDI, A. **Rice bran oil and γ -orizanol in the tratament of hyperlipoproteinanemias and other conditions.** Phytotherapy Research 15 (4): 277-289. 2001.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. In: Acompanhamento de safra brasileira: **Grãos, décimo levantamento, julho/2009.** Brasília, 2010, 39p.
- DANIELSKI, L.; ZETZL, C.; HENSE, H.; BRUNNER, G. **A process line for the production of raffinated rice oil from rice bran.** Journal of Supercritical Fluids. V.34, p.133-141, 2005.
- DENARDIN, C.C.; SILVA, L.P.; STORCK, C.R.; NÖRNBERG, J.L. **Mineral composition of brown, parboiling and white rice cultivars.** Alim. Nutr., Araraquara, v. 15, n. 2, p. 125-130, 2004.
- DIAS, A.R.G; TAVARES, A.C.K. **Amidos modificados e produtos do arroz.** IN: ELIAS, M.C; LORINI, I. IN: II Simpósio Sul-Brasileiro de Qualidade Arroz na Pós-Colheita. Pelotas Abrapós/UFPEL. 389-398. 2005.
- DORS, G. C.; PINTO, R. H.; FURLONG, E. B. **Influência das condições de parboilização na composição química do arroz.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol. 29, n.1, p. 219-224. 2009.
- ELBERT, G.; TOLABA, M.P.; SUÁREZ, C.; **Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice.** Journal of Food Engineering. V. 47 p. 37-41, 2001.
- ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G.; DIONELLO, R. G.; OLIVEIRA, M. **Análises e Controle de Qualidade de Grãos.** In: Moacir Cardoso Elias. (Org.). Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos. 1 ed. Pelotas: Santa Cruz, v. 1, p.141-174, 2008.

- ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade**. 1ª ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária UFPEL, v.1, 424 p. 2007.
- ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G.; OLIVEIRA, M.; SCHIAVON, R. A.; PRESTES, D. N.; **Atualização tecnológica em análises de qualidade de grãos**. (Texto didático) 1º ed. Pelotas: Editora e Gráfica Santa Cruz, 143 p. 2009
- ELIAS, M. C.; FRANCO, D. F. **Pós-Colheita e Industrialização de Arroz**. In: Magalhães Júnior, A. M.; Gomes, A. S.; Santos, A. B. Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil. 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, v.1, p.229-240, 2006.
- ELIAS, M.C. **Efeitos da espera para secagem e do tempo de armazenamento na qualidade das sementes e grãos do arroz irrigado**. Pelotas, Tese (Doutorado) 164f. 1998.
- ELIAS, M.C. **Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos**. Pelotas: Ed. Santa Cruz. 367p, 2008.
- ELIAS, M.C; GULARTE, M.A; SCHIRMER, M.A; AMATO, G.W. **Qualidade de arroz na agroindústria**. IN: ELIAS, M. C. e LORINI, I. In: II Simpósio Sul-Brasileiro de Qualidade Arroz na Pós-Colheita. Pelotas Abrapós/UFPEL. 225-241. 2005.
- FAGUNDES, C.A.A.; LOPES, S.I.G.; LOPES, M.C.B.; ROSSO, A.F.; CRUZ, R.P.; CARMONA, P.S.; GULARTE, M.A.; ELIAS, M.C. **Características tecnológicas, propriedades de consumo e parâmetros de parboilização dos grãos de arroz dos cultivares IRGA 423 e IRGA 424**. In: V Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado e XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 2007, Pelotas - RS. Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado - SOSBAI, v. 2, 510-513p, 2007.
- FANG, N.; YU, S.; BADGER, T.M. **characterization of triterpene alcohol and sterol ferulates rice bran using LC-MS/MS**. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51: 3260-3267. 2003.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Issues And Challenges In Rice Technological Development For Sustainable Food Security**. The International Rice Commission, Bangkok, Thailand, 23-26 July 2002. <http://fao.org>. 2010
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical databases**. <http://www.fao.org>. 2009.
- FREI, M.; SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. **Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines**. Food Chem., v. 83, p. 395-402, 2003.

- GARCIA, M. J. L. *et al.* **Composition, industrial processing and applications of rice bran γ -oryzanol**. Food Chemistry, 115, 389–404. 2009.
- GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação. 899p. 2004.
- GONÇALVES, P.R. **Influência da temperatura da água na operação de encharcamento sobre a fração lipídica do arroz parboilizado**. Pelotas, UFPel. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 74 p, 2007.
- GULARTE, M.A. **Manual de Análise Sensorial de Alimentos**. Pelotas: Edigraf UFPEL, 2002. 59p.
- GULARTE, M.A; SCHIRMER, M.A; ELIAS, M.C. **Arroz: qualidade de consumo e hábitos do consumidor**. IN: ELIAS, M. C e LORINI, I. IN: II Simpósio Sul-Brasileiro de Qualidade Arroz na Pós-Colheita. Pelotas Abrapós/UFPEL. 331-348. 2005.
- HAMID, A. A., *et al.* **Preliminary study of the chemical composition of rice milling fractions stabilized by microwave heating**. Journal of Food Composition and Analysis 20: 627–637, 2007.
- HEINEMANN, R.J.B. ; BEHRENS, J.H. ; LANFER-MARQUEZ, U.M. **A study on the acceptability and consumer attitude towards parboiled rice**. International Journal of Food Science & Technology, v. 40, 1-8p, 2006.
- HEINEMANN, R.J.B; FAGUNDES, P.L; PINTO, E.A; PENTEADO, M.V.C; MARQUES, U.M.L. **Comparative study of nutrient composition of commercial Brown, parboiled and milled rice from Brasil**. Journal of Food Composition and Analysis. 18: 287-296. 2005.
- HOSENEY, R.C. **Principles of cereal science and technology**. 2 edition. Edited by Hoseney: C. American Association of Cereal Chemists, USA, 1991.
- IQBAL, S; BHANGER, M.I; ANWAR, F. **Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan**. Food Chemistry. 93(2): 265-272. 2005.
- IRGA – Instituto Riograndense do Arroz. <http://irga.rs.gov.br>. 2009.
- JAHN, G. B. **Extração supercrítica de óleo de farelo de arroz e obtenção de frações enriquecidas em γ -orizanol**. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. (Dissertação de mestrado).107p. 2004.
- JULIANO, B.O. **Rice in Human Nutrition**. FAO, Rome. <<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/t0567e/t0567e00.htm>>. 2009.

- JULIANO, B.O.; BECHTEL, D.B. **The rice grain and its gross composition**. In: Rice: chemistry and technology. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, Cap.2, p.17-57. 1985.
- JULIANO, C; COSSU, M; ALAMANNI, M.C; PIU, L. **Antioxidant activity of gamma-oryzanol: mechanism of action and its effect on oxidative stability of pharmaceutical oils**. Int. J. Pharmac. 299 (1-2), 146-154. 2005.
- KIM, H.J; LEE, S.B; PARK, K.A; HONG, I.K. **Characterization of extraction and separation of rice bran oil rich in EFA using SFE process**. Separation Purification Technology.15: 1-8, 1999.
- KIM, J.C., MULLAN, B.P., HAMPSON, D.J., PLUSKE, J.R. **Effects of amylose content, autoclaving, parboiling, extrusion, and post-cooking treatments on resistant starch content of different rice cultivars**. *Aust J Agric Res*, 57:1291–6p, 2006.
- KITTA, K; EBIHARA, M; IIZUKA, T; YOSHIKAWA, R; ISSHIKI, K; KAWAMOTO, S. **Variations in lipid content and fatty acid composition of major non-glutinous rice cultivars in Japan**. Journal of Food Composition and Analysis. 18: 269-278. 2005.
- LANÇAS, F. M.; **A cromatografia líquida moderna e a espectrometria de massas: finalmente “compatíveis”?**. Scientia Chromatographica, v.1, n.2:35-61, 2009.
- LEE, H.S; HWANG, Y.H; JANG, Y. S; KIM, M.K. **Fatty acid composition of rice bran oil and growth-promoting effect of rice bran extract and rice bran oil on *Bifidobacterium* and *Lactobacillus***. Agricultural Chemical Biotechnology. 45(3):121-124. 2002.
- LEE, J.W; LEE, S.W; KIM, M.K; RHEE, C; KIM, I.H; LEE, K.W. **Beneficial effect of the unsaponifiable matter from rice bran on oxidative stress in vitro compared with α -tocopherol**. Journal of the Science of Food and Agriculture 85: 493-498. 2005.
- LILITCHAN, S. *et al.* **Partial extraction method for the rapid analysis of total lipids and γ -oryzanol contents in rice bran**. Food Chemistry 106: 752–759. 2008.
- LOBO, A.R; SILVA, G.M.L. **Amido resistente e suas propriedades físico-químicas**. Revista de Nutrição. v 16, nº 2. Campinas. 2003.

- LYON, B. G., *et al.* **"Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices."** Cereal Chemistry. V. 77.n.1 p.64-69, 2000.
- LYON, B.G.; CHAMPAGNE, E.T.; VINYARD, B.T.; WINDHAM, W.R. *et al.* **Effects of Degree of Milling, Drying Condition, and Final Moisture Content on Sensory Texture of Cooked Rice.** Cereal Chemistry. 76(1):56-62. 1999.
- MAIA, L.H; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R; CABRAL, L.C.; FERNANDES, M.S. **Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.19, n.3, 1999.
- MARTINEZ, C. Y CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz.** Guia de estudo. Cali: CIAT, 75p, 1989.
- MATOS, F.J.A. **Introdução à fitoquímica experimental.** 3ª Ed., Fortaleza: Edições UFC, p. 148, 2007.
- MENEGHETTI, V.L.; OLIVEIRA, M.; MARTINS, I.G.; OLIVEIRA, L.C.; FAGUNDES, C.A.A.F.; ELIAS, M.C. **Drasticidade de polimento em parâmetros de desempenho industrial de grãos de arroz branco.** In: Anais do II Simpósio Sul-Brasileiro de Qualidade de Arroz, v.1, p. 623-628. 2005.
- MILLER, A., & ENGEL, K. H. **Content of γ -oryzanol and composition of steryl ferulates in brown rice (*Oryza sativa* L.) of European origin.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54, 8127–8133. 2006.
- MILLER, A; FRENZEL, T; SCHMARR, H. G; ENGEL, K.H. **Coupled liquid chromatography-gas chromatography for the rapid analysis of γ -orizanol in rice lipids.** Journal of Chromatography A. 985: 403-410. 2003.
- MIRA, N. V.De.; *et al.* **Comparative study of phenolic compounds in different Brazilian rice (*Oryza sativa* L.) genotypes.** Journal of Food Composition and Analysis, 22, 405–409. 2009.
- MOHAPATRA, D.; BAL, S. **Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice.** Journal of Food Engineering, v.80, p.119–125. 2007.
- MÜLLER, M.M. **Comportamento hidrotérmico do arroz na operação de encharcamento para parboilização.** Pelotas, UFPel, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pelotas, 31p, 1999.

- PARK, J.K.; KIM, S.S.; KIM, K.O. **Effect of Milling Ratio on Sensory Properties of Cooked Rice and on Physicochemical Properties of Milled and Cooked Rice.** Cereal Chemistry, v. 78, n° 2, p. 151-156, 2001.
- PATINDOL, J., NEWTON, J., WANG, Y.J. **Functional properties as affected by laboratory-scale parboiling of rough rice and brown rice.** Journal of Food Science: Food Engineering and Physical Properties, Vol. 73, N. 8, p. 370-377, 2008.
- PERRETTI, G; MINIATI, E; MONTANARI, L; FANTOZZI, P. **Improving the value of rice by-products by SFE.** Journal of Supercritical Fluids. 26: 63-71. 2002.
- PESTANA, V. R. ; ZAMBIAZI, R. C. ; MENDONÇA, C. R. B. ; BRUSCATTO, M. H.; LERMA, G. M..J; RAMIS-RAMOS, G. **Quality Changes and Tocopherols and Orizanol Concentrations in Rice Bran Oil During the Refining Process.** Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 85, p. 113-119, 2008.
- PONGAMPHAI, S. *et al.* **Extraction of α -tocopherol and γ -oryzanol from rice bran.** LWT - Food Science and Technology 41, 1417–1424. 2008.
- PRIESTLEY, R.J. **Studies on parboiled rice: Part 1- Comparison of the characteristics of raw and parboiled rice.** Food Chemistry. 1(1): 5-14. 1976.
- ROCHA, J. C. *et al.* **Efeito da seca-aeração no comportamento tecnológico do arroz parboilizado.** In: Simpósio Sul - Brasileiro de Qualidade de Arroz, 3, Anais, Moacir Cardoso Elias (Org.), Pelotas: Ed. Santa Cruz, V.1, p. 348-355, 2008.
- ROSELL, C.M.; BRITES, C.M. PÉREZ, E.; GULARTE, M. Arroz. In: LEÓN, A.E. **De tales harinas, tales panes:** granos, harinas y productos de panificación en iberoamérica. Córdoba: Hugo Baéz Editor. p. 123-160, 2007.
- RUKMINI, C; RAGHURAM, T.C. **Nutritional and biochemical aspects of the hypolipidemic action of rice bran oil: an review.** Journal of the American College of Nutrition. 10(6): 593-601, 1991.
- SCAVARIELLO, E.M; ARELLANO, D.B. **Gamma-oryzanol: an important component in rice bran oil.** Archives Latinoamerican Nutrition. 48 (1): 7-12. 1998.
- SCHIRMER, M.A; MACHADO, J; TAVARES, A.C.K. **Arroz: produtos e derivados na industria de alimentos.** IN: ELIAS, M. C e LORINI, I. IN: II Simpósio Sul-Brasileiro de Qualidade Arroz na Pós-Colheita. Pelotas Abrapós/UFPEL. 377-387 .2005.
- SILVA, J.A; ELIAS, M.C; NORA, L; DIAS, A.R.G; PETER, M.Z; SCHARDONG, C. **Isotermas de hidratação no encharcamento de três variedades de arroz para**

- parboilização.** In: Reunião da cultura do arroz irrigado, 21, Porto Alegre. 305-308, 1995.
- SINGH, S.; KALIA, M.; MALHOTRA, S.R. **Effect of parboiling, hand-pounding and Machine-milling on Chemical Composition of Rice.** Journal of Food Science and Technology, v.36, 434-435p, 2000.
- SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. **Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice.** Journal of Stored Products Research, v. 42, n. 3, p. 264-276, 2006.
- SLOAN, A.E. **Wholly grais!** Food Technol., Chicago, v.59, n6, p.16, 2005.
- SONDI, A.B; REDDY, I.M; BHATTACHARYA, K.R. **Effect processing conditions on the oil content of parboiled-rice bran.** Food Chemistry. 5(4): 277-282. 1980.
- SRIDHAR, B.S; MANOHAR, B. **Hydratation kinetics and energy analisys of parboiling indica paddy.** Biosystems Enginnering. 85 (2): 173-183. 2003.
- STORCK, C. R.; SILVA, L. P.; COMARELLA, C. G. **Process influence on nutritional composition of rice grains.** Alim. Nutr. Araraquara, v.16, n.3, p. 259-264, 2005.
- SUJATHA, S.J.; AHMAD, R.; BHAT, P.R. **Physicochemical properties and cooking qualities of two varieties of raw and parboiled rice cultivated in the costal region of Dakshima Kannada, India.** Food Chem. 86 (2). p.211-216, 2003.
- TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS. Universidade de Campinas (UNICAMP). <<http://www.unicamp.br/nepa/taco>>. 2010.
- TOMLINS, K.I. *et al.* **Urban preferences and sensory evaluation of locally produced and imported rice in West Africa.** Food Quality and Preference, 16, 79–89, 2005.
- WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L.A. **Arroz: composição e características nutricionais.** Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.4, 1184-1192p, 2008.
- WANG, Y. J. *et al.* **Functional Properties as Affected by Laboratory-Scale Parboiling of Rough Rice and Brown Rice.** Journal of Food Science – Vol. 73, Nr. 8, 370-377. 2008.
- ZANÃO, C. F. P. *et al.* **Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L.** Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 29(1): 46-55, 2009