



CAMILA DOS SANTOS RIBEIRO DE SOUZA

**APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS NA ESTABILIZAÇÃO DO  
FARELO DE ARROZ**

**CAMPINAS**

**2015**





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**Faculdade de Engenharia de Alimentos**

**CAMILA DOS SANTOS RIBEIRO DE SOUZA**

**APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS NA ESTABILIZAÇÃO DO FARELO DE ARROZ**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestra em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Neura Bragagnolo  
Co-orientadora: Dra. Michele Nehemy Berteli

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO  
DEFENDIDA PELA CAMILA DOS SANTOS RIBEIRO DE SOUZA  
E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. NEURA BRAGAGNOLO

A handwritten signature in blue ink, reading "Neura Bragagnolo", is written above a horizontal line.

**CAMPINAS**

**2015**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Márcia Regina Garbelini Sevillano - CRB 8/3647

So89a Souza, Camila dos Santos Ribeiro de, 1991-  
Aplicação de micro-ondas na estabilização do farelo de arroz / Camila dos Santos Ribeiro de Souza. – Campinas, SP : [s.n.], 2015.

Orientador: Neura Bragagnolo.  
Coorientador: Michele Nehemy Berteli.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Inativação. 2. Ácidos Graxos. 3. Armazenamento. 4. Lipase. 5. Arroz em casca. I. Bragagnolo, Neura. II. Berteli, Michele Nehemy. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Microwave application in the rice bran stabilization

**Palavras-chave em inglês:**

Inactivation

Fatty acids

Storage

Lipase

Paddy

**Área de concentração:** Ciência de Alimentos

**Titulação:** Mestra em Ciência de Alimentos

**Banca examinadora:**

Neura Bragagnolo [Orientador]

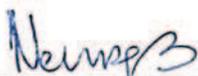
Antonio Marsaioli Junior

Roseli Aparecida Ferrari

**Data de defesa:** 11-09-2015

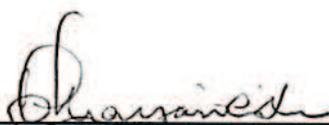
**Programa de Pós-Graduação:** Ciência de Alimentos

**BANCA EXAMINADORA**



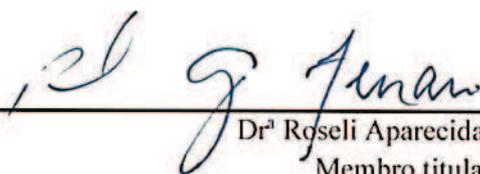
---

Profª Drª Neura Bragagnolo  
Presidente da banca  
UNICAMP/FEA/DCA



---

Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior  
Membro titular  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



---

Drª Roseli Aparecida Ferrari  
Membro titular  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

---

Profª Drª Celia Maria de Sylos  
Membro - Suplente

UNIVERSIDADE EST. PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO

---

Profª Drª Maria Teresa Pedrosa da Silva Clareici  
Membro – Suplente  
UNICAMP/FEA/DTA

Campinas, Setembro de 2015

## RESUMO

O beneficiamento do arroz branco gera toneladas de farelo de arroz por ano, que por sua vez apresenta *shelf-life* limitado, devido à alta atividade de lipases. Tratamentos térmicos visando à destruição enzimática utilizando micro-ondas têm sido utilizados, devido ao rápido aquecimento de materiais submetidos a essa tecnologia. O objetivo desse trabalho foi estudar a estabilização do farelo de arroz inativando lipases através de tratamentos por micro-ondas em grãos de arroz com casca (variedade IAC 500 e IAC 105), recém-colhidos em um aplicador de micro-ondas composto por uma cavidade que apresenta geometria prismática de seção sextavada. Em testes preliminares (TP) pesou-se 200 g de arroz da variedade IAC 105, estabeleceu-se a temperatura de tratamento em 92°C e aplicou-se densidades de potência (Dp) entre 0,5 e 2,0 W/g para otimizar as condições do tratamento térmico (TT) do arroz recém-colhido. A secagem dos grãos após o tratamento (até 12-13 g/100g de umidade) foi realizada no próprio equipamento combinando ar quente, vazão do ar em 2m<sup>3</sup>/min à temperatura de 60°C, e micro-ondas (potência transmitida de 200 W). Em seguida foi realizado o beneficiamento do arroz. Baseados nos TP os tratamentos cuja Dp de 1,5 W/g, ao atingir 92°C, foram reduzidas para 0,5 W/g (TP4) e 1,0 W/g (TP5) apresentaram melhor aquecimento, com temperatura média (TM) de 90,6 ± 0,3°C e 93,8 ± 0,8°C, respectivamente. A variedade IAC 500 (umidade = 29,36 ± 0,16 g/100g) na Dp de 1,5–0,5W/g (TT1) e 1,5–1,0W/g (TT2) apresentou TM = 91,19 ± 0,73 °C (TT1) e 93,40 ± 1,34 °C (TT2), inativação da peroxidase = 71,8 ± 7,4% (TT1) e 88,0 ± 0,6% (TT2) e rendimento médio de grãos inteiros = 73,5% (TT1/TT2). A variedade IAC 105 (umidade = 23,58 g/100g) na Dp de 1,5-0,5 W/g (TT3) e 1,5-1,0 W/g (TT4) apresentou TM de 93,14 ± 1,82 °C (TT3) e 95,91 ± 0,34 °C (TT4), inativação de 72,6 ± 1,4% (TT3) e 84,9 ± 1,2% (TT4) e rendimento = 43,5% (TT3/TT4). Os lipídios totais da variedade IAC 105 tratada por micro-ondas (TT3), definido como o melhor tratamento, e sem tratamento (controle) foram semelhantes em ambas amostras sendo a média igual a 7,84 ± g/100g. A estabilidade do farelo foi verificada na amostra IAC 105 (TT3) através do acompanhamento do índice de ácidos graxos livres (AGL) no farelo tratado por micro-ondas (TT3) e no farelo sem tratamento, cujos resultados variaram de 4,51 para 10,75 e 6,41 para 30,97 g de ácido oleico/100g, no tempo 0 e após 21 dias, respectivamente. A composição dos ácidos graxos (AG) não foi alterada com o tempo de estocagem para ambas amostras. Considerando os resultados do rendimento médio e da inativação da peroxidase, concluiu-se que tratamento por micro-ondas nas Dp de 1,5–0,5 e 1,5–1,0W/g foram eficientes na

estabilização do farelo de arroz a partir do arroz em casca com teor de umidade inicial de 29,36 g/100g.

**Palavras-chave:** inativação, lipase, arroz em casca, armazenamento, ácidos graxos.

## ABSTRACT

Processing of white rice generates tons of rice bran per year, which shows a short shelf-life due to its high lipase activity. Thermal treatment by microwave, which promotes a fast heating of materials, aiming at destroying enzymes have been used. The aim of this research was to study the rice bran stabilization, inactivating the lipases by treating the paddy and freshly harvested rice (variety IAC 500 and IAC 105) in a microwave applicator comprising a prismatic geometric cavity that presents a hexagonal section. In preliminary tests, (TP) 200 grams was weighed, the temperature was established at 92°C and the power density (Dp) varied from 0.5 to 2 W/g to optimize the conditions for freshly harvested paddy rice thermal treatment (TT). The grain drying after treatment (until moisture reaches 12-13 g/100g) was performed on the same cavity combining hot air, air flow 2m<sup>3</sup>/min at 60°C, and microwave (transmitted power 200 W). After that, the rice was processed. Based on the TP, the treatments in which the Dp was 1.5W/g, until reaching 92°C, were then reduced to 0.5W/g (TP4) and 1.0W/g (TP5) showing better heating, average temperatures (TM) = 90.6 ± 0.3°C and 93.8 ± 0.8°C, respectively. The IAC 500 variety (moisture = 29.36 g/100g) at Dp of 1.5-0.5W/g (TT1) and 1.5-1.0W/g (TT2) showed TM = 91.19 ± 0.73°C (TT1) and 93.40 ± 1.34 °C (TT2), peroxidase inactivation = 71.8 ± 7.4% (TT1) and 88.0 ± 0.6% (TT2) and average yield = 73.5% (TT1/TT2). The IAC 105 variety (moisture = 23.58g/100g) at Dp of 1.5-0.5W/g (TT3) and 1.5-1.0W/g (TT4) showed TM = 93.14 ± 1.82°C (TT3) and 95.91 ± 0.34°C (TT4), inactivation = 72.6 ± 1.4% (TT3) and 84.9 ± 1.2% (TT4) and average yield = 43.5% (TT3/TT4). The total lipids of microwave treated IAC 105 variety (TT3), defined as the best treatment, and the untreated rice (control) were similar in both samples, representing an average of 7.84 g/100g. The bran stability was confirmed in IAC 105 sample (TT3) by monitoring the rate of free fatty acids (FFA) in the microwave treated bran (TT3) and the untreated bran, varying from 4.51 to 10.75 and from 6.41 to 30.97 g of oleic acid/100g, at day 0 and 21, respectively. The fatty acid (FA) composition of both samples did not change during storage. Considering the results of average yield and peroxidase inactivation, we concluded that thermal treatments using microwave at Dp of 1.5-0.5 and 1.5-1.0 W/g were efficient in stabilizing rice bran from paddy rice at a initial moisture of 29.36 g/100g.

**Key words:** inactivation, lipase, paddy, storage, fatty acids.

## ÍNDICE

RESUMO.....	vii
SUMMARY.....	ix
1.INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Arroz, farelo de arroz e óleo.....	2
2.2 Oxidação lipídica.....	5
2.3 Micro-ondas: definição, funcionamento e finalidade.....	7
2.4 Métodos para estabilização enzimática do farelo de arroz.....	10
2.5 Utilização da energia de micro-ondas na estabilização enzimática do farelo de arroz.....	11
3. OBJETIVO.....	13
3.1 Objetivos específicos.....	13
3.1.1 Caracterização da amostra.....	13
3.1.2 Estabelecer as condições de tratamento do arroz.....	13
3.1.3 Verificar a estabilização do farelo do arroz.....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
4.1 Matéria-prima.....	14
4.2 Sistema de aplicação de micro-ondas.....	14
4.3 Procedimento experimental.....	16
4.3.1 Caracterização do farelo do arroz.....	16
4.3.1.1 Determinação da umidade do arroz e do farelo do arroz.....	17
4.3.1.2 Determinação de lipídios totais.....	17
4.3.1.3 Identificação/quantificação de ácidos graxos do óleo de arroz.....	17
4.3.2 Estabilização do farelo de arroz por micro-ondas .....	18
4.3.3 Beneficiamento do grão.....	20
4.4.3.1 Índice de quebra do grão de arroz.....	21
4.3.4 Determinação da atividade de peroxidase no farelo de arroz.....	21
4.3.5 Teor de ácidos graxos livres.....	22
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
5.1 Testes preliminares da estabilização do farelo de arroz por micro-ondas.....	22

5.2 Estabilização do farelo de arroz, obtido no grão de arroz em casca, por micro-ondas.....	28
5.3 Teor de lipídios totais e perfil de ácidos graxos do farelo de arroz.....	40
5.4 Efeito dos tratamentos térmicos na atividade da peroxidase.....	42
5.5 Acompanhamento do teor de ácidos graxos livres no farelo de arroz durante o período de estocagem.....	43
6. CONCLUSÃO.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O arroz está entre os três cereais mais produzidos e consumidos no mundo, dados da FAO estimam para o ano de 2015 uma produção de 749,8 milhões (mundial), 24,8 milhões (América do Sul), 12,15 milhões (Brasil) de toneladas de arroz em casca, sendo que a região Sul representa 9,424 milhões da produção nacional. De acordo com pesquisas a demanda nacional tem diminuído, visto que o consumo do grão não é proporcional ao crescimento populacional brasileiro. Segundo dados do Conab (2012) a quantidade anual, em 1974-75, per capita de arroz polido para consumo em domicílio era de 31,6 kg, mostrando uma redução bastante significativa até o ano de 2008-09 onde este número não ultrapassa 15,0 kg. De acordo com Barata (2005) alguns fatores como: mudanças de hábitos dos consumidores, aumento na demanda de alimentos mais práticos e de fácil e rápido preparo, aumento de refeições fora de casa e as variações na renda familiar do consumidor estão diretamente relacionados com o decréscimo no consumo do grão.

A estrutura do grão de arroz baseia-se em casca, película, germe e endosperma amiláceo, este por sua vez representa aproximadamente 90% de seu conteúdo. Para a comercialização do arroz, o grão é submetido a um processo de beneficiamento onde a casca é retirada originando o arroz integral ou pardo. No caso do arroz branco, ou polido, o qual é o mais comercializado e consumido quando comparado com os demais tipos de arroz, após a remoção da casca este é encaminhado para a etapa de brunimento e polimento, onde são retiradas a película e o germe (WANG e LUH, 1991).

Recebe o nome de farelo de arroz a película e o germe removidos na etapa de brunimento, que representa em torno de 8 a 10% do peso total do grão íntegro, dessa fração cerca de 16% são lipídios e 13% proteínas. Além disso possui também algumas vitaminas do complexo B sendo essas a B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e B3 (niacina) e minerais como fósforo, ferro e cálcio (BARATA, 2005; ROCHA, 2002; WALTER, MARCHEZAN e AVILA, 2008).

No período de 2010/2011, cerca de um milhão de toneladas de farelo de arroz foram gerados. Apesar de ser um subproduto de alto valor nutritivo grande parte do farelo não é destinado ao consumo humano, devido a sua alta atividade enzimática e grande concentração de lipídios, o que ocasiona a rancificação do produto, se o mesmo não for tratado logo após a sua obtenção. As enzimas lipases são responsáveis pela hidrólise de triglicerídeos do produto, o que

resulta em um aumento de ácidos graxos livres neste, levando à oxidação lipídica e com isso perda do valor nutricional e rejeição sensorial do produto (ROCHA, 2002; OLIVEIRA et al, 2012; PESTANA, MENDONÇA e ZAMBIAZI, 2008; GARCIA et al, 2012).

A deterioração do farelo pode ser retardada por tratamentos físicos e/ou químicos, ou através da extração imediata do conteúdo lipídico após o processo de beneficiamento do arroz (PAUCAR-MENACHO et al, 2007).

O uso de tecnologia de micro-ondas vem cada vez mais despertando interesse na indústria e na comunidade científica devido ao rápido aquecimento dos materiais quando submetidos a esse tipo de energia. Como consequência, os processos que usam o aquecimento dielétrico frequentemente apresentam vantagens na qualidade dos produtos finais, sem comprometer significativamente as características nutricionais, funcionais e sensoriais dos alimentos, que constituem demandas cada vez maiores do mercado consumidor. Outras vantagens desta tecnologia de grande potencial estão relacionadas a uma melhoria considerável no rendimento econômico, com tempos de processamentos mais curtos, menores espaços físicos requeridos e redução do uso de insumos, favorecendo ainda mais a relação benefício/custo. Além destas vantagens, outro fator de destaque é que as micro-ondas são altamente eficientes desde o momento de sua geração.

O tratamento térmico visando a destruição microbológica e/ou enzimática por micro-ondas em aplicadores monomodais em sistemas contínuos oferece aquecimento rápido e eficiente (BOLDOR et al., 2008; CORONEL et al., 2008; LIN e RAMASWAMY, 2011). Entretanto, no tratamento térmico de materiais sólidos, em cavidade multi-modo, uma grande dificuldade é manter a temperatura no produto homogênea durante o aquecimento por micro-ondas, uma vez que o padrão de aquecimento pode ser bastante irregular.

Com base nesses fatos, o objetivo do trabalho foi o estudo de tratamento térmico por micro-ondas em uma cavidade prismática de seção sextavada que gera um campo elétrico bem homogêneo, para promover a estabilização do farelo em grãos de arroz recém-colhidos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Arroz, farelo de arroz e óleo**

O arroz (*Oryza sativa L.*), pertencente à família *Gramineae*, é uma das principais culturas alimentares do mundo. Comumente cultivado em regiões inundadas, o arroz é considerado uma planta semi-aquática, porém é também plantado em regiões de planalto, indicando que grandes volumes de água não são necessários para seu desenvolvimento (JULIANO, 1985; MIKKELSEN e DATTA, 1991).

O ciclo de vida da planta do arroz é em torno de 100 a 210 dias, onde o tempo de semeadura até a colheita é de aproximadamente 130 a 150 dias. O binômio tempo/temperatura são fatores cruciais quanto ao desenvolvimento da planta (VERGARA, 1991).

A estrutura do arroz consiste em casca (arista, pálea e lema), película (pericarpo, tegumento, aleurona), gérmen (escutelo, epiblasto, plúmula e radícula) e endosperma amiláceo (Figura 1). A casca do arroz é composta basicamente de celulose, lignina, cinzas e cutina, que tem a função no grão de repelir água, devido a sua característica hidrofóbica. O endosperma é envolto por duas camadas distintas, pericarpo e tegumento formando a cariopse. O pericarpo possui coloração escura, o que confere a cor característica do arroz pardo (integral) e protege o tegumento, este por sua vez armazena o conteúdo de lipídios do grão (JULIANO e BECHTEL, 1985; ROCHA, 2002).

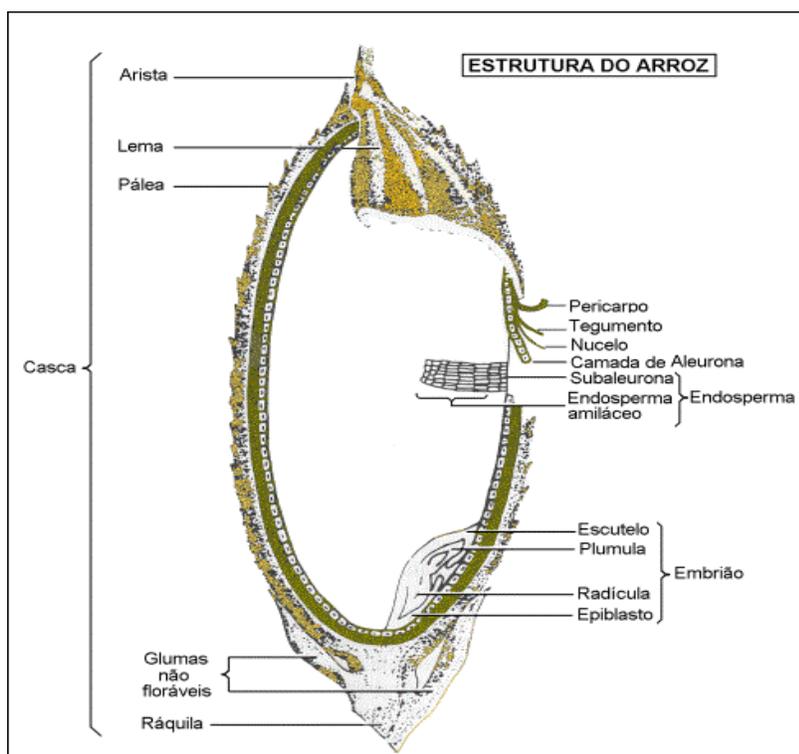


Figura 1. Estrutura do arroz (JULIANO & BECHETEL, 1985)

Após a colheita, o arroz ainda com casca recebe o nome de arroz bruto. Em seguida ocorre o processo de beneficiamento do arroz, que consiste em operações individuais como secagem, retirada da casca, brunimento e polimento. Após a retirada da casca, esse recebe o nome de arroz integral ou pardo. Na etapa de brunimento, com o farelo e parte do gérmen retirados, obtém-se o arroz branco. (WANG e LUH, 1991).

Estabelecer valores percentuais quanto à composição do farelo de arroz é difícil, uma vez que estes valores variam muito devido a alguns fatores, como: tipo de cultivar, tratamento antes do beneficiamento, tipo de processamento e o grau de brunimento a que o grão é submetido. Embora os padrões de qualidade do farelo não estejam descritos em uma legislação vigente no Brasil, na Tabela 1 encontram-se alguns limites recomendados pela indústria de arroz para o farelo de arroz estabilizado ou parboilizado (PESTANA, MENDONÇA e ZAMBIAZI, 2008). Ainda na Tabela 1 são citadas outras referências da composição química do farelo de arroz, sendo que o mesmo apresenta cerca de 16 g/100g de lipídios em sua composição. Segundo Juliano (1985) o aumento de ácidos graxos livres, principal motivo da rancificação do farelo, acontece devido à ação de lipases sobre os triacilglicerídeos. Com isso o farelo do arroz “fresco” deve ser desengordurado ou submetido a um tratamento térmico imediatamente.

O óleo extraído do farelo de arroz tem sido um assunto bastante discutido na literatura, devido à sua proporção adequada de ácido graxo saturado, insaturado e seu elevado nível de compostos bioativos, como gama orizanol, alguns componentes da vitamina B, como a riboflavina e vitamina E, como tocoferóis e tocotrienóis (BRUSCATTO et al, 2012; HEGSTED e KOUSIK, 1994; KAO & LUH, 1991). Mais de 90% dos ácidos graxos são palmítico, oleico e linoleico, além desses encontram-se os ácidos mirístico, palmitoleico, esteárico, linolênico e araquídico (KAO e LUH, 1991). Tais características tornam o farelo de arroz uma matéria-prima de vasta aplicação na indústria farmacêutica e nutracêutica, pois esse é boa fonte de vitamina E e orizanol, proteína e óleo de alta qualidade (REBECCA et al, 2007).

Tabela 1. Composição química do farelo de arroz

Composição química (%)	Farelo de grão longo <sup>1</sup>	Farelo de grão médio <sup>1</sup>	Farelo não especificado <sup>2</sup>	Farelo tratamento extrusado <sup>3</sup>	Farelo tratamento vapor <sup>3</sup>
Umidade	11,2	10,8	12 máx.	7,3	6,1
Ácidos graxos livres	4,0	4,6	4 máx.	-	-
Lipídios	19,20	21,97	16 mín.	15,9	17
Proteína	16,07	16,20	13,0 mín.	14,9	15,4
Fibra insolúvel	8,49	8,41	20,0 mín.	21,8	21,5
Fibra solúvel	-	-	9,0 máx.	1,9	2,0
Cinza	9,23	9,46	10,0 máx.	9,4	9,5
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	-	-	0,1 máx.	-	-
Carbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> )	-	-	2,0 máx.	-	-

Fonte: <sup>1</sup>TAO, RAO & LIUZZO (1993); <sup>2</sup>PESTANA, MENDONÇA e ZAMBIAZI (2008); <sup>3</sup>QUILEZ et al (2013).

## 2.2 Oxidação lipídica

Enzimas, microrganismos e insetos estão diretamente ligados à deterioração do farelo de arroz. As lípases são as principais responsáveis pela rancificação lipídica do farelo de arroz. No grão íntegro as lípases localizam-se em um compartimento distinto do conteúdo lipídico do grão, que por sua vez encontram-se na forma de esferossoma, portanto não há interação entre enzima e substrato, logo a enzima não apresenta atividade (LUH et al, 1991).

Os esferossomas do farelo de arroz são estruturas esféricas compostas de lipídios neutros, glicolipídios e fosfolipídios na proporção de 98,6:0,5:0,9, respectivamente. Os fosfolipídios, composto por aproximadamente 64% de fosfatidilcolina são responsáveis por revestir o esferossoma. Com o beneficiamento a enzima fosfolipase D, presente no farelo, inicia a decomposição da fosfatidilcolina em ácido fosfatídico, sem a camada externa o esferossoma

perde sua estrutura e os triglicerídeos são liberados. Com isso, o substrato e enzima entram em contato e a atividade da lipase é iniciada, levando à hidrólise dos triglicerídeos em ácidos graxos livres e gliceróis (TAKANO, 1993).

A oxidação lipídica pode ocorrer tanto pela presença do oxigênio triplete (oxigênio atmosférico) quanto por oxigênio singlete. O farelo de arroz apresenta riboflavina em sua composição, que pode atuar como um fotossensibilizador, uma vez que possui a capacidade de absorver energia da luz e passar para o estado excitado. Em seguida, a riboflavina excitada volta ao estado fundamental liberando a energia absorvida sob a forma de luz ou calor. Essa energia liberada poderá ser absorvida pelo oxigênio atmosférico, o qual passa do estado fundamental para o estado excitado, ou seja de oxigênio triplete para o oxigênio singlete. O oxigênio singlete é mais eletrofílico quando comparado ao oxigênio triplete, possibilitando que a reação ocorra diretamente na ligação dupla do ácido graxo formando hidroperóxidos 1500 vezes mais rápido que os hidroperóxidos formados pelo oxigênio triplete (MCCLEMENTS & DECKER, 2008).

A oxidação lipídica por oxigênio triplete constitui-se em três fases: iniciação, propagação e terminação. A fase de iniciação é caracterizada pela abstração de uma molécula de hidrogênio do ácido graxo insaturado, formando um radical carbonila ( $L\cdot$ ). A energia necessária para a abstração do hidrogênio alílico à ligação dupla é inversamente proporcional ao número de insaturações do ácido graxo, ou seja quanto mais insaturado um ácido graxo menor é a energia necessária para a abstração do hidrogênio. Na fase de propagação há a entrada de oxigênio atmosférico (oxigênio triplete) no radical carbonila originando o radical peroxila ( $LOO\cdot$ ), que por sua vez tem a capacidade de abstrair uma molécula de hidrogênio de outro ácido graxo insaturado, por exemplo, resultando na formação do hidroperóxido ( $LOOH$ ) e conseqüentemente de um novo radical carbonila. A fase de propagação chega ao fim (fase de terminação) quando há a combinação de dois radicais para a formação de espécies não radicalares, dando origem a compostos de alto e baixo peso molecular.

Uma vez iniciada a oxidação, as reações não cessarão até o momento em que não haja mais oxigênio e ácido graxo insaturado, com isso na fase de propagação ocorrem diversas reações formando diferentes peróxidos. Com o esgotamento de substrato e oxigênio, produtos como derivados da decomposição de hidroperóxidos (alcoóis, aldeídos, cetonas, ésteres e outros hidrocarbonetos) são formados, onde estes por sua vez apresentam estabilidade finalizando a reação (FERRARI, 1998).

A oxidação dos lipídios no farelo de arroz torna o produto impróprio para o consumo humano, uma vez que a oxidação não apenas fornece aroma e sabor indesejáveis para o consumidor, mas também compromete a qualidade nutricional (degradação de vitaminas lipossolúveis e ácidos graxos insaturados) e a segurança do mesmo, devido à formação de compostos tóxicos (KUBOW, 1993).

### **2.3 Micro-ondas: definição, funcionamento e finalidade**

As micro-ondas situam-se entre a radiação infravermelha e as ondas de rádio no espectro eletromagnético, no intervalo de frequência compreendido entre 300 MHz a 300 GHz, com comprimentos de onda que se estendem de 1 m a 1 mm respectivamente (MENÉNDEZ et al, 2010). A fim de serem evitadas interferências nas bandas de frequência utilizadas em telecomunicações, as frequências alocadas para a eletrotermia são de  $915\pm 25$  MHz,  $2450\pm 50$  MHz e  $5800\pm 50$  MHz, esta última mais aplicada em estudos de escala laboratorial.

As ondas eletromagnéticas são oscilações de campos elétricos e magnéticos associados que se propagam no espaço, regidas pelas equações de Maxwell, com velocidade no vácuo  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

De acordo com Conforti e Tejo (1976); Marsaioli (1991), um sistema genérico de micro-ondas é formado por um conjunto de componentes que podem ser representados por:

a) Geração de micro-ondas: a partir de um tubo oscilador (usualmente do tipo Magnetron), alimentado por um circuito eletrônico, capaz de converter a energia elétrica de frequência industrial (60Hz) em energia eletromagnética de micro-ondas (por exemplo, 2.450MHz);

b) Transmissão: o campo eletromagnético se propaga sob a forma de onda eletromagnética no interior de um guia de onda metálico altamente condutivo. As seções podem ser retangulares ou circulares com dimensões dependentes do comprimento de onda. As múltiplas reflexões nas paredes do guia têm por resultante certa distribuição de campos elétricos e magnéticos no espaço interior e de correntes de condução superficial das paredes, apresentando uma distribuição do campo elétrico máxima no centro do guia e caindo até zero junto às paredes. O conjunto forma um modo de propagação guiada ou em monomodo. Os acoplamentos

executados mediante atenuadores e tocos permitem a transferência mais eficiente da energia de micro-ondas para o aplicador.

c) Aplicação de micro-ondas: o aplicador, normalmente denominado de cavidade, é um volume limitado por paredes metálicas e onde se passa a interação “produto / micro-ondas”.

Distinguem-se dois tipos de aplicadores, em um caso, a interação ocorre em um guia de onda preenchido pelo dielétrico, em outro a interação se passa dentro de uma cavidade. No primeiro, o tipo de propagação é monomodal, ou seja, as ondas se propagam em uma única direção. Já a distribuição do campo elétrico dentro de uma cavidade ocorre a partir de uma propagação multimodal, ocasionada por inúmeras reflexões causadas pelas paredes metálicas da cavidade, o que gera um dos principais problemas associados ao aquecimento por micro-ondas, a produção de zonas quentes e frias no produto. Isso ocorre devido ao fenômeno de onda estacionária, onde uma onda refletida aparece e se superpõe a uma onda incidente. A onda refletida nos pontos em que chega em fase com a onda incidente, soma-se à mesma e aumenta o valor do campo elétrico; chegando defasada subtrai-se e diminui o campo elétrico. Isso resulta em uma distribuição não uniforme do campo elétrico dentro de um aplicador e conseqüentemente em um aquecimento não uniforme. Esta diferença de intensidade de campo elétrico pode ser visualizada na Figura 2, a partir da diferença de cores gerada durante a aplicação de micro-ondas em uma cavidade preenchida com gás.

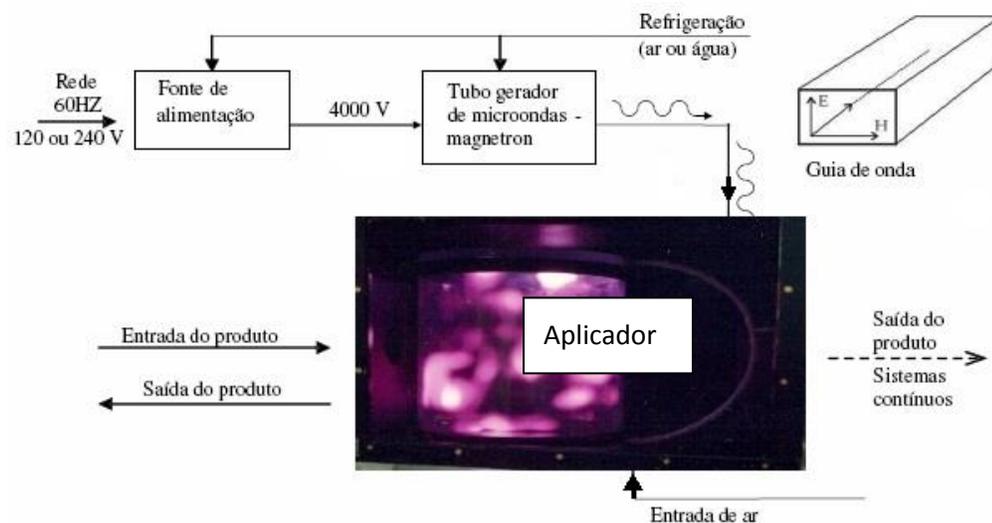


Figura 2 - Sistema genérico de aquecimento por micro-ondas. Fonte: Conforti & Tejo, 1976; Marsaioli, 1991.

Os materiais dielétricos têm em comum a capacidade de armazenar energia elétrica. Existem vários mecanismos em escala molecular e atômica para a conversão de energia de micro-ondas em energia térmica (BUFFLER, 1992).

Nos mecanismos de aquecimento de materiais biológicos por micro-ondas, a migração iônica e a rotação dipolar são os de maior importância (SHIFFMANN, 1987). Na migração iônica, os componentes ionizados colidem aleatoriamente com moléculas não ionizadas quando submetidos a um campo elétrico alternativo. A energia armazenada no campo elétrico é convertida em calor durante as colisões destes íons. Já no mecanismo de aquecimento pela rotação dipolar, moléculas polares, como a água e outras moléculas, que podem se tornar “dipolos induzidos” devido às tensões causadas pelo campo, são influenciadas pela rápida mudança de polaridade deste campo. Os mecanismos de deslocamento de cargas ou polarização são diferentes devido ao tipo de dielétrico, à temperatura do dielétrico e à frequência do campo elétrico.

As propriedades dielétricas dos materiais medem a interação entre o material e o campo elétrico aplicado, em temperatura e frequência específicas. Os parâmetros que caracterizam os materiais dielétricos são (NELSON e DATTA, 2001):

- Permissividade (ou constante dielétrica) relativa  $\epsilon_r'$ : avalia a capacidade de um material armazenar energia elétrica, de maneira reversível;

- Fator (ou constante) de perda relativa  $\epsilon_r''$ : parâmetro dado pelas propriedades elétricas de dissipação de energia elétrica sob a forma de calor do material, neste caso, de maneira irreversível;

- Tangente de perdas: o coeficiente dos dois valores

$$\tan \alpha = \epsilon_r'' / \epsilon_r'$$

Eq. [1]

A Eq. [1] indica a capacidade do material de ser penetrado por um campo elétrico e de dissipar essa energia na forma de calor, ou seja, determina a extensão da reflexão e transmissão de energia dentro do mesmo. As aplicações de aquecimento por micro-ondas na indústria, na sua maioria, são relativas à água (KOMAROV, 2012). A água líquida possui, em comparação com os dielétricos frequentes, os valores mais elevados de  $\epsilon_r'$  e  $\epsilon_r''$  (NELSON e DATTA, 2001).

A determinação das propriedades dielétricas é importante para a previsão da taxa de aquecimento do material quando submetido à radiação micro-ondas. É também a partir dos valores de  $\epsilon_r'$  e  $\epsilon_r''$  possível estimar a penetração das micro-ondas ( $D_p$ ), Eq. [2], nos materiais dielétricos, na frequência estudada, e, desta forma, definir a quantidade e distribuição espacial do material presente na cavidade durante os testes de tratamento térmico por micro-ondas. A profundidade de penetração  $D_p$  é definida como a distância na qual a potência é válida para  $1/e=1/(2,7183=0,37)$ , ou 37% do seu valor na superfície do material (TANG, 2005).

$$D_p = (\lambda_0 \cdot \sqrt{\epsilon_r'}) / (2\pi \cdot \epsilon_r'')$$

Eq. [2]

Sendo  $\lambda_0$  o comprimento de onda no espaço livre.

É usual o termo que “as micro-ondas aquecem o material de dentro para fora”. Mas, geralmente, isto não ocorre, pois a penetração das ondas é frequentemente menor que as espessuras dos alimentos tratados.

#### **2.4 Métodos para estabilização enzimática do farelo de arroz**

No estudo realizado por Sharma et al (2014) foi investigada a eficiência de diferentes técnicas para minimizar a oxidação lipídica durante o tempo de estocagem do farelo de alguns cereais, tais como trigo, arroz, cevada e aveia. Os tratamentos utilizados foram: aquecimento úmido a 115°C por 10 e 15 minutos; aquecimento seco a 110°C por 25 minutos; aquecimento por micro-ondas, tendo o experimento de Lakkakula et al (2004) como referência, utilizando um equipamento com frequência de 2450 MHz, umidade do farelo ajustada para 21 g/100g e durante 2,5 minutos, a densidade de potência ou potência utilizada no processo não foi informada pelos autores; cozimento por extrusão a 140°C com teor de umidade de 2 g/100g e tratamento químico a partir de uma solução de ácido acético 1%. Após os tratamentos as amostras foram embaladas em polietileno de alta densidade, parte das amostras foi armazenada em temperatura ambiente (30-35°C) e parte sob refrigeração (5-8°C), com isso seguiram para análises. Análises de ácidos graxos livres foram realizadas com a finalidade de acompanhar a hidrólise dos triacilglicerídeos, indicativo de atividade enzimática, e um dos fatores principais no comprometimento da qualidade do produto. Pode-se observar que a porcentagem média dos ácidos graxos livres das amostras com seus respectivos tratamentos mantiveram-se baixas, no período de 6 meses de estocagem,

3,14% (extrusão), 3,76% (micro-ondas), 4,08% (tratamento químico), 4,44% (aquecimento úmido) e 5,94% (aquecimento seco). De acordo com os autores, todos os tratamentos não apresentaram aumentos significativos de ácidos graxos livres nos farelos, entretanto destacou-se o processo de extrusão com valores mais baixos de ácidos graxos livres até o sexto mês de estocagem. Os autores concluíram ainda que não houve diferença significativa no aumento de ácidos graxos livres entre as amostras armazenadas em temperatura ambiente e refrigerada.

Uma comparação de diferentes processos para estabilização do farelo de arroz foi realizada por Riaz et al (2010). Foram utilizados os seguintes equipamentos e condições: (a) extrusora monorosca, teor de umidade do farelo 7,42g/100g, quantidade de amostra 386 kg/hora, calor específico 1,69 kJ/kg (°C), energia (entalpia) 13117 kJ/hora; (b) “pellet cooker”, teor de umidade do farelo 7,42g/100g, quantidade de amostra 475 kg/hora, calor específico 1,69 kJ/kg (°C), energia (entalpia) 16132 kJ/hora; (c) “lab pellet mil”, teor de umidade do farelo 8,4g/100g, quantidade de amostra 25 kg/hora, calor específico 1,73 kJ/kg (°C), energia (entalpia) 863 kJ/hora; e (d) “expander cooker”, teor de umidade do farelo 8,4g/100g, quantidade de amostra 237 kg/hora, calor específico 1,73 kJ/kg (°C), energia (entalpia) 8181 kJ/hora, os parâmetros apresentados foram obtidos através de amostra seca. Após os tratamentos, as amostras foram analisadas quanto ao teor de ácidos graxos livres com o objetivo de averiguar a inativação enzimática do produto. Todas as amostras mostraram valores de ácidos graxos livres abaixo do farelo cru, exceto as amostras que foram submetidas ao “pellet mil”. A extrusão foi o processo que apresentou melhores resultados na inativação, devido à relação umidade e temperatura favorável. Considerando a estabilização, preservação dos nutrientes e extração de óleo, o processo que apresentou melhores resultados foi o “pellet cooker”.

Brunschwiler et al (2013) desenvolveram um trabalho cujo objetivo foi definir a cinética de inativação das enzimas lipases presentes do farelo de arroz por meio da medida da atividade da enzima. O processo de inativação foi realizado em um reator especializado, hermeticamente selado, possibilitando um processo de aquecimento rápido e com boa repetibilidade, além de não haver perdas de umidade por evaporação. Em cada ensaio 10 gramas de farelo de arroz foram uniformemente espalhado entre chapas de aço inoxidável do reator e vedadas com silicone. O farelo foi aquecido por meio de aquecimento úmido, com controle de temperatura e tempo e depois resfriado a temperatura ambiente. Em seus resultados puderam observar que a umidade do farelo é mais importante do que o tempo de tratamento. Em conclusão

o farelo submetido a 110°C durante 5 minutos a 20g/100g de umidade apresentou atividades das enzimas lípases muito baixa.

## **2.5 Utilização da energia de micro-ondas na estabilização enzimática do farelo de arroz**

Em 1993 Tao et al realizaram um estudo sobre estabilização do farelo de arroz, utilizando duas variedades de arroz, sob aquecimento com micro-ondas. As variáveis consideradas pelos autores foram a umidade, o peso da amostra, e o tempo de tratamento do farelo obtido após o beneficiamento do grão. Através de vários testes, concluíram que a condição ideal para estabilização foi utilizado 150 g de farelo de arroz, umidade ajustada para 21g/100g, sob exposição à potência de 340±10 watts, durante 3 minutos, os autores não citam a aferição da temperatura do farelo durante o processo. A eficiência do tratamento foi assegurada através da determinação de atividade da peroxidase, juntamente com o monitoramento de ácidos graxos livres durante o período de 4 semanas, que mantiveram significativamente baixos quando comparados com os farelos sem tratamento.

No estudo realizado por Lakkakula et al (2004) foram observadas diferentes condições para certificar a estabilização do farelo e extração de lipídio do mesmo utilizando tratamento com aquecimento ôhmico e energia de micro-ondas. As amostras submetidas ao tratamento ôhmico sofreram variações de campo elétrico (60, 100 e 140 V/cm) e umidade (10,5g/100g, 21g/100g e 30g/100g), a uma frequência de 60 Hz. As amostras tratadas com micro-ondas seguiram com a metodologia desenvolvida por Ramezanzadeh et al. (2000), onde a umidade do farelo foi ajustada para 21g/100g, 100 gramas de amostra foram acomodadas em um saco e expostas a energia de micro-ondas até que o farelo atingisse 109°C. Os autores citam que o equipamento foi previamente aquecido por 3 minutos, porém não informam como foi realizado. Após o tratamento, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente e o óleo foi extraído utilizando hexano. Lakkakula et al (2004) concluíram que ambos tratamentos mostraram-se eficientes na inativação enzimática do farelo de arroz, assegurando sua estabilidade, e demonstraram que as amostras tratadas previamente por micro-ondas apresentaram maior rendimento na extração de lipídios .

O trabalho realizado por Garcia et al (2012) mostra que a estabilização do farelo de arroz por tratamento via micro-ondas não alterou os aspectos nutricionais, porém foram

observadas mudanças no aroma e no sabor quando o farelo foi submetido por períodos excedentes a 3 minutos. De acordo com Rocha (2002), o tratamento por micro-ondas pode ser realizado no grão recém-colhido, antes do seu beneficiamento.

Chang e El-Dash (1998) estudaram o efeito da energia de micro-ondas na inativação da lipase de arroz pardo, também conhecido como arroz integral e a sua estabilidade durante a estocagem. Neste trabalho foram avaliadas diferentes condições de umidade, 13,4, 14,6 e 17,3g/100g, e o tempo de tratamento variou de acordo com a potência de micro-ondas, operando na frequência de 2450 MHz estabelecida. Na potência máxima, 750 W, o tempo de tratamento foi de 20 a 100 segundos e na potência média (não indicada pelos autores), variou de 40 a 120 segundos. Os resultados demonstraram que todas as amostras tratadas com micro-ondas obtiveram valores de ácidos graxos livres menores que àquela sem tratamento, a melhor condição estudada foi a de amostra com 14,6g/100g de umidade inicial, na potência máxima por 80 segundos. Os autores ressaltam que embora os resultados tenham sido positivos, ainda houve atividade das lipases, e sugerem que para uma inativação mais eficiente deve-se aumentar a exposição à energia de micro-ondas e a umidade inicial do grão.

### **3. OBJETIVOS**

O trabalho teve como objetivo geral promover a estabilização do farelo dos grãos de arroz em casca recém-colhido, antes do beneficiamento, em um aplicador de micro-ondas multi-modos de geometria prismática de seção sextavada.

#### **3.1 Objetivos específicos**

##### **3.1.1 Caracterização da amostra**

Determinar o teor de umidade do arroz em casca e do farelo após o beneficiamento; quantificar os teores de lipídios totais do farelo de arroz; identificar e quantificar os ácidos graxos do óleo do farelo de arroz antes e após o tratamento por micro-ondas.

##### **3.1.2 Estabelecer as condições de tratamento do arroz**

Determinar as condições de tratamento térmico por micro-ondas do arroz em casca, das variedades IAC 105 e IAC 500, a partir do acompanhamento da temperatura do arroz, variando a densidade de potência baseado nas características do equipamento e da amostra.

### **3.1.3 Verificar a estabilização do farelo do arroz**

Determinar a atividade da peroxidase, enzima indicativa na estabilização enzimática do farelo, e do teor de ácidos graxos livres através do acompanhamento semanal, durante um período de 4 semanas e a determinação da composição dos ácidos graxos nos tempos 0 e 21 dias de estocagem.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Matéria-prima**

Para a realização deste trabalho foram utilizados arroz das variedades IAC 105 e IAC 500, ambas desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), e classificadas como grãos longo/fino. As variedades diferenciam-se quanto ao teor de amilose sendo a variedade IAC 105 alto teor (acima de 25 %) enquanto a variedade IAC 500 apresenta teor intermediário (23,2 %). Além disso, a variedade IAC 500, recentemente desenvolvida pelo IAC, apresenta características aromáticas.

As amostras de arroz recém-colhido, provenientes do Polo Regional Vale do Paraíba/Pindamonhangaba, foram acondicionadas em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade, a vácuo e armazenadas em temperatura de refrigeração (aproximadamente 5°C) até o momento do tratamento destas.

### **4.2 Sistema de aplicação de micro-ondas**

O sistema de aplicação de micro-ondas utilizado para a estabilização e posterior secagem dos grãos de arroz recém-colhidos está representado na Fig. 3 e é constituído por 19

partes . O equipamento principal é composto por uma cavidade fixa multi-modo de micro-ondas de geometria de seção sextavada prismática para que a heterogeneidade tri-dimensional das intensidades do campo elétrico na configuração de ondas estacionárias possa ser minimizada, estabelecendo-se de forma dispersa [Fig. 3, parte 1], desde que as dimensões das amostras sejam compatíveis com o comprimento de onda na frequência de 5,8 GHz. A cavidade está ligada a um gerador de micro-ondas [Fig. 3, parte 5] de 5,8 GHz x 700 W (Gerling Applied Engineering, GA4002A), que transmite as micro-ondas mediante um guia de onda de seção retangular [Fig. 3, parte 6] conectado a um conjunto monitorador de potência de micro-ondas constituído dos seguintes componentes: um circulador de 3 portas [Fig. 3, parte 7], um banho termostático [Fig. 3, parte 8], um acoplador duplo [Fig. 3, parte 9], dois wattímetros [Fig. 3, parte 10] para medir potências de micro-ondas transmitida e refletida, um sintonizador de impedâncias de 4 tocos [Fig. 3, parte 11], terminando o guia de onda em curva de 90° até a entrada na tampa superior da cavidade.

No sistema aplicador de micro-ondas a secagem do material pode ser operada tanto em leito pulso fluidizado como em leito fixo. Para operar com leito pulso fluidizado, dentro do aplicador de micro-ondas está instalado um tubo de vidro de borosilicato [Fig. 3, parte 2], material parcialmente transparente às micro-ondas, com a função de envolver o leito formado pelo material a ser seco. O tubo consiste em uma coluna cilíndrica com 14 cm de diâmetro interno e 54 cm de altura. Na parte inferior do leito situa-se uma placa perfurada que serve de suporte para o leito de partículas [Fig. 3, parte 3] e por um disco rotativo com abertura de um ângulo de 60°; ambos distribuem o ar. Um motor elétrico está acoplado ao eixo do disco rotativo, no qual está fixado o conjunto de distribuição de ar [Fig. 3, parte 3.1]

No tubo de borosilicato pode ser também colocado um cesto de teflon [Fig. 3, parte 4]. O cesto foi desenhado tanto para o estudo de aquecimento de materiais dielétricos como para estudos do processo de secagem por ar quente com aplicação de micro-ondas em menor escala.

O conjunto de distribuição de ar para a secagem dentro do aplicador de micro-ondas é constituído por compressor de ar [Fig. 3, parte 15] (Ingersol-Rand, T30580H, 5 HP), a vazão do ar que é medida por uma célula de fluxo laminar (Meriam Instrument, 5CMO2-2) conectada a um manômetro diferencial de tubo em U [Fig. 3, parte 16]. O ar de secagem passa ainda por um ventilador centrífugo (Elam, VCE04) [Fig. 3, parte 17] para compensar a redução da perda de carga da linha de ar e é aquecido por um aquecedor elétrico [Fig. 3, parte 18]. A medida da

temperatura do ar é monitorada na entrada e na saída do sistema [Fig. 3, parte 19] por sensores (MyPCprobe-RHT, Novus) conectados a um computador [Fig. 3, parte 13].

As leituras pontuais e o registro das temperaturas do arroz com casca são obtidos por meio de um aquisitor (Luma Sense Technologies – Luxtron Fot Lab Kit) de temperatura de fibra óptica [Fig. 3, parte 12], conectado a um computador [Fig. 3, parte 13]. As temperaturas médias sobre certa área do arroz com casca são lidas através de sensor de infravermelho instalado centralmente sobre a tampa da cavidade [Fig. 3, parte 14].

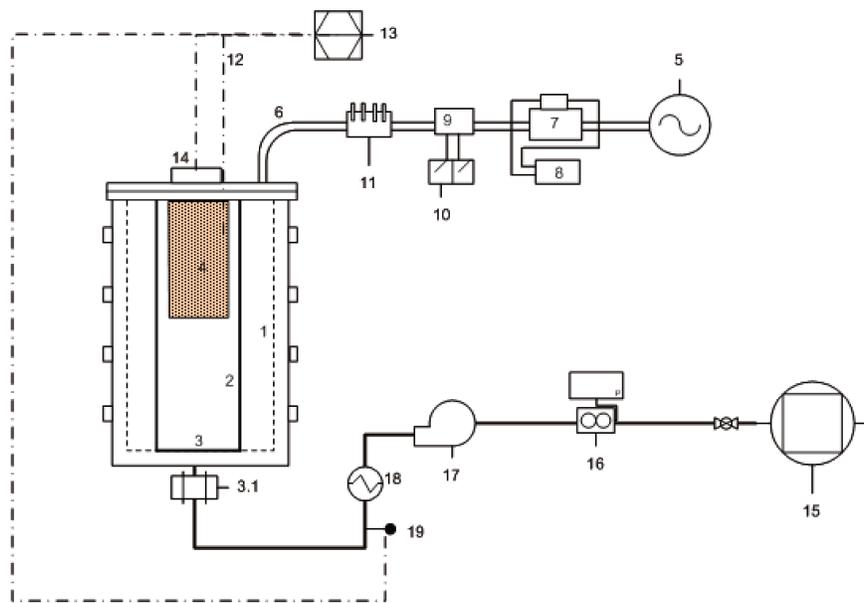


Figura 3. Sistema do aplicador de micro-ondas: [parte 1] cavidade de micro-ondas prismática sextavada; [parte 2] tubo de vidro de borossilicato; [parte 3] suporte; [parte 3.1] motor elétrico; [parte 4] cesto teflon; [parte 5] gerador de micro-ondas; [parte 6] guia de onda; [parte 7] circulator de 3 portas; [parte 8] banho termostático; [parte 9] acoplador duplo; [parte 10] wattímetro; [parte 11] sintonizador; [parte 12] fibra óptica; [parte 13] computador [parte 14] sensor infravermelho; [parte 15] compressor de ar; [parte 16] célula de fluxo laminar e manômetro “U”; [parte 17] ventilador centrífugo; [parte 18] aquecedor elétrico; [parte 19] sensor de temperatura.

### 4.3 Procedimento experimental

#### 4.3.1 Caracterização do farelo do arroz

#### **4.3.1.1 Determinação da umidade do arroz em casca e do farelo do arroz**

Para a determinação do teor de umidade do arroz com casca, antes e após o tratamento por micro-ondas, os grãos foram triturados utilizando um liquidificador doméstico, durante o tempo de 1 minuto, e passados por peneira de Mesh 60. A umidade dos grãos foi determinada por um analisador de umidade por micro-ondas (Smart 5 – CEM), cuja metodologia foi calibrada de acordo com a metodologia oficial da AOAC (2006).

A umidade do farelo, com e sem tratamento por micro-ondas foi determinada seguindo a metodologia oficial do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

#### **4.3.1.2 Determinação de lipídios totais**

A determinação dos lipídios totais foi realizada segundo o método proposto por Folch et al (1957), que utiliza como solvente extrator a mistura de clorofórmio:metanol (2:1, v/v). Ajustes na umidade do produto foram feitos, visto que a metodologia foi desenvolvida para tecidos biológicos.

#### **4.3.1.3 Identificação e quantificação dos ácidos graxos do óleo de arroz**

Após a extração dos lipídios, retirou-se uma alíquota de 25 mg que foram metilados de acordo com o método de Joseph & Ackman (1992). Os metil ésteres de ácidos graxos foram separados em um cromatógrafo gasoso (GC-2010, Shimadzu) equipado com detector de ionização em chama, injetor split (1/50) e coluna CP-SIL 88 (Chromopack, 100 m x 0,25 mm x 0,20 µm). As condições cromatográficas utilizadas, segundo Sancho et al (2011), foram: temperatura do detector a 260 °C, temperatura do injetor a 250 °C, temperatura inicial da coluna a 120 °C durante 8 minutos, aumentando 20 °C por minuto até 160 °C, aumentando 3 °C por minuto até 195 °C, mantendo-se nesta temperatura por 10 minutos, aumentando 3 °C por minuto até 210 °C, aumentando 35 °C por minuto até 220 °C, mantendo-se nesta temperatura por 3 minutos, aumentando 20 °C por minuto até 240 °C, mantendo-se nesta temperatura por 5 minutos, totalizando 46 minutos (SANCHO et al, 2011). O gás de arraste foi o hidrogênio com velocidade

linear de 40 cm/s e o gás make-up, nitrogênio a 30 ml/min. O volume injetado foi de 1 µl através da técnica de *hot needle* por 5 segundos.

A identificação dos ácidos graxos foi realizada por comparação dos tempos de retenção dos padrões de metil ésteres de ácidos graxos (mistura de 37 AG entre C4-C24, Supelco, Bellefonte, PA, USA) com os tempos de retenção de metil ésteres de ácidos graxos da amostra. A quantificação foi realizada por padronização interna, utilizando-se o éster metílico do ácido graxo tricosanóico. Os ácidos graxos foram calculados em mg/100g de amostra de acordo com o método da AOCS (1997).

#### **4.3.2 Estabilização do farelo de arroz por micro-ondas**

A quantidade de amostra para o tratamento de estabilização por micro-ondas foi pré-determinada, baseada em cálculos de penetração de onda (BERTELI, et al., 2015), com o intuito de garantir a penetração de micro-ondas em toda a amostra. Com base nesses cálculos foram estabelecidos 200 g de amostra, as quais foram posicionadas dentro de um cesto cilíndrico de malha de fibra de vidro revestido de teflon, de 8,7 cm de diâmetro (Fig. 3, parte 4), fixado a um anel de alumínio de suporte (porta-amostra).

Para evitar interferências na distribuição do campo elétrico dentro da cavidade, somente o corpo do cesto não metálico permanece dentro da cavidade, por ser de material transparente a micro-ondas. O cesto possui uma tampa metálica com orifícios de diâmetro previamente calculados, de maneira a permitir a passagem dos sensores de fibra óptica e impedir o vazamento de micro-ondas na frequência de 5,8 GHz. A tampa permanece fora da cavidade de micro-ondas sobre a parte metálica do cesto, sendo estes então fixados por uma abraçadeira (Fig. 4).



Figura 4. Tampa da cavidade de micro-ondas fixada por abraçadeira, posicionada sobre a parte metálica do cesto. Ao centro da tampa está fixada a fibra óptica destinada à aferição da temperatura do arroz em casca.

Após o assentamento do cesto na cavidade de micro-ondas, uma fibra óptica foi posicionada com o auxílio de fita de Teflon no interior do porta-amostra para o acompanhamento das temperaturas do leito de arroz durante os tratamentos térmicos por micro-ondas. A fim de assegurar que a fibra óptica ficasse posicionada no centro do leito de arroz, antes de cada tratamento térmico foram pesados 100 gramas de amostra que foram então transferidos para o cesto de teflon. A extremidade fibra óptica foi então posicionada na superfície do leito de arroz e no centro do cesto em relação ao seu diâmetro, como ilustra a fig. 5. Em seguida completou-se a massa do leito de arroz com mais 100 g de amostra. O intervalo de tempo de aquisição da temperatura com a fibra óptica durante os tratamentos por micro-ondas foram a cada três segundos.



Figura 5. Cesto de teflon posicionado na cavidade de micro-ondas, contendo metade da amostra (100 g). Ao centro está posicionada a fibra óptica responsável pela aferição da temperatura do material.

O binômio tempo e temperatura para o tratamento do arroz recém-colhido por micro-ondas foi baseado no trabalho realizado por Rocha (2002), que também estudou a estabilização enzimática do farelo de arroz por micro-ondas. De acordo com o autor, 92°C foi a temperatura que resultou em melhor inativação das lipases. Em relação ao tempo de tratamento, definiu-se 2 minutos, tempo necessário para que toda a amostra atingisse a temperatura definida. Segundo o autor, o intervalo de tempo estudado próximos a 2 e 3 minutos não mostrou-se estatisticamente significativo na inativação das lipases.

As densidades de potência de micro-ondas (P.d) utilizadas para a estabilização do farelo foram definidas através de testes preliminares, baseando-se em critérios como repetibilidade entre os ensaios e os valores de temperatura obtidos no leito de arroz durante os tratamentos por micro-ondas.

Para a etapa de secagem, operação que antecede o beneficiamento do arroz, os grãos foram retirados do cesto de teflon e acomodados diretamente no suporte na parte inferior do equipamento (Fig. 3, parte 3). Uma fibra óptica foi posicionada no centro da amostra, em relação ao diâmetro do suporte, e de forma que a amostra cobrisse a extremidade da fibra óptica com a finalidade de acompanhar a temperatura pontual da amostra. A leitura média da temperatura superficial da amostra foi acompanhada com o auxílio de um sensor de infravermelho posicionado na tampa do equipamento. A combinação de ar quente e energia de micro-ondas promoveu a secagem dos grãos. A umidade de 12-13 g/100g foi a umidade estabelecida por ser a umidade ideal para o beneficiamento do grão, segundo o pesquisador Omar Vieira Villela do Polo Regional Vale do Paraíba/Pindamonhangaba, através de informação oral. Após a secagem, a amostra foi retirada da cavidade de micro-ondas com o auxílio de um aspirador de pó doméstico.

#### **4.3.3 Beneficiamento do grão**

Através de uma beneficiadora da marca Suzuki, o arroz previamente tratado onde a casca foi removida e em seguida foi realizado o brunimento dos grãos durante 1 minuto e 30

segundos. O farelo foi recolhido em embalagens de polietileno de baixa densidade, embalado a vácuo e analisado quanto à atividade enzimática, enquanto os grãos seguiram para a separação de inteiros e quebrados.

#### 4.3.3.1 Índice de quebra do grão de arroz

Os grãos já descascados e brunidos foram pesados e passados por um “trieur”, acessório acoplado ao beneficiador de arroz, por aproximadamente 1 minuto, onde foram separados os grãos quebrados dos inteiros. Após a separação estes foram pesados e calculou-se a porcentagem de grãos inteiros e quebrados.

#### 4.3.4 Determinação da atividade de peroxidase no farelo de arroz

As determinações da atividade de peroxidase no farelo de arroz foram realizadas de acordo com o método desenvolvido por Vetter et al (1958), citado por Tao et al (1993) e Rocha (2002) utilizando um espectrofotômetro UV-vis (Agilent, Santa Clara, CA) a 430 nm.

A análise consiste em pesar 2 gramas de farelo em um tubo, adicionar 50 ml de solução tampão citrato fosfato pH 6,5 e agitar em vortex por 5 minutos. Após a agitação da amostra, 10 ml foram transferidos, adicionados 25 ml da solução tampão e mantido à temperatura de 25°C durante 30 minutos. Em seguida, foi adicionado 0,5 ml do indicador *o*-fenilenodiamina 1% e 0,5 ml de peróxido de hidrogênio 0,3% mantendo a solução em repouso por 5 minutos, tempo necessário para que a reação ocorra. Após este tempo foi adicionado 1 ml de solução saturada de bissulfato de sódio com a finalidade de parar a reação e 5 ml de etanol 95%, sendo centrifugada por 5 min a 3000 rpm. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 430 nm. A atividade da enzima é diretamente proporcional à cor formada e expressa em absorbância por grama de amostra como mostra a equação 3.

$$\frac{Abs}{\frac{m}{50} \times \frac{10}{25}}$$

Eq. [3]

Sendo:

Abs: leitura da absorbância

m: massa da amostra (g).

#### 4.3.5 Teor de ácidos graxos livres

A determinação do teor de ácidos graxos livres das amostras foi realizada de acordo com o método da AOCS (Ca 5<sup>a</sup> – 40, 1989) equivalente ao método da AOAC (28.029). Aproximadamente 0,25 g de óleo do farelo foram pesados em um erlenmeyer e misturados a 30 ml de etanol à quente (50-60°C), previamente neutralizado com hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 mol/L e fenolftaleína. As amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,01 mol/L e fenolftaleína a uma coloração levemente rósea. Os volumes gastos de NaOH foram utilizados para a determinação dos ácidos graxos livres da amostra e os resultados foram expressos em g de ácido oleico por 100 g de amostra.

$$AGL(g \text{ de oleico}/100g) = \frac{V \times C \times 28,2}{m} \quad \text{Eq. [4]}$$

Sendo:

V: volume gasto de NaOH (ml)

C: concentração (mol/L) do NaOH

m: massa da amostra (g).

28,2 = equivalente grama do ácido oleico

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Testes preliminares para a estabilização do farelo de arroz por micro-ondas

Inicialmente foram realizados testes preliminares (TP) com o arroz IAC 105, cujo objetivo foi o levantamento das densidades de potência utilizadas nos tratamentos térmicos para a estabilização do farelo do arroz em casca e as respectivas temperaturas atingidas.

As condições estudadas durante os testes preliminares do tratamento térmico do arroz encontram-se na Tabela 2. A faixa de potência transmitida e as respectivas densidades de potência utilizadas serviram para a escolha da melhor condição para o tratamento térmico, que foi avaliada primeiramente em função da repetibilidade das temperaturas aferidas durante o processamento térmico, o tempo para atingir a temperatura de estabilização (92°C) e a variação de temperatura durante o aquecimento.

As condições de tratamento como a potência transmitida (P. t.) e potência refletida (todos os ensaios realizados apresentaram potência refletida inferior a 2%) foram medidas com o auxílio de um wattímetro (Fig. 3, parte 10). Com isso foram realizados testes em duplicata para investigar a faixa de potência transmitida compreendida entre 100 W e 400 W. As Fig. 6 a 11 representam a evolução da temperatura do leito de arroz durante o tratamento com micro-ondas, onde é possível verificar que a potência transmitida de 300 W apresentou boa uniformidade de temperatura durante os ensaios, como mostra a tabela 2. Com isso, outros testes foram realizados, utilizando a potência de 300 W com a finalidade de atingir a temperatura de tratamento, 92°C. Após o leito de arroz atingir a temperatura de tratamento, reduziu-se a potência transmitida durante os ensaios (TP4 e TP5) para 100 W e 200 W, respectivamente, ou seja, o tratamento foi iniciado com a potência transmitida de 300 W, ao atingir 92°C a potência foi reduzida para 100 W e 200 W durante 2 min (Fig. 9 e 10, respectivamente).

Tabela 2. Temperaturas do leito de arroz em casca durante o tratamento por micro-ondas.

Ensaio	P. t. (W)	D. p. (W/g)	T. média (°C)	T. máx. (°C)	T. mín. (°C)	Rampa média
TP1	100	0,5	95,2 ± 0,8	99,8 ± 0,8	92,0 ± 0,3	4min15seg
TP2	200	1,0	90,1 ± 3,3	95,4 ± 3,3	82,6 ± 13,2	10min05seg
TP3	300	1,5	93,4 ± 0,8	94,7 ± 0,9	91,5 ± 0,7	5min35seg
TP4	300 - 100	1,5 - 0,5	90,6 ± 0,3	93,8 ± 2,1	87,3 ± 3,6	4min05seg
TP5	300 - 200	1,5 - 1,0	93,8 ± 0,8	96,1 ± 2,7	86,6 ± 7,9	4min12seg
TP6	400	2,0	96,5 ± 1,7	101,0 ± 4,2	91,0 ± 1,4	4min10seg

P.t. = potência transmitida; D.p. = Densidade de potência; T. média = Temperatura média; T. máx. = Temperatura máxima; T. mín. = Temperatura mínima; TP = teste preliminar.

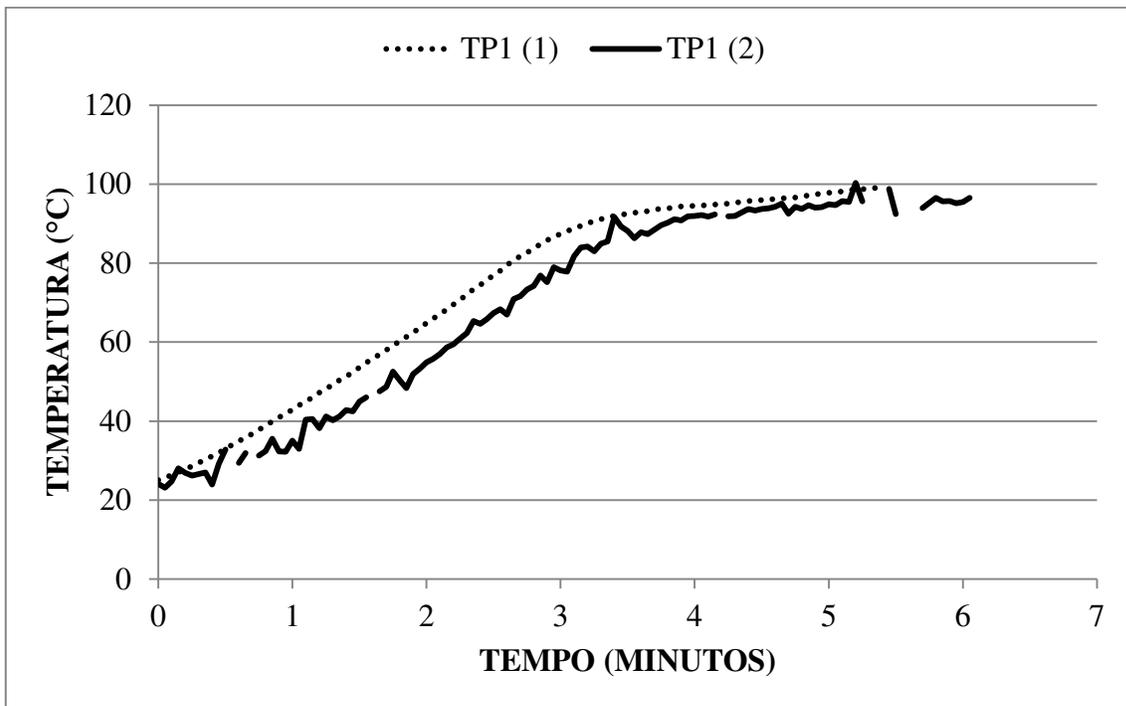
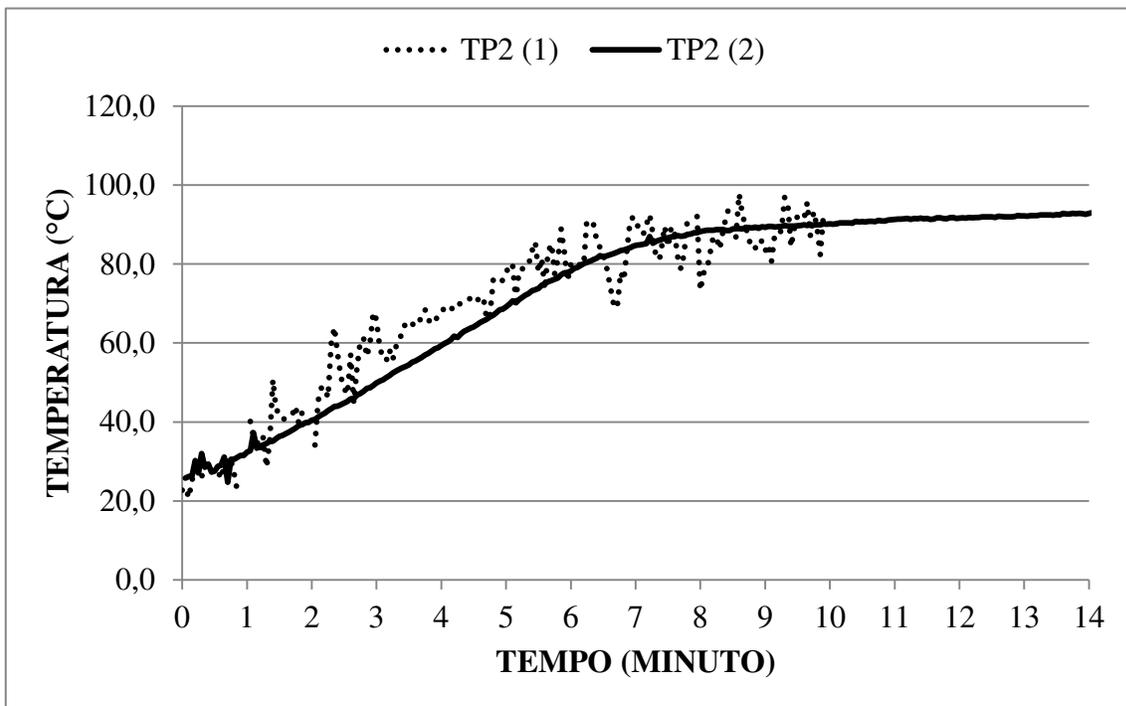


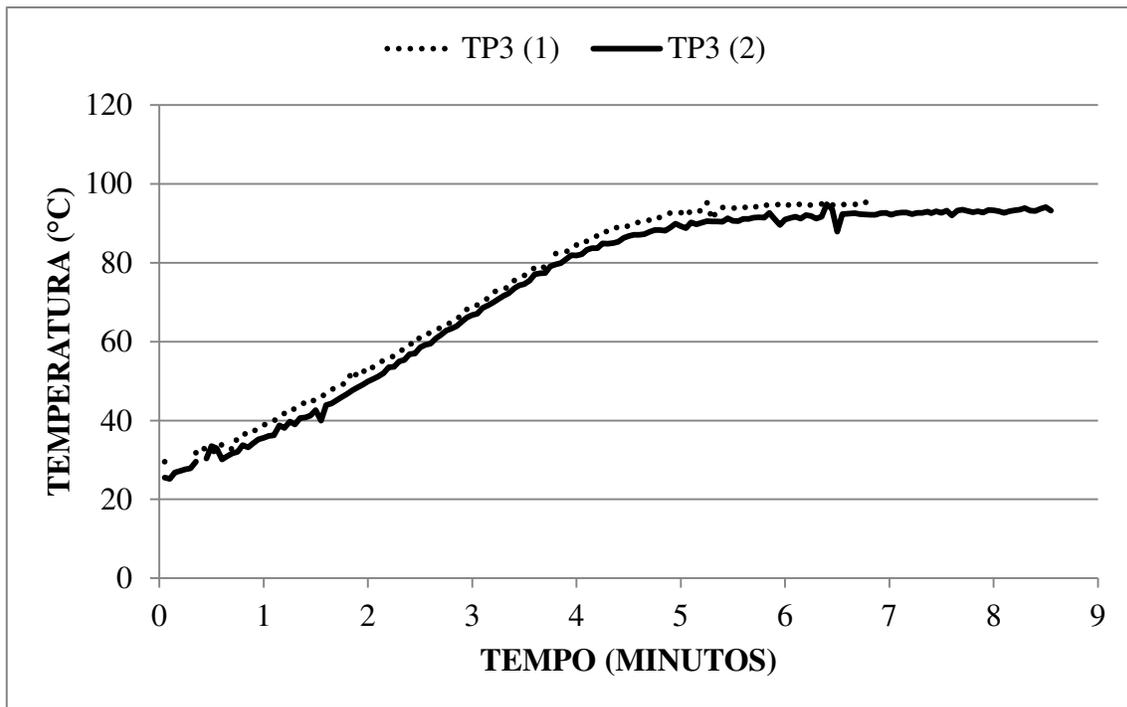
Figura 6.

Evolução da temperatura no leito de arroz em casca utilizando a densidade de potência de 0,5W/g, cuja potência transmitida corresponde à 100 W.



Figura

7. Evolução da temperatura no leito de arroz em casca utilizando a densidade de potência de 1 W/g, cuja potência transmitida corresponde à 200 W.



Figura

8. Evolução da temperatura no leito de arroz em casca utilizando a densidade de potência de 1,5 W/g, cuja potência transmitida corresponde à 300 W.

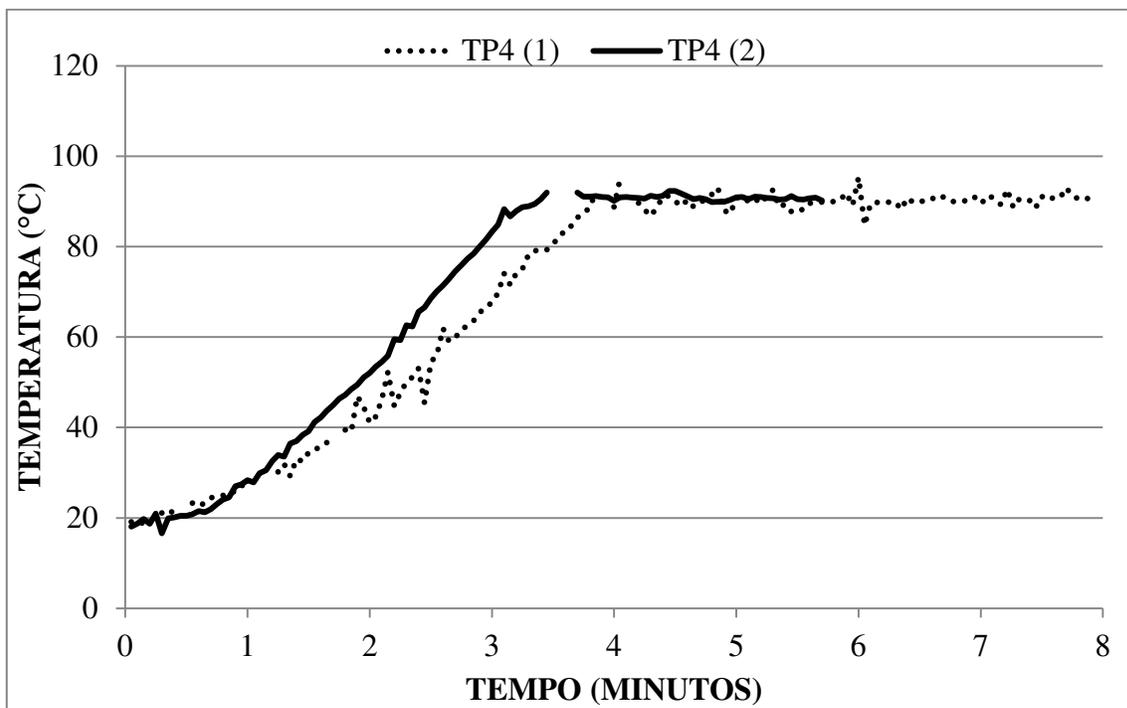


Figura 9.

Evolução da temperatura no leito de arroz em casca utilizando a densidade de potência de 1,5 até atingir 92°C e em seguida reduzida para 0,5 W/g, cuja potência transmitida corresponde à 300 W e 100 W, respectivamente.

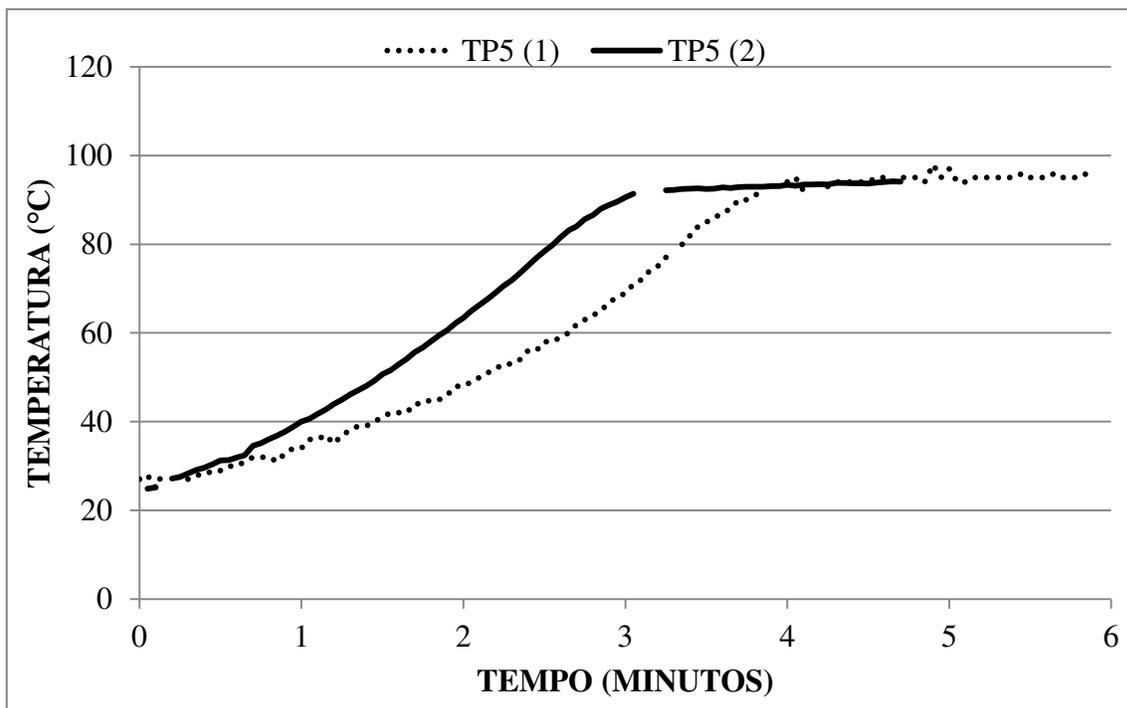


Figura 10. Evolução da temperatura no leito de arroz em casca utilizando a densidade de potência de 1,5 até atingir 92°C e em seguida reduzida para 1 W/g, cuja potência transmitida corresponde à 300 W e 200 W, respectivamente.

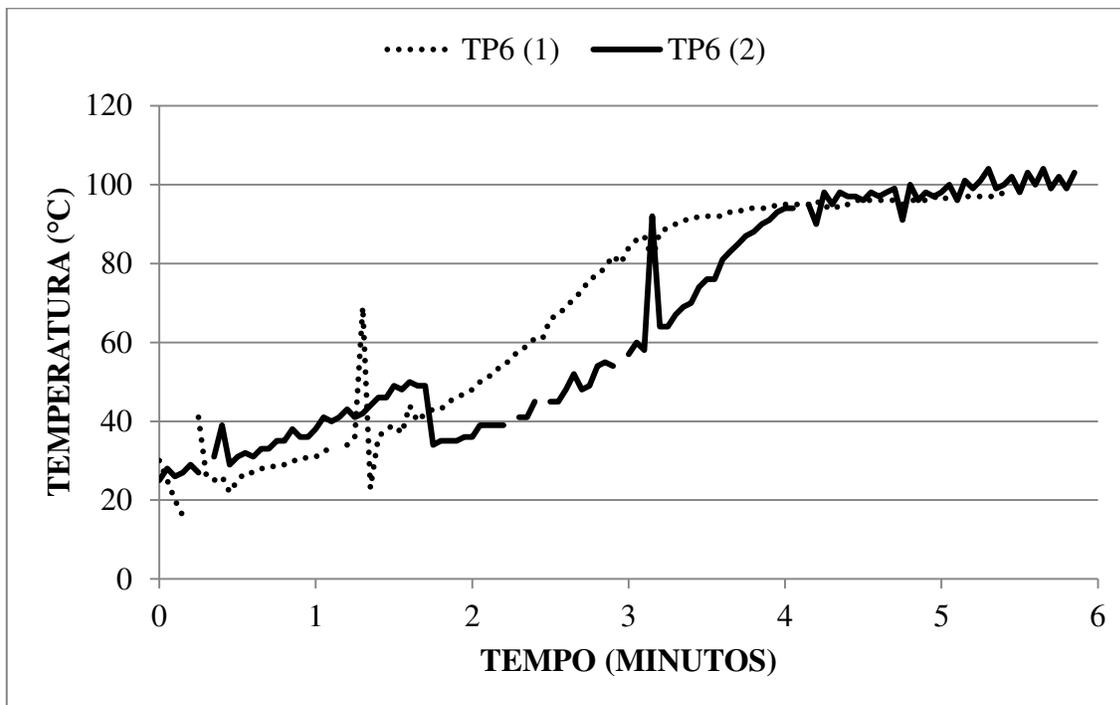


Figura 11. Evolução da temperatura no leito de arroz em casca utilizando a densidade de potência de 2 W/g, cuja potência transmitida corresponde à 400 W.

A rampa de aquecimento, ou seja, o tempo necessário para as amostras atingirem 92°C durante os testes preliminares variou de 4min05seg a 10min05seg, (média calculada entre as duplicatas), correspondendo aos ensaios TP4 e TP2, respectivamente. Entretanto, como pode ser observado na Tabela 2, em geral foram necessários um pouco mais de 4 min. para o produto atingir 92°C, independente da potencia transmitida, com exceção dos testes referentes ao TP2 e TP3, que apresentaram uma rampa média maior.

Como o objetivo do tratamento térmico era atingir a temperatura de 92°C, calculou-se a média de temperatura de um ensaio, utilizando as temperaturas desde o momento em que o leito de arroz atingiu a temperatura de 92°C até o término dos 2 minutos a 92°C, e com isso fez-se a média entre as duplicatas. O mesmo foi feito para o levantamento da temperatura máxima e mínima (Tabela 2) encontrada no leito de arroz em casca durante o tratamento térmico.

Através dos dados apresentados na Tabela 2 é possível verificar-se que os tratamentos que apresentaram os melhores resultados em termos de temperatura média de tratamento térmico, temperatura máxima alcançada e tempo de rampa médio foram o TP4 e o TP5, utilizando a densidade de potência de 1,5 – 0,5 W/g e 1,5 – 1,0 W/g, respectivamente. Nos dois referidos ensaios as temperaturas média foram de 90,6°C e 93,8°C, os valores de T máx. foram de 93,8°C e 96,1°C, próximos da temperatura estipulada de 92°C, e o tempo de rampa médio foi de 4min05seg e 4min12seg. Segundo Rocha (2002) a temperatura de 92°C apresentou os melhores resultados quanto a inativação e rendimento do grão de arroz em casca. Com isso determinou-se a utilização das densidades de potência de 1,5 W/g, com reduções para 0,5 e 1,0 W/g, para a estabilização do farelo de arroz com casca.

## **5.2 Estabilização do farelo de arroz, obtido no grão de arroz em casca, por micro-ondas**

Os tratamentos utilizando as densidade de potência de 1,5 – 0,5 W/g e 1,5 – 1,0 W/g estabelecidos através dos testes preliminares, TP4 e TP5, foram repetidos utilizando duas variedades de arroz recém-colhido, IAC 105 e IAC 500, ambas classificadas como arroz longo/fino. Os grãos da variedade IAC 500 foram colhidos em Abril/2014 e da variedade IAC 105 foram colhidos em Abril/2015. A variedade IAC 105 foi utilizada nos testes preliminares e a variedade IAC 500 foi utilizada por apresentar características do grão similares à variedade IAC 105.

As amostras de arroz em casca das variedades IAC 500 e IAC 105 recém-colhidas apresentaram teor de umidade de cerca de 29,3 g/100g e 23,5 g/100g, respectivamente. Os ensaios foram realizados nas duas variedades em triplicatas e diferenciam-se também quanto à densidade de potência utilizada. As condições dos tratamentos estudados encontram-se na Tabela 3. As Fig. 12 e 13 apresentam a evolução da temperatura durante os ensaios TT1 e TT2 (TT = tratamento térmico), e as Fig. 14 e 15 representam os ensaios TT3 e TT4, respectivamente.

Tabela 3. Condições utilizadas nos tratamentos térmicos realizados nas respectivas variedades de arroz em casca recém-colhido

Ensaio	Variedade	Pt	Dp (W/g)
		(W)	
TT1	IAC 500	300 - 100	1,5 - 0,5
TT2	IAC 500	300 - 200	1,5 - 1,0
TT3	IAC 105	300 -100	1,5 - 0,5
TT4	IAC 105	300 - 200	1,5 - 1,0

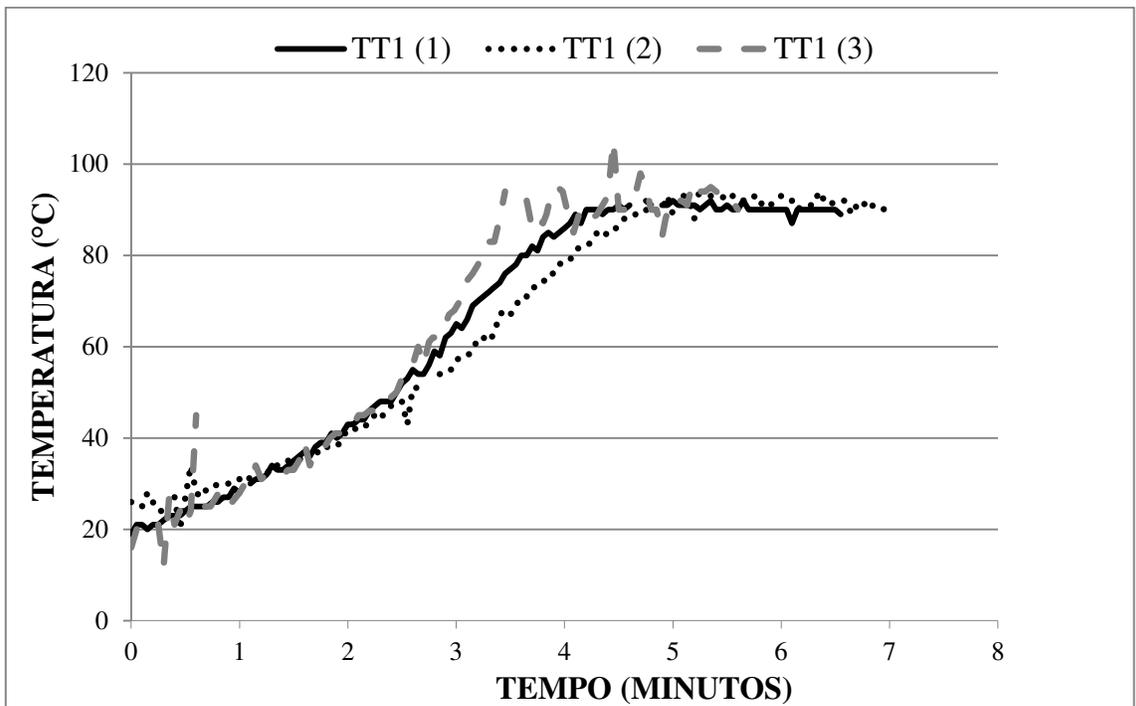
TT = Tratamento térmico; Pt = Potência transmitida; Dp = Densidade de potência

As temperaturas apresentadas na tabela 4 correspondem ao valor médio das triplicatas após a amostra ter atingido 92°C até o término do tratamento. O tempo mostrado na tabela 4 corresponde ao tempo total de tratamento térmico, incluindo a rampa de aquecimento e o tempo de 2min a 92°C, com a finalidade de estimar o tempo total do processo de estabilização.

Tabela 4. Resultados correspondentes aos tratamentos térmicos por micro-ondas realizados no arroz em casca recém-colhido

Parâmetros	IAC 500		IAC 105	
	TT1	TT2	TT3	TT4
P. t. (W)	300 - 100	300 - 200	300 - 100	300 - 200
D.p. (W/g)	1,5 - 0,5	1,5 - 1	1,5 - 0,5	1,5 - 1
T. máx. (°C)	95,67±9,00	108,67±22,94	97,78±3,35	98,00±0,87
T. mín (°C)	88,00±4,00	77,00±8,71	88,30±2,24	2,56±0,29
T. média (°C)	91,19±0,73	93,40±1,34	93,14±1,82	95,91±0,34
Tempo total (min)	6min37seg	6min12seg	5min33seg	5min21seg
Umidade* (g/100g)	20,83	18,11	14,96	14,69

P.t. = Potência transmitida; D.p. = Densidade de potência; T. máx. = Temperatura máxima; T. mín. = Temperatura mínima; T. média = Temperatura média; TT = Tratamento térmico; \*após o tratamento térmico



Figura

12. Evolução das temperaturas do ensaio TT1, IAC 500 submetido à densidade de potência de 1,5 – 0,5 W/g

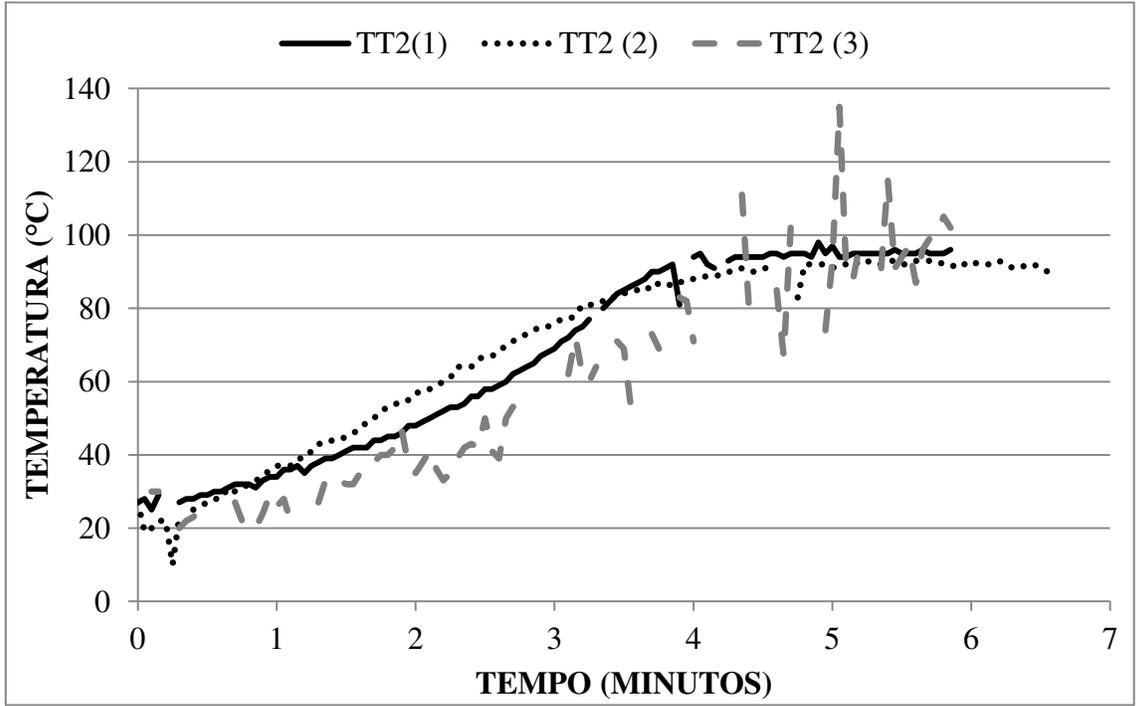


Figura 13. Evolução das temperaturas do ensaio TT2, IAC 500 submetido à densidade de potência de 1,5 – 1 W/g

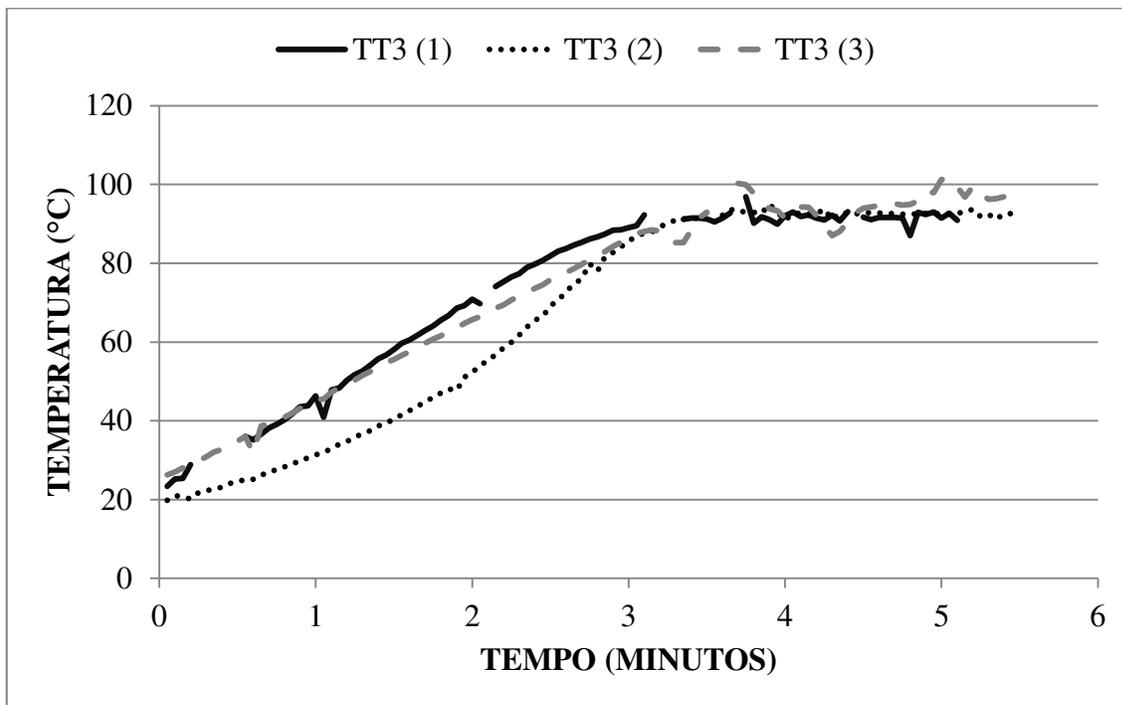


Figura 14. Evolução das temperaturas do ensaio TT3, IAC 105 submetido à densidade de potência de 1,5 – 0,5 W/g

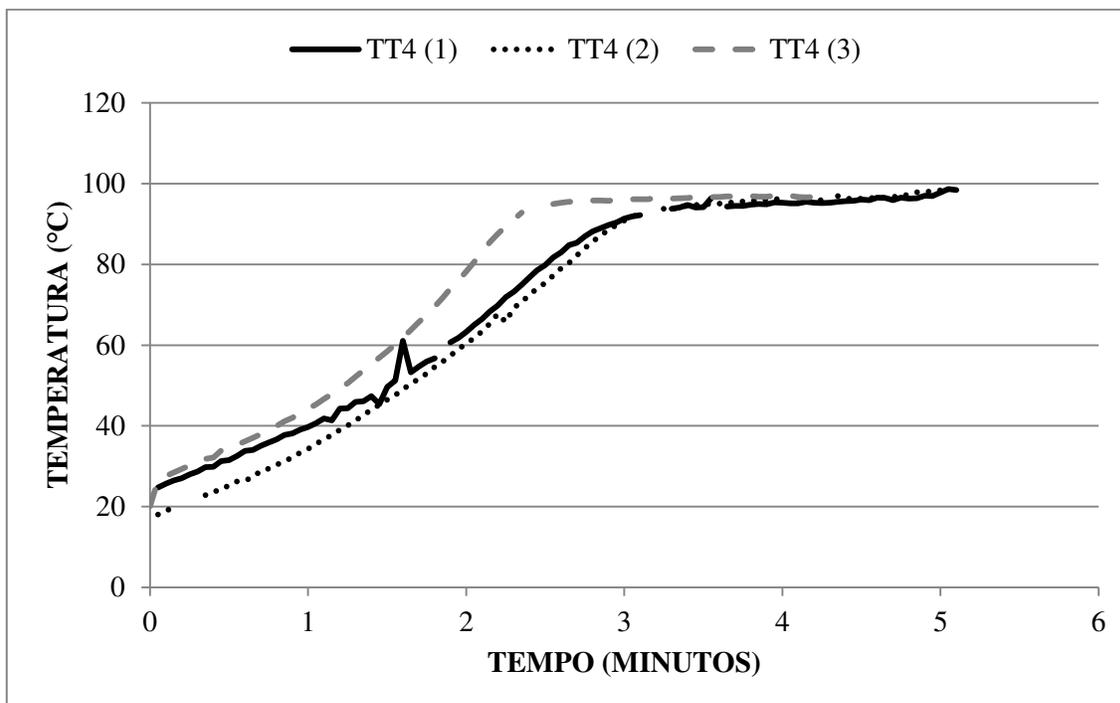


Figura 15. Evolução das temperaturas do ensaio TT4, IAC 105 submetido à densidade de potência de 1,5 – 1 W/g

A secagem dos grãos foi realizada após o tratamento térmico, com o objetivo de atingir o teor de umidade próximo de 12 g/100g. Manteve-se a potência fixa em 200 W, equivalente a 1,0 W/g, a temperatura do ar em 60°C, medida por um sensor de temperatura (Fig. 3, parte 19) e vazão do ar em 2m<sup>3</sup>/min, medida por manômetro (Fig. 3, parte 16).

Para a determinação do tempo de secagem foram realizados testes na variedade IAC 500, cujos resultados foram avaliados em função do teor de umidade final dos grãos e da porcentagem de grãos inteiros obtidos após o beneficiamento (Tabela 5). Com estes resultados foi possível estabelecer que 5 minutos de secagem utilizando ar quente combinado com micro-ondas são suficientes para que o grão atinja a umidade necessária para o beneficiamento, pois os tempos de 15 e 10 minutos de secagem resultaram em um produto seco com o teor de umidade abaixo de 12 a 13 g/100g, sugerido pelo pesquisador Omar Vieira Villela (Polo Regional Vale do Paraíba – Pindamonhangaba). Após a secagem, seguiu-se com o beneficiamento dos grãos, os quais apresentaram resultados bastante promissores, visto que para ser considerado um arroz com bom rendimento este deve apresentar uma porcentagem de grãos inteiros entre 50 e 60%.

A eficiência do tratamento térmico e da secagem foi avaliada através da comparação com amostras sem tratamento de estabilização, denominadas como controle. O arroz controle, tanto da variedade IAC 500 como da variedade IAC 105, foram secos à temperatura de 50° C, até atingir o teor de umidade de 12 g/100g. A temperatura usada na secagem do arroz controle foi estabelecida partindo do estudo desenvolvido por Rocha (2002), cujo arroz submetido à temperatura de 61°C apresentou inativação próxima de 50%, com isso foi definida a temperatura de 50° C para a secagem.

As temperaturas da secagem foram aferidas com o auxílio de uma fibra óptica, posicionada através de um bastão de Teflon, encaixado na cavidade de micro-ondas pela altura do bastão tendo a parte inferior do bastão posicionada na placa perfurada do equipamento ([3] Figura 3) e a parte superior encaixada em um dos furos disponíveis na tampa perfurada do equipamento. Isso possibilitou que a fibra óptica permanecesse fixa e em contato com leito de arroz em casca. Além da fibra óptica, um sensor de infravermelho foi utilizado para aferição da temperatura média superficial da amostra, cujos valores encontram-se nas figuras 16 e 17.

Tabela 5. Teor de umidade final e porcentagem de grãos inteiros da variedade IAC 500 após os respectivos tempos de secagem.

Ensaio	Teor de umidade inicial** (g/100)	Tempo (minutos)	Teor de umidade final (g/100g)	Rendimento (%)
TT1	20,83±0,5	15	9,85±0,07	59,13±1,48
TT1	20,83±0,65	10	10,66±23	71,82±0,62
TT2	18,11±0,1	15	9,9±0,24	67,31±0,63
TT2	18,11±0,1	10	9,39±0,76	74,80±0,96
TT2	18,11±0,1	5	12,13±0,21	69,81±1,14
Controle	29,36±0,7		10,89±0,14	65,02±0,20

TT = Tratamento térmico; \*\*Umidade dos grãos de arroz em casca após o tratamento térmico.

Os resultados encontrados na tabela 5 mostram que o teor de umidade inicial da secagem, ou seja, teor de umidade do arroz em casca após o tratamento térmico, não influenciou na umidade final dos grãos após a secagem. Uma vez que quando comparado o TT1, cujo teor de

umidade após o tratamento térmico foi de 20,83 g/100g e ao final de 15 minutos de exposição à secagem simultânea de ar quente e micro-ondas apresentou teor de umidade final de 9,85 g/100g, comparado com o TT2, cujo teor de umidade inicial da secagem foi de 18,11 g/100g e ao final do mesmo tempo de exposição (15 minutos) apresentou teor de umidade final de 9,39 g/100g. Com isso, observa-se que o tempo de exposição do arroz em casca às micro-ondas combinadas com ar quente é um fator determinante no teor de umidade final dos grãos.

Tabela 6. Teor de umidade final e porcentagem de grãos inteiros da variedade IAC 105 após o tratamento térmico, com e sem secagem por micro-ondas.

Ensaio	Teor de umidade inicial** (g/100g)	Teor de umidade final (g/100g)	Rendimento (%)
TT3	14,96±0,55	12,63±0,41	21,18±3,52
TT3*	14,96±0,55	14,96±0,55	58,95±3,41
TT4	14,69±1,56	11,6±0,53	16,06±1,51
TT4*	14,69±1,56	14,69±1,56	53,85±5,00
Controle	23,58±0,15	12,39±0,71	66,38±4,66

Secagem = 5 minutos; \* Sem secagem; \*\*Umidade dos grãos de arroz em casca após o tratamento térmico.

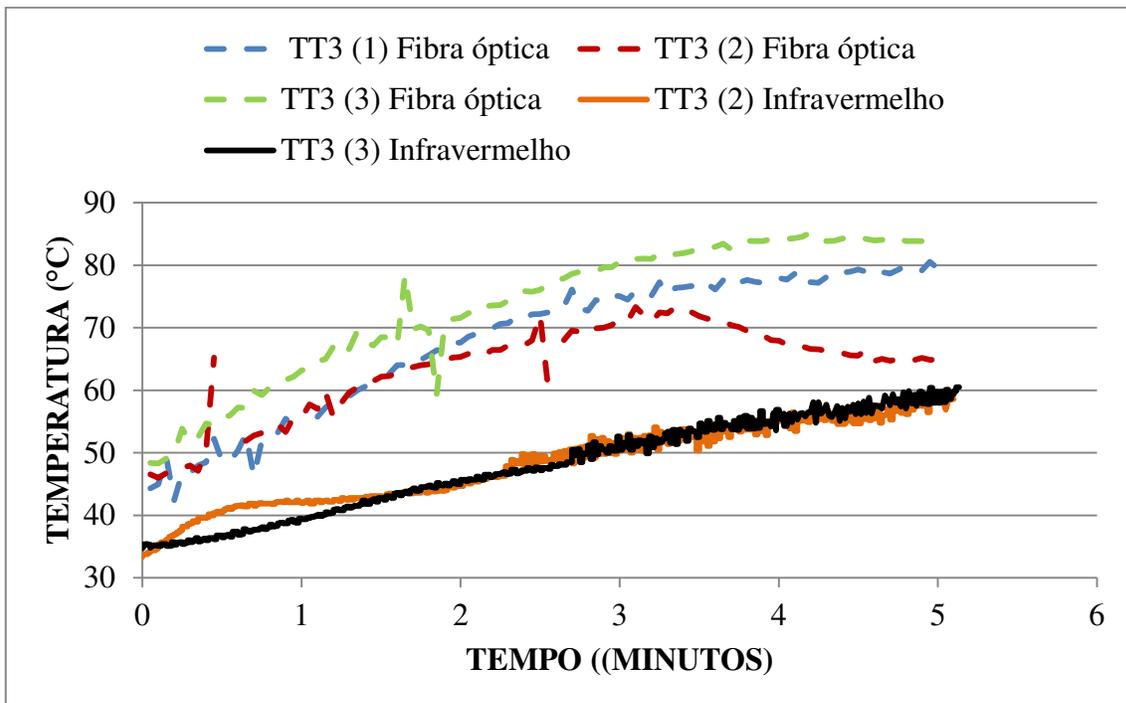


Figura 16. Temperatura do arroz em casca durante a secagem por ar quente e micro-ondas correspondente ao ensaio TT3.

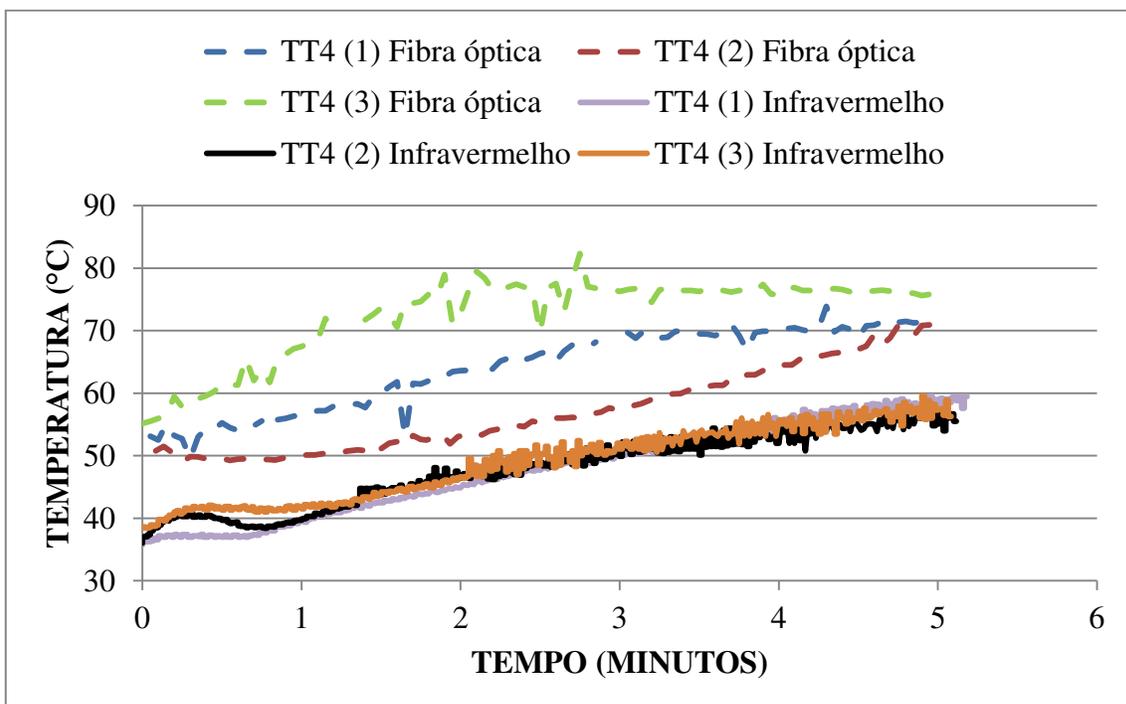


Figura 17. Evolução da temperatura do arroz em casca durante a secagem por ar quente e micro-ondas, correspondente ao ensaio TT4.

Durante as secagens pode-se observar que as temperaturas aferidas pelo sensor de infravermelho pouco se alteraram entre os ensaios, como mostram as Fig. 16 e 17. As medições realizadas com o infravermelho é uma leitura média da superfície do leito de arroz e, neste caso, é levada em consideração também a temperatura do ar quente de secagem.

Pode-se observar que a secagem referente ao ensaio TT3(2) foi iniciada com a temperatura média do leito de arroz em 33,3°C e ao seu término, após 5 minutos de secagem, foi registrada uma temperatura superficial de 58,6°C. Valores de temperatura superficial próximos foram observados também nos ensaios TT3(1) e TT3(3).

Já as aferições realizadas com o sensor de fibra óptica apresentaram valores de temperatura maiores. O ensaio TT3(1) apresentou temperatura pontual de 44,3°C no início da secagem e de 79,3°C no final do processo, apresentando temperatura máxima de 80,5°C aos 4min50seg. A repetição TT3(2) apresentou temperatura no início do processo de 46,5°C e de 64,9°C no final com a temperatura máxima de 73,3°C aos 3min 35seg. Já na repetição TT3(3) a temperatura aferida com a fibra óptica foi de 48,4°C no início e de 83,9°C no final, com a temperatura máxima de 85,2°C aos 4min20seg. Baseados nesses dados foram calculados as médias e os desvios padrão das temperaturas mínimas e máximas observadas entre as repetições do ensaio TT3, obtendo-se os seguintes valores: 45,6°C±2,9 (temperatura mínima) no tempo próximo de 0min10seg e 79,7°C±6,0 (temperatura máxima) no tempo de 4min20seg, aproximadamente.

O ensaio TT3 submetido ao tratamento térmico utilizando a densidade de potência de 1,5 W/g seguido da redução para 0,5 W/g, ao atingir 92°C, durante 2 minutos, seco posteriormente por ar quente e micro-ondas apresentou valores inferiores no rendimento, 21,18±3,52%, quando comparado com o ensaio TT3\* (beneficiado após o tratamento térmico, sem secagem), 58,95±3,41%, como mostra a tabela 6. A diferença entre os ensaios pode ser visualizada nas Fig. 18 e 19.

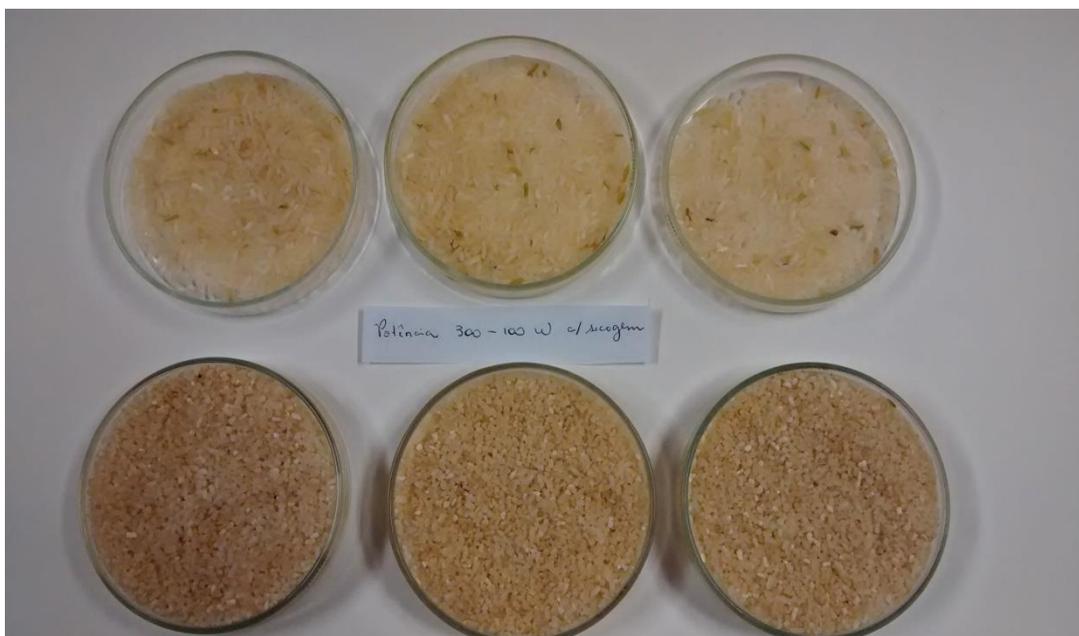


Figura 18. Arroz beneficiado após tratamento térmico (TT3) em triplicata, seguido pela secagem simultânea de ar quente e micro-ondas. Placas superiores correspondem aos grãos inteiros e as placas inferiores aos grãos quebrados.

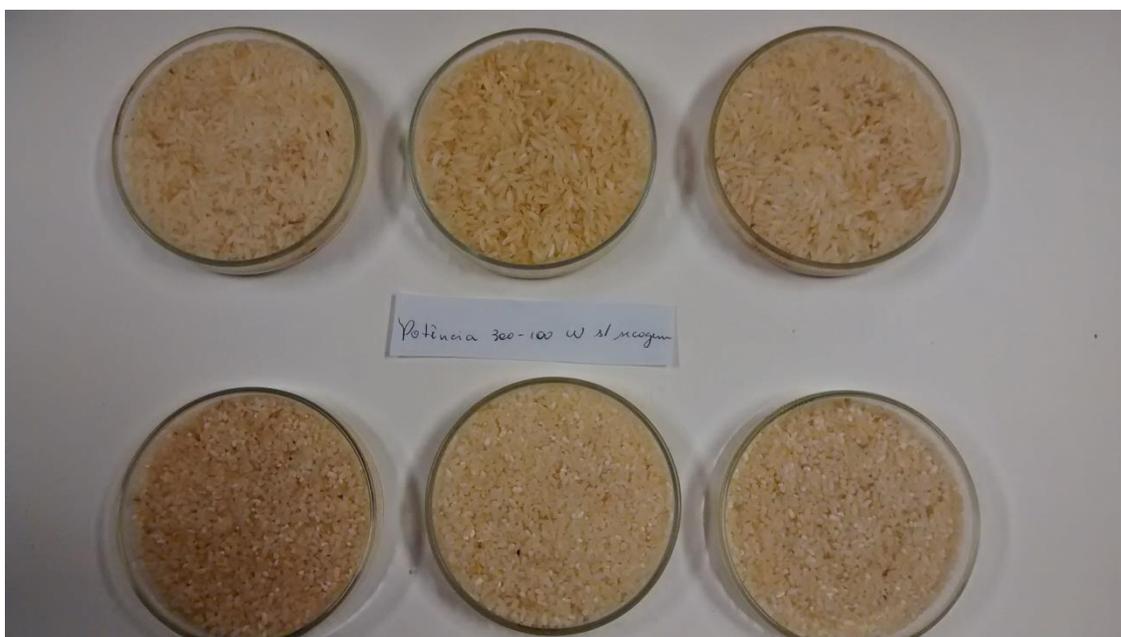


Figura 19. Arroz beneficiado após tratamento térmico (TT3) em triplicata, sem secagem. Placas superiores correspondem aos grãos inteiros e as placas inferiores aos grãos quebrados.

A secagem do TT4 foi realizada em triplicata e os dados encontram-se na Fig. 17, assim como a secagem realizada no ensaio TT3, as temperaturas aferidas pelo infravermelho mantiveram-se próximas entre os ensaios, cujo valor inicial foi de 35,7°C [TT4(1)], 36°C [TT4(2)] e 38,4°C [TT4(3)], finalizando os 5 minutos de secagem com a temperatura média da superfície de 59,5°C [TT4(1)], 55,5°C [TT4(2)] e 56,3°C [TT4(3)]. Com a fibra óptica as leituras pontuais do leito de arroz em casca durante o início da secagem foram de 53,1°C [TT4(1)], 50,8°C [TT4(2)] e 55,2°C [TT4(3)]. O leito de arroz em casca TT4 ao final dos 5 minutos de secagem apresentou temperaturas de 72°C [TT4(1)], 70,8°C [TT4(2)] e 75,82°C [TT4(3)]. A média e o desvio padrão das temperaturas mínimas e máximas entre as repetições do ensaio TT4, aferidas com a fibra óptica, foram calculados e obtiveram-se os seguintes resultados, temperatura mínima de  $51,2^{\circ}\text{C} \pm 3,4$  no tempo de  $0\text{min}20\text{seg} \pm 0,2$  e máxima de  $75,7^{\circ}\text{C} \pm 5,9$  no tempo de  $4\text{min} \pm 1,0$ .

Assim como o ensaio TT3 com e sem secagem, no ensaio TT4, cujo tratamento térmico utilizando a densidade de potência de 1,5 W/g seguido da redução para 1,0 W/g, ao atingir 92°C, durante 2 minutos, com a secagem por ar quente e micro-ondas apresentou menor rendimento,  $16,06 \pm 1,51$ , quando comparado com o ensaio TT4\* (beneficiado após o tratamento térmico, sem secagem),  $53,85 \pm 5,00$ , resultados encontrados na tabela 6. A diferença no grãos secos dos grãos apenas tratados termicamente por micro-ondas pode ser melhor observada nas Fig. 20 e 21.



Figura 20. Arroz beneficiado após tratamento térmico (TT4) em triplicata, seguido pela secagem simultânea de ar quente e micro-ondas. Placas superiores correspondem aos grãos inteiros e as placas inferiores aos grãos quebrados.

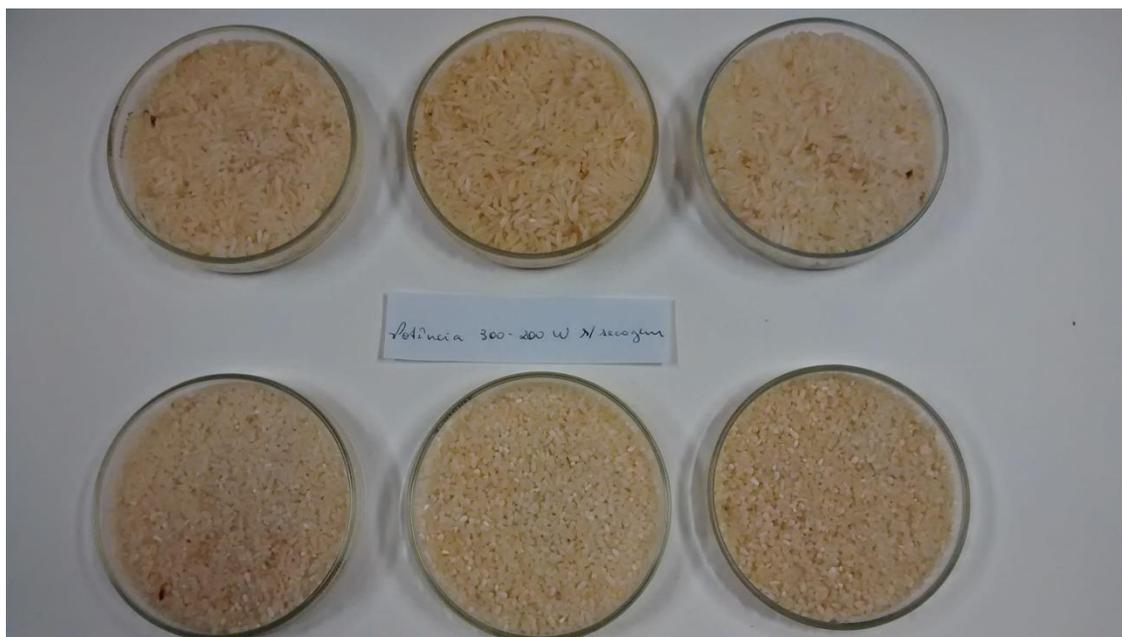


Figura 21. Arroz beneficiado após tratamento térmico (TT4) em triplicata, sem secagem. Placas superiores correspondem aos grãos inteiros e as placas inferiores aos grãos quebrados.

A variação da temperatura entre as repetições (Fig. 16 e 17) podem ter ocorrido devido à falta de homogeneidade do teor de umidade das amostras (dados encontrados na tabela 5 e 6), pois estas seguiram com a secagem após o tratamento térmico. O teor médio de umidade das triplicatas após o tratamento térmico foi de  $14,96 \pm 0,5$  g/100g (TT3) e  $14,68 \pm 1,5$  g/100g (TT4), tais variações puderam ter sido suficiente para interferir na temperatura de secagem entre as repetições. A falta de uniformidade no teor de umidade dos grãos influencia nas propriedades dielétricas, podendo promover um aquecimento desuniforme dos grãos.

Outro fator pode interferir na leitura das temperaturas realizada pela fibra óptica, o tipo de material estudado. Sendo o arroz um material particulado, durante o posicionamento do sensor pode ocorrer um contato maior ou não com a amostra, formada pelo leito de arroz e ar.

O rendimento dos grãos de arroz tratados termicamente por micro-ondas, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 5 e 6, está diretamente relacionado à umidade inicial

do grão, antes de ser submetido ao tratamento térmico e à temperatura atingida pelo arroz, que deve ser superior à temperatura de gelatinização da maior parte dos grãos (ROCHA, 2002). A variedade IAC 500, cujo teor inicial de umidade era de 29,3g/100g, apresentou rendimento médio entre todos os ensaios de  $68,57 \pm 5,95\%$  (Tabela 5), já a variedade IAC 105 cujo teor de umidade era de 23,5g/100g, o rendimento médio foi de  $37,51 \pm 22,01\%$  (Tabela 6).

O rendimento de todos os ensaios realizados do arroz IAC 500 (TT1 e TT2), com exceção do ensaio TT1 cuja exposição à secagem foi de 15 minutos que apresentou  $59,13 \pm 1,48\%$ , mostram-se superiores ao arroz controle, isso indica que o tratamento térmico e a secagem foram eficientes no melhoramento dos grãos, aumentando o rendimento de grãos inteiros. A variação de umidade pode estar relacionada à gelatinização do amido que consiste em um fenômeno hidrotérmico onde promove a liberação das cadeias de amilose e amilopectina no interior úmido do grão e com a secagem tem-se a retrogração do amido, com isso tem-se o aumento da resistência do grão. Resultados similares foram observados no trabalho realizado por Rocha (2002), onde este em seu melhor experimento obteve o rendimento de 66,48% de grãos inteiros, cujo teor de umidade era superior a 24g/100g, à densidade de potência de 3 W/g, temperatura de 92°C, durante 3min20seg.

### **5.3 Teor de lipídios totais e perfil de ácidos graxos do farelo de arroz**

O teor de lipídios totais foi determinado de acordo com o método desenvolvido por Folch et al (1957). Como este método foi desenvolvido para tecidos animais a quantidade de água necessária para a extração é a água presente nos tecidos animais. Assim, a água endógena do produto torna-se um terceiro elemento na mistura dos solventes extratores (clorofórmio: metanol). Com base nessas informações, determinou-se o teor de umidade (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985) do farelo de arroz da variedade IAC 105, tratado previamente por micro-ondas e sem tratamento (controle). Os resultados obtidos foram  $10,3 \pm 0,3$  g/100g e  $8,7 \pm 0,01$  g/100g, respectivamente. O teor de umidade do farelo de arroz possibilitou calcular a massa de água necessária para o ajuste da umidade para 80 g/100g (teor de umidade próximo ao de uma amostra de tecidos biológicos).

O teor de lipídio totais foi de  $7,84 \pm 0,54$  g/100g para o do farelo tratado e de  $7,84 \pm 0,55$  g/100g para farelo controle. O grau de brunimento determina a composição centesimal

do farelo de arroz. Por exemplo, quanto mais intenso for o processo de brunimento mais endosperma será retirado do grão, havendo aumento do teor de carboidratos e diminuição da concentração de lipídios (LUH et al, 1991).

A composição de ácidos graxos do farelo de arroz controle e do farelo de arroz tratado por micro-ondas, no tempo 0 e após 21 dias de estocagem encontra-se na tabela 7.

Tabela 7. Teores de ácidos graxos (mg/100g) do farelo de arroz controle e do farelo de arroz tratado por micro-ondas, no tempo 0 e após 21 dias de estocagem.

Ácido graxo	Concentração de ácidos graxos (mg AG/100g)			
	FC (0 dias)	FC (21 dias)	FT (0 dias)	FT (21 dias)
14:0	16,2±1,1	18,4±1,4	16,6±1,4	16,0±1,0
16:0	1459,9±17,6	1595,6±32,1	1477,3±90,1	1471,2±62,9
16:1n7	8,6±0,2	9,0±0,7	7,9±0,6	7,8±0,5
18:0	114,6±8,3	119,2±8,6	104,6±5,8	104,9±7,8
18:1n9c	3022,5±14,5	3260,7±76,8	2971,5±178,7	3055,2±130,8
18:2n6	2204,4±4,8	2357,7±60,7	2206,2±128,8	2196,6±87,8
20:0	43,5±3,2	43,9±2,9	39,0±2,3	39,5±2,7
20:1n9	23,81,8	24,0±1,3	21,1±1,3	21,0±1,5
18:3n3	93,6±6,5	96,6±5,1	86,9±6,4	83,9±6,0
22:0	20,4±1,8	20,9±0,9	16,5±1,0	21,3±1,7
24:0	34,0±3,1	36,0±1,8	30,6±2,1	38,2±2,9
22:6n3	7,4±0,5	7,7±0,3	7,3±0,3	7,8±0,4
∑ AGS	1688,5	1833,9	1684,5	1691,1
∑ AGM	3054,9	3293,7	3000,6	3084
∑ AGP	2305,5	2462	2300,4	2288,2

FC = Farelo controle, sem tratamento; FT = Farelo tratado por micro-ondas; ∑ AGS = Somatória dos ácidos graxos saturados; ∑ AGM = Somatória dos ácidos graxos monoinsaturados; ∑ AGP = Somatória dos ácidos graxos poli-insaturados. Os resultados não apresentaram diferença significativa (p>0,05)

De acordo com o teste de variância, realizado no software Statistica, tanto o tempo de 21 dias de estocagem quanto o tratamento térmico não foram significativamente alterados na amostra,  $p > 0,05$ . Alguns dados da literatura confirmam os ácidos graxos 16:0, 18:0, 18:1, 18:2 e 18:3 como majoritários na composição dos lipídios do farelo de arroz (FARIA et al, 2012; BHATNAGAR et al, 2014).

#### 5.4 Efeito dos tratamentos térmicos na atividade da peroxidase

A inativação da enzima peroxidase foi avaliada utilizando duas variedades de arroz, as quais foram IAC 500 e IAC 105. Os resultados da análise de inativação da peroxidase nos diferentes tratamentos térmicos por micro-ondas encontram-se na tabela 8.

O efeito da secagem simultânea de ar quente e micro-ondas também foi avaliado quanto à inativação da peroxidase utilizando a variedade IAC 105. Com isso a análise de atividade da peroxidase foi realizada após o tratamento térmico e subsequente secagem.

Tabela 8. Valores de atividade de peroxidase no farelo de arroz

Ensaio	Variedade	D.p. (W/g)	Temperatura média (°C)	Inativação (%)
TT1	IAC 500	1,5 - 0,5	91,2	71,8±7,4
TT2		1,5 - 1,0	93,4	88,0±0,6
Controle				0,0
TT3	IAC 105	1,5 - 0,5	93,1	72,6±1,4
TT3*		1,5 - 0,5	93,1	78,8±2,2
TT4		1,5 - 1,0	95,9	84,9±1,2
TT4*		1,5 - 1,0	95,9	87,5±1,1
Controle				0,0

\* Amostra sem secagem

D.p. = Densidade de potência

Controle = Farelo de arroz obtido de arroz seco na temperatura de 50°C, sem tratamento térmico por micro-ondas

Todos os tratamentos citados na Tabela 8 mostraram-se eficazes na redução da atividade da peroxidase, uma vez que todas as amostras tratadas com micro-ondas apresentaram atividade de peroxidase menor que a amostra sem tratamento (controle). Com os resultados apresentados na Tabela 8 é possível observar que quanto maior a temperatura do processo, maior é a inativação da peroxidase, uma vez que a redução na porcentagem da atividade da peroxidase é interpretada como inativação enzimática, indicativo da inativação de lipases.

A amostra IAC 105 apresentou uma pequena diferença entre as amostras com e sem secagem. As amostras sem secagem apresentaram uma maior inativação que àquelas que passaram pelo processo de secagem, cuja variação pode ser explicada devido à quebra do grão de arroz, pois as amostras secas após o tratamento térmico apresentaram menor rendimento quando comparadas às amostras que não passaram por secagem (tabela 5). Quanto maior a quantidade de amido no farelo menor será a participação dos outros compostos.

### **5.5 Acompanhamento do teor de ácidos graxos livres no farelo de arroz durante o período de estocagem**

Após o beneficiamento das amostras de arroz da variedade IAC 105, submetidas à densidade de potência de 1,5 – 0,5 W/g e seca (ar quente e micro-ondas, cujas condições foram densidade de potência a 200 W durante 5 minutos), o farelo obtido foi dividido em porções de 20 gramas, acondicionado em embalagem plástica de polietileno de baixa densidade (etiquetados como farelo tratado e farelo controle), sem vácuo e mantidas ao abrigo de luz, à temperatura de 20°C durante o período de 21 dias. Semanalmente, foi realizada a extração dos lipídios das amostras, utilizando o método de Folch et al (1957), e em seguida a determinação do teor de ácidos graxos livres.

O acompanhamento semanal do teor de ácidos graxos livres foi realizado com a finalidade de comprovar a inativação ou redução da atividade das enzimas lipases no farelo de arroz, visto que a análise de atividade da peroxidase é um indicativo da eficiência do tratamento. A Tabela 9 apresenta os teores de ácidos graxos livres do farelo de arroz controle e tratado por micro-ondas e analisados semanalmente durante o período de estocagem. As condições utilizadas para o tratamento por micro-ondas foram as seguintes; densidade de potência de 1,5 – 0,5 W/g, temperatura média de 93,14°C (temperatura média calculada após a rampa de aquecimento), com

temperatura máxima foi de 97,78°C e mínima de 88,3°C, durante o tempo médio de 5,3 minutos (tempo total do processamento térmico).

Tabela 9. Teor de ácidos graxos livres (g de ácido oleico/100 g de farelo de arroz) durante o período de estocagem

	Farelo		Estocagem (dias)		
	IAC 105	0	7	14	21
AGL (g ácido oleico/100g)	Tratado	4,51±0,03	6,98±0,1	9,87±0,1	10,75±0,3
AGL (g ácido oleico/100g)	Controle	6,41±0,06	17,07±0,3	25,31±0,4	30,97±0,3

AGL = Ácidos graxos livres

Os valores obtidos no período de estocagem demonstram que houve uma atividade residual das enzimas lipases, pois o teor de ácidos graxos livres do farelo tratado por micro-ondas sofreu um aumento de 4,51 para 10,75 g de ácido oleico/100g após os 21 dias de estocagem. Os valores de ácidos graxos livres obtidos no farelo de arroz tratado por micro-ondas do presente trabalho foram superiores aos valores obtidos por outros autores (LAKKAKULA et al, 2004; ROCHA, 2002; TAO et al, 1993). No entanto, os valores de ácidos graxos no farelo de arroz tratado ao final do período de estocagem (21 dias) ainda encontram-se abaixo do limite máximo para óleo de arroz bruto (15 g de ácido oleico/100 g) estabelecido pela ANVISA (Resolução 482/99). Diferentemente do farelo de arroz tratado, o farelo de arroz sem tratamento (controle), a partir do sétimo dia ultrapassou o valor máximo estipulado para óleo de arroz pelo órgão vigente, ou seja, com sete dias de estocagem o produto encontrava-se impróprio para o consumo. Ao final do experimento (21 dias) o farelo de arroz sem tratamento térmico apresentou mais que o dobro do limite máximo declarado pelo órgão citado para óleo de arroz.

## 6. CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível concluir que o teor de umidade inicial de 29,36% do grão da variedade IAC 500 foi suficiente para melhorar o rendimento de grãos inteiros, comparados ao controle (65% de grãos inteiros), cujo valor médio de rendimento de grãos inteiros tratados foi de 75,15%. A melhor condição de tratamento e secagem foi utilizando a

densidade de potência de 1,5 – 0,5 W/g à temperatura média de 91,6°C. Todos os tratamentos estudados tiveram resultados positivos na inativação da enzima peroxidase, a maior porcentagem de inativação foi de 88,05%, isso resultou em um aumento de 138,3% no teor de ácidos graxos livres no farelo de arroz tratado, porém ao final de 21 dias este se apresentou aproximadamente 3 vezes menos que o farelo de arroz sem tratamento.

A estabilização do arroz ainda em casca torna-se muito viável, pois no caso do processamento do arroz branco polido, tem-se o farelo já tratado pronto para a comercialização. Além disso, é possível a obtenção do arroz pardo, ou integral, estabilizado, estendendo sua vida de prateleira, visto que este apresenta o prazo de validade curto.

## **7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 482 de 23 de setembro de 1999. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Óleos e Gorduras Vegetais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 de outubro de 1999.

AOAC International: Guidelines for laboratories performing microbiological and chemical analyses of food and pharmaceuticals, 2006.

AOCS (1997). Official Method Ce 1b-89. In Firestone D (Ed). Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society (5 ed). Champaign: American Oil Chemists' Society Press.

BARATA, T. S. Caracterização do consumo de arroz no Brasil: Um estudo na região metropolitana de Porto Alegre. Dissertação (Mestre em agronegócios) – Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócio, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

BERTELI, M. N; NOGUEIRA, T. L; MARSAIOLI JR. A. Levantamento das distribuições de temperaturas em leito de arroz com casca durante o tratamento térmico por micro-ondas. *Brazilian Journal of Food Engineering*. Artigo aceito para publicação, 2015.

BHATNAGAR, A. S; PRABHAKAR, D. S; PRASANTH KUMAR, P. K; RAJA RAJAN, R. G; GOPALA KRISHNA, A. G. Processing of commercial rice bran for the production of fat and nutraceutical rich rice brokens, rice germ and pure bran. *Food Science and Technology*, v 58, p 306-311, 2014.

BOLDOR, D; BALASUBRAMANIAN, S; PUROHIT, S; RUSCH, K. A. Design and implementation of a continuous microwave heating system for ballast water treatment. *Environmental Science and Technology*, v 42, p 4121-4127, 2008.

BRUNSCHWILER, C; HEINE, D; KAPPELER, S; CONDE-PETIT, B; NYSTRÖM, L. Direct measurement of rice bran lipase activity for inactivation kinetics and storage stability prediction. *Journal of Cereal Science*, v 58, p 272-277, 2013.

BRUSCATTO, M. H.; PESTANA-BAUER, V. R.; RUTZ, J. K.; ZAMBIAZI, R. C. Refined Rice Bran Oil Characterization. *Rev Cienc. Tecnol*, 14, n 18, p 28–32, 2012.

BUFFLER, C. R. Microwave cooking and processing: engineering fundamentals for the food scientist. New York, V. N. Reinhold AVI, 1992. 169 p.

CHANG, Y. K & EL-DASH, A. A. Effect of microwave energy on lipase inactivation and storage stability of brown rice. *Acta Alimentaria*, v 27, n 2, p 193-202, 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Estudos de prospecção de mercado safra 2012/2013, 2012.

CONFORTI, E; TEJO, R. T. Desenvolvimento de um forno a microondas para fins domésticos e comerciais, Convenio MIC-STI Atecil, Projeto 15.02.01, Relatório final, 1976.

CORONEL, P.; SIMUNOVIC, J.; SANDEEP, K. P.; CARTWRIGHT, G. D.; KUMAR, P. Sterilization solutions for aseptic processing using a continuous flow microwave system. *Journal of Food Engineering*, v 85, p 528-536, 2008.

FARIA, C. A. S. C; BASSINELLO, P. Z; PENTEADO, M. V. C; Nutritional composition of rice bran submitted to different stabilization procedures. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v 48, n 4, oct./dec., 2012

FERRARI, C. K. B. Oxidação lipídica em alimentos e sistemas biológicos: Mecanismos gerais e implicações nutricionais e patológicas. *Revista de Nutrição, Campinas*, v 11, n 1, p 3-14, 1998.

FOLCH, J., LEES, M., & STANLEY, S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, p 497-509, 1957.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rice market monitor. 2015. v 18, p 1-39.

GARCIA, M. C. et al. Application of roasted rice bran in cereal bars. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas*, v 32, n 4, Dec. 2012 .

HEGSTED, M., KOUSIK, C.S. Rice bran and rice bran oil may lower heart disease risk by decreasing cholesterol synthesis in the body. *Louisiana Agriculture*, 37, n 2, p 16-17, 1994.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p 21-22.

JOSEPH, J.D., & ACKMAN, R.G. Capillary column gas chromatographic method for analysis of encapsulated fish oils and fish oil ethyl esters: collaborative study. *Journal of AOAC International*, v 75, p 488-506, 1992.

JULIANO, B. O. Production and utilization of rice. In: JULIANO, B. O. Rice chemistry and technology. 2ª edição. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985, cap 1, p 1-16.

JULIANO, B. O. Rice bran. In: JULIANO, B. O. Rice chemistry and technology. 2ª edição. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985, cap 18, p 647-680.

JULIANO, B. O; BECHTEL, D. B. The rice grain and its Gross composition. In: JULIANO, B. O. Rice chemistry and technology. 2ª edição. St. Paul, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985, cap 2, p 17-57.

KAO, C; LUH, B. S. Rice oil. . In: LUH, B. S. Rice: utilization. 2ª edição. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, v 2, cap 13, p 295-312.

KOMAROV, V. Foodstuff and agricultural products. In: KOMAROV, V. Handbook of dielectric and thermal properties of material at microwave frequencies. Boston: Artech House, 2012. cap 3, p 29-68.

KUBOW, S. Lipids Lipid oxidation products in food and atherogenesis. Nutrition Reviews, v 51, n 2, p 33-40, 1993.

LAKKAKULA, N. R; LIMA, M; WALKER, T. Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. Bioresource Technology, 92, p 157–161, 2004.

LIN, Manguang; RAMASWAMY, Hosahalli S. Evaluation of phosphatase inactivation kinetics and conventional heating conditions. International Journal of Food Properties, London, v 14, p 110-123, 2011.

LUH, B. S; BARBER, S; BARBER, C. B. Rice bran: Chemistry and Technology. In: LUH, B. S. Rice: utilization. 2ª edição. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, v 2, cap 13, p 313-362.

MARSAIOLI JR. A. Desenvolvimento de um protótipo de secador cilíndrico – rotativo a microondas e a ar quente para a secagem contínua de produtos sólidos granulados. Tese (Doutor em engenharia de alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1991.

MCCLEMENTS, D. J; DECKER, E. A. Lipids: Chemical deterioration of lipids: oxidative reactions. In: DAMODARAN, S; PARKIN, K. L; FENNEMA, O. R. Fennema's Food Chemistry. 4ª edição. 2008, cap 4, p 186-194.

MIKKELSEN, D. S; DATTA, S. K. Rice culture. In: LUH, B. S. Rice: production. 2ª edição. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, v 1, cap 4, p 103-186.

NELSON, S. O.; DATTA, A. K. Dielectric properties of food materials and electric field interactions. In: DATTA, A. K.; ANANTHESWARAN, R. C. Handbook of microwave technology for food applications. New York, Marcel Dekker, Inc, 2001. cap 3, p 69 – 114.

OLIVEIRA, M. G. de C. et al . Stability and microbiological quality of rice bran subjected to different heat treatments. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas , v 32, n 4, Dec, 2012

PAUCAR-MENACH, L. M; SILVA, L. H; SANTANA, A. S. Refino de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) em condições brandas para preservação do  $\hat{U}$ -orizanol. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 27, p 45-53, 2007.

PESTANA, R. V; MENDONÇA, C. R. B; ZAMBIAZI, R. C. Farelo de arroz: características, benefícios à saúde e aplicações. B.CEPPA, Curitiba, v 26, n 1, p 29-40, jan./jun. 2008.

QUILEZ, J; ZATOR, M; SALAS-SALVADÓ, J; ALVAREZ, L. Different stabilization treatments of rice bran added to wheat flour determine different properties in partially baked wheat bread. Ital. Journal Food Science, v 25, p 222-228, 2013.

RAMEZANZADEH, F.M; RAO, R.M; PRINYAWIWATKUL, W; MARSHALL, W.E; WINDHAUSER, M. Effects of microwave heat, packaging, and storage temperature on fatty acid and proximate compositions in rice bran. *J. Agri. Food Chem.* 48 (2), 464–467, 2000.

REBECCA, S; ALICIA, A; NA, H; ZHIMIN, X; LIMA, M. Fractionation of the rice bran layer and quantification of vitamin E, oryzanol, protein, and rice bran saccharide. *Journal of Biological Engineering*, v. 1, p. 9-13, 2007.

RIAZ, M. N; ASIF, M; PLATTNER, B; ROKEY, G. Comparison of different methods for rice bran stabilization and their impact on oil extraction and nutrient destruction. *Cereal Foods World*, v 55, n 1, p 35-40, 2010.

ROCHA, C. R. Efeitos do tratamento por micro-ondas do arroz recém colhido no rendimento de grãos inteiros, na qualidade de cozimento e na estabilização do farelo. 2002. 182f. Tese (Doutorado em engenharia de alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

SANCHO, R. A. S; LIMA, F. A; COSTA, G. C; MARIUTTI, L. R. B; BRAGAGNOLO, N. Effect of annatto seed and coriander leaves as natural antioxidants in fish meatballs during frozen storage. *Journal Food Science*, v 76, p 838-845, 2011.

SHARMA, S; KAUR, S; DAR, B. N; SINGH, B. Storage stability and quality assessment of processed cereal brans. *J Food Science Technology*, v 51, n 3, p 583–588, 2014.

SCHIFFMANN, R. F. Microwave and dielectric drying. In: Mujundar, A. S. *Handbook of industrial drying*. p 327-356, Marcel Dekker, New York, 1987.

TAO, J; RAO, R; LIUZZO, J. Microwave heating for Rice bran stabilization. *Journal of microwave power and electromagnetic energy*. v 28, n 3, p 156-164, 1993.

TAKANO, K. Mechanism of lipid hydrolysis in rice bran. *Cereal Foods World*, v. 38, n. 9, p. 695-698, 1993.

VERGARA, B. S. Rice plant growth and development. In: LUH, B. S. *Rice: production*. 2ª edição. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, v 1, cap. 2, p 13-22.

VETTER, J. L; STEINBERG, M , P; NELSON A. I. Quantitative determination of peroxidase in sweet corn. *Agricultural and Food Chemistry*. V 6, n 1, p 39-41, 1958.

WALTER, M, MARCHEZAN, E, AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural*, v.38, n.4, jul, 2008.

WANG, C. Y; LUH, B. S. Harvest, drying, and storage of rough rice. In: LUH, B. S. *Rice: production*. 2ª edição. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, v 1, cap. 9, p 311-346.