

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
Programa de Pós-Graduação em Ciência  
e Tecnologia Agroindustrial



Dissertação

**Parâmetros industriais e tecnológicos do arroz  
na seca-aeração e no armazenamento**

**Jeferson Cunha da Rocha  
Engenheiro Agrícola**

Pelotas, 2010

**JEFERSON CUNHA DA ROCHA**  
**Engenheiro Agrícola**

**PARÂMETROS INDUSTRIAIS E TECNOLÓGICOS DO  
ARROZ NA SECA-AERAÇÃO E NO ARMAZENAMENTO**

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

Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Co-Orientador: Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias

Pelotas, 2010

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

**1.**

R672p Rocha, Jeferson Cunha da

Parâmetros industriais e tecnológicos do arroz na seca-aeração e no armazenamento / Jeferson Cunha da Rocha ; orientador Moacir Cardoso Elias; co-orientador Alvaro Renato Guerra Dias- Pelotas,2010.-79f. ; graf. e tab...- Dissertação ( Mestrado ) –Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

1.Arroz 2.Seca-aeração 3.Tempo de repouso  
4.Textura I. Elias, Moacir Cardoso (orientador) II .Título.

CDD 633.18

**Banca examinadora:**

.....  
Prof. Dr. Manoel Luiz Brenner de Moraes

.....  
Prof. Dr. Wolmer Brod Peres

.....  
Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

A família.

Solon e Lourdes, pais amorosos e dedicados que não medem esforços na busca pela melhor educação aos filhos.

João Antônio, irmão e grande amigo, sempre atencioso no cuidado para com a família.

Ao meu amado filho João Pedro Rocha, pela compreensão, coragem e força na superação da minha ausência durante esta etapa.

DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS pela família que tenho e pelas pessoas que convivi ao longo desta jornada. Que o SENHOR continue iluminando o caminho destas pessoas e abençoando minha vida.

Ao professor Dr. Moacir Cardoso Elias, orientador e eterno mestre, pela confiança, dedicação, apoio e grande amizade concedida durante este desafio. Sempre conduzindo e realizando seus feitos com paixão e zelo na missão desempenhada pela nobre profissão.

Ao saudoso professor Dr. Pedro Luiz Antunes, pelo apoio como co-orientador, profissional atencioso, dedicado e esplêndido, lembrado agora pelos seus feitos e nas memórias dos acadêmicos que tiveram o privilégio de ter partilhado de seus conhecimentos.

Ao Prof. Álvaro Renato Guerra Dias, que deu continuidade à tarefa de co-orientação, pela dedicação, competência, conhecimentos e amizade compartilhada.

A Ana Carla Vaghetti, noiva compreensiva e batalhadora, dividida entre a vida acadêmica, profissional e materna, ajudou a superar nossa distância em segurança e com muito amor, sempre com atitudes e palavras de incentivo em todos os momentos, te amo.

Aos colegas da pós-graduação, em especial a Maurício Oliveira, Volnei Meneghetti, Alexandra Moras, Rafael Schiavon, Elvio Aosani, Leandro Oliveira, Juliane Mascarenhas, Cátia Storck pelo apoio, incentivo, vivência saudável e harmoniosa no dia a dia das atividades acadêmicas e extracurriculares, grandes amigos.

A todos os colegas, bolsistas e estagiários do Laboratório de Pós-Colheita, qualidade e Industrialização de Grãos, em especial a Daniel Rutz, Jonis Gelain, Mateus Pino, William Krolow, Ricardo Paraginsk, Natham Vanier, André Radunz, Otaviano Maciel, Alberto Bhon, Tiago Carrasco, pelo auxílio sempre com seriedade, solidariedade e convivência agradável ao longo do curso.

Aos demais funcionários e professores do DCTA, em especial aos professores Manoel Artigas Schirmer e Leonardo Nora, pela agradável convivência e pelos ensinamentos.

## RESUMO

ROCHA, Jeferson Cunha Da. **Parâmetros industriais e tecnológicos do arroz na seca-aeração e no armazenamento**. 2010. 79f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas.

Foram estudados as dinâmicas da secagem e os parâmetros de qualidade industrial e tecnológicos em grãos de arroz em casca com umidade próxima a 20% e secados até 13% pelo método de seca-aeração, utilizando secador de coluna com três manejos térmicos na etapa inicial até 16%, com transferência para silo-secador em estudos de dois tempos de repouso na etapa final da secagem. No secador de coluna, dotado de duas câmaras originalmente uma de secagem e outra de arrefecimento, o manejo térmico do ar de secagem utilizou temperaturas de 75°C / 75°C, 100°C / 75°C e 75°C / 100°C, respectivamente nas câmaras superior e inferior. Após a etapa final da secagem os grãos foram armazenados em ambiente refrigerado a menos de 18°C. Os silos-secadores, dotados de piso totalmente perfurados e fundo falso, utilizaram ventiladores centrífugos com vazão específica do ar de 19,95 m<sup>3</sup> de ar. min<sup>-1</sup>. m<sup>-3</sup> de grão, e ar de secagem em condição ambiente. A finalização da secagem em silo-secador iniciou depois de transcorridos os tempos de repouso de 4 e de 12 horas, contados imediatamente após a transferência dos grãos do secador de coluna na etapa inicial da secagem. Foram avaliados pelo beneficiamento de arroz branco e parboilizado polidos, os parâmetros do grau de umidade dos grãos, peso de mil grãos, rendimento de grãos inteiros sem defeitos, perfil branquimétrico, comportamento de cocção, perfil texturométrico e as dinâmicas da operação de secagem na etapa final em silo-secador. Os resultados mostram que: a) na seca-aeração do arroz, os manejos térmicos que utilizam crescentes temperaturas do ar na etapa inicial, associados com maiores tempos de repouso resultam em menores tempos de secagem na etapa final, sem comprometer os rendimentos de grãos inteiros sem defeitos, nem a qualidade industrial e nem a

qualidade tecnológica; b) quatro horas de repouso entre a etapa inicial, em secador de coluna, e a etapa final, em silo-secador, são insuficientes para a adequada difusão da água nesta etapa, e sua ampliação para doze horas de repouso diminui os tempos de aeração final com ar ambiente na seca-aeração do arroz; c) o tempo de repouso na etapa final apresenta efeitos mais marcantes sobre os tempos totais de secagem do que o manejo térmico do ar na etapa inicial em secador de coluna na seca-aeração do arroz; d) a parboilização tem efeitos mais marcantes sobre os parâmetros de perfil textuométrico, branquimétrico e de cocção do que o manejo térmico na secagem e o tempo de armazenamento dos grãos em condições ambientais resfriadas, além de restituir os parâmetros de perfil textuométrico e aumentar os rendimentos de grãos inteiros sem defeitos, os rendimentos gravimétrico e volumétrico, a proporção de água necessária e o tempo de cocção do arroz.

.

**Palavras-chave:** seca-aeração, tempo de repouso, arroz, textura.



## ABSTRACT

ROCHA, Jeferson Cunha Da. Industrial and technological parameters of rice on dryeration *and storage*. 2010. 79f. Master's degree dissertation – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas.

It was studied the dynamics of drying and the quality parameters of industrial and technological grains of rice paddy with moisture content around 20% and 13% dried up by the method of dryeration using dryer column with three thermal management strategies in the initial stage thus 16% with transfer to bin-dryer in studies of two rest periods in the final stage of drying. In the dryer column, equipped with two chambers originally a drying and other cooling, management of thermal drying air used temperatures 75°C / 75°C, 100°C / 75°C and 75°C / 100°C respectively in the chambers above and under. After final drying in bin-dryer the grains were stored refrigeration environment at below 18°C. The bin-dryer, fully equipped with false floor perforated, using centrifugal fans with specific airflow rate 19.95 m<sup>3</sup> air. min<sup>-1</sup>. m<sup>-3</sup>. grains and air drying at environmental condition. The finish drying in bin-dryer started after being executed the rest periods of 4 and 12 hours, counted immediately after the transfer of grains in the continuous dryer, drying initial stage. It was measured the processing of polished white rice and parboiled, the parameters of moisture content grains, weight of one thousand grains, whole grain yield without defects, color profile, cooking parameters , texture profile and the dynamics drying operation in bin-dryer. Results shows that: a) On dryeration of rice, the thermal management systems using increasing air temperatures in the initial stage, associated with greater rest time result in lower drying periods in the final stage, no compromising the income of whole grains without defects, nor quality industrial and technological quality; b) four hours of rest time between initial step in dryer column, and final step in bin-dryer, are insufficient for adequate diffusion of water in this step, and an expansion to twelve hours of rest time decreases all final aeration time with environment air in the dryeration of rice c) respecting the limits of thermal mass grains rice, so much higher

the temperature of grains in the initial stage drying, in column dryer, needed less all time for aeration in bin-dryer, the final stage dryeration, no compromising the rice quality; d) the rest time in final step presents the most striking effects on total time of drying than thermal management air dryer in the initial step in continuous dryer on drying rice, e) the parboiling has the most striking effects on the profile parameters texture, profile color and cooking than thermal management in the drying and handling time grain storage at environmental cooled temperature, and repay the texture profile parameters and increases the income of whole grains yields without defects, bulk gravimetric and volumetric, the proportion of water required and the cooking time of rice.

**Key words:** dryeration, rest time, rice, texture.

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Evolução da capacidade estática no Brasil.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2 - Fluxograma simplificado do arroz beneficiado polido.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3 - Fluxograma simplificado do arroz beneficiado parboilizado polido. ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4 - Secador de coluna modelo REAL - LABGRÃOS .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5 - Silos-secador modelo VITÓRIA – LABGRÃOS.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 6 - Fluxograma operacional da seca-aeração do arroz.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 7 - Fluxograma operacional de armazenamento e beneficiamento do arroz..</i>	<i>49</i>
<i>Figura 8 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 4 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a 75±5°C em ambas as câmaras.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 9 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 4 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a 100±5°C na câmara superior e 75±5°C na câmara inferior. .</i>	<i>57</i>
<i>Figura 10 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 4 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a 75±5°C na câmara superior e 100±5°C na câmara inferior. .</i>	<i>57</i>
<i>Figura 11 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 12 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a 75±5°C em ambas as câmaras.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 12 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 12 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a 100±5°C na câmara superior e 75±5°C na câmara inferior. .</i>	<i>59</i>
<i>Figura 13 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 12 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a 75±5°C na câmara superior e 100±5°C na câmara inferior. .</i>	<i>60</i>
<i>Figura 14 - Isotermas de hidratação em sete horas de encharcamento a 60, 65 e 70°C em grãos de arroz secados pelo método de seca-aeração.....</i>	<i>62</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Evolução das exportações brasileiras de produtos agrícolas de arroz.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2 - Produção brasileira de grãos – safra 2009.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 3 - Evolução da produção mundial de arroz.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 4 - Evolução da produção brasileira de arroz.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 5 - Arroz Beneficiado Polido - Limites máximos de tolerância expressos em percentual por peso.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 6 - Arroz Beneficiado Parboilizado Polido - Limites máximos de tolerância expressos em percentual por peso .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 7 - Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e parboilizado polido .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 8 - Produção e consumo mundial de arroz beneficiado (milhões de toneladas) .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 9 - Temperaturas do ar de secagem na etapa inicial da secagem, em secador de coluna, na seca-aeração do arroz.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 10 - Temperatura dos grãos no secador de coluna, na etapa inicial da seca-aeração do arroz .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 11 - Umidade dos grãos na entrada e na saída do secador de coluna, na etapa inicial da seca-aeração do arroz , para cada tempo de repouso programado. ....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 12 - Umidade de entrada e de saída dos grãos no silo-secador, após dois tempos de repouso, na etapa final da secagem na seca-aeração do arroz.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 13 - Tempo de aeração e quantidade de água removida durante a etapa final da secagem em silo-secador, após dois tempos de repouso, na seca-aeração do arroz.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 14 - Condições psicrométricas do ar no ambiente de armazenamento dos grãos .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 15 - Grau de umidade (%) do arroz em casca, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 16 - Peso de mil grãos (g) do arroz em casca natural e parboilizado, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 17 - Rendimento de grãos inteiros sem defeitos (%) de arroz branco polido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>65</i>

<i>Tabela 18 - Rendimento de grãos inteiros sem defeitos (%) do arroz parboilizado polido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 19 - Parâmetros do perfil branquimétrico do arroz branco polido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 20 - Parâmetros do perfil branquimétrico do arroz parboilizado polido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 21 - Parâmetros de cocção do arroz branco polido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 22 - Parâmetros de cocção do arroz parboilizado polido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 23 - Parâmetros de perfil texturométrico do arroz branco polido cozido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 24 - Parâmetros de perfil texturométrico do arroz branco polido cozido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 25 - Parâmetros de perfil texturométrico do arroz parboilizado polido cozido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 26 - Parâmetros de perfil texturométrico do arroz parboilizado polido cozido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado .....</i>	<i>72</i>

## SUMÁRIO

1.	<i>INTRODUÇÃO</i>	16
2.	<i>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i>	18
2.1.	Produção de grãos	18
2.2.	Secagem de grãos	20
2.3.	Seca-aeração	22
2.4.	Qualidade dos grãos na secagem	26
2.5.	Armazenamento de grãos	29
2.6.	Qualidade dos grãos no armazenamento	31
2.7.	Industrialização e beneficiamento do arroz	32
2.7.1.	Arroz beneficiado polido	33
2.7.2.	Arroz parboilizado polido	34
2.8.	Características de consumo do arroz branco e parboilizado	38
3.	<i>MATERIAIS E MÉTODOS</i>	42
3.1.	Material	42
3.1.1.	Material experimental	42
3.1.2.	Secadores	43
3.1.3.	Secador de coluna	43
3.1.4.	Silo-Secador	44
3.2.	Métodos	45
3.2.1.	Manejo operacional da secagem	45
3.2.2.	Armazenamento das amostras	47
3.2.3.	Beneficiamento Industrial	48
3.2.4.	Avaliações dos parâmetros de qualidade industrial e tecnológica	50
3.2.5.	Umidade	50
3.2.6.	Parâmetros de perfil branquimétricos	50
3.2.7.	Peso de mil grãos	50
3.2.8.	Parâmetros de Cocção	50

3.2.9. Parâmetros de perfil texturométrico _____	50
4. <i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i> _____	52
4.1. Estudo I _____	52
4.1.1. Etapa inicial da seca-aeração de arroz (em secador de coluna) _____	52
4.1.2. Etapa final da seca-aeração de arroz (em silo-secador) _____	54
4.1.3. Dinâmica da secagem na etapa final, em silo-secador com insuflação de ar ambiente, na seca-aeração de arroz _____	56
4.2. Estudo II _____	62
4.2.1. Parâmetros de qualidade industrial _____	62
4.2.2. Parâmetros de qualidade tecnológica _____	66
4.3. Conclusões _____	73
5. <i>REFERÊNCIAS</i> _____	74

## 1. INTRODUÇÃO

Cultivado e consumido em todos os continentes, o arroz destaca-se pela produção e pela área de cultivo, desempenhando papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social (EMBRAPA, 2005).

Segundo informações do levantamento sobre a produção de grãos, safra 2009, realizado pela Conab (em julho/10), a produção brasileira foi de 139 milhões de toneladas, o que representa uma redução de 7,2% sobre 144 milhões na safra 2008. Esta redução, decorrente da estiagem, foi consequência da quebra de produção das culturas do milho e da soja, que representam 12 milhões de toneladas. A produção nacional de arroz para a safra 2009 ficou definida em 12,7 milhões de toneladas, equivalente a 5,6% superior à colhida na safra anterior, resultado das boas condições de clima em todo o ciclo da cultura, aliada à boa tecnologia adotada (CONAB, 2009).

Destaca-se o Rio Grande do Sul nas lavouras de arroz nos Estados da região Sul, onde a produtividade média atingiu  $7.150\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 3,6% superior a registrada na safra anterior. A produção de arroz no estado atingiu 7,9 milhões de toneladas na safra atual, o que significa 7,4% superior à safra 2008, e este é o melhor resultado da história. A área cultivada com o cereal é de 1,1 milhões de hectares, crescimento de 3,7%. Nesta temporada, o estado participa com 62% da produção nacional do grão (CONAB, 2009).

A sazonalidade de produção, a perecibilidade do produto, o sistema de cultivo, as condições e o sistema de colheita, associados às características anatômicas e tecnológicas do arroz, fazem com que o produto seja submetido a uma série de operações que visam a sua conservação até o consumo. Dentre estas, a secagem, o armazenamento e a industrialização exigem atenção especial, por



serem responsáveis diretas pelo rendimento, pela sanidade e pelo valor nutritivo dos grãos, ou seja, sua qualidade como negócio e como alimento (BARBOSA, 2005).

No Brasil, a forma quase que exclusivamente usada para a conservação de grãos é a secagem, e ela representa boa parcela nos custos de produção. Para o arroz, é uma das etapas de maior importância na pós-colheita, pois prepara o grão para o armazenamento e para o beneficiamento industrial (FAGUNDES, 2005).

A secagem deve ser efetuada tão logo seja realizada a colheita ou, no máximo, até 24 horas após. Não sendo possível, é importante pré-limpar, aerar e/ou pré-secar o arroz, mantendo-o sob aeração constante até o início da secagem, de modo a resfriá-lo para reduzir o metabolismo dos grãos, bem como de organismos associados. Os grãos não devem permanecer úmidos na moega, sem aeração, por período superior a 24 horas, sob pena de ser reduzida a conservabilidade, com aparecimento de grande percentual de grãos amarelos, mofados, ardidos e com outros defeitos (ELIAS, 2007).

Os princípios decorrentes dos métodos aplicados na secagem de grãos constituem objeto de estudo permanente, visando prolongar a vida comercial dos grãos, preservando sua qualidade e evitando o processamento inadequado devido ao grande volume a ser processado num curto espaço de tempo.

O método de seca-aeração tem como características aumentar a cadência operacional dos secadores, reduzir custos na aplicação de energia térmica e melhorar o aproveitamento das instalações. Com a intenção de conhecer os efeitos deste método na secagem de grãos de arroz, o objetivo neste estudo foi avaliar efeitos imediatos e latentes da seca-aeração sobre os parâmetros industriais e tecnológicos do arroz, branco polido e parboilizado polido.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Produção de grãos

O atendimento das necessidades dos países ricos por alimentos e fibras vegetais mais funcionais e mais elaborados, e da grande população de baixa renda nos demais países, deve ser feito de modo sustentável e harmônico, isto é, sem comprometer a necessidade das gerações futuras de também atender suas necessidades. Neste contexto o Brasil pode desempenhar um papel relevante e cumprir o eterno slogan nacional de ser “o celeiro do mundo”. O país tem apresentado um grande desempenho nas exportações de produtos do agronegócio e conquistado novos mercados em diferentes partes do mundo (SCOLARI, 2006), conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Evolução das exportações brasileiras de produtos agrícolas de arroz

Ano	Exportação (mil toneladas)
2004	36,8
2005	272,5
2006	290,4
2007	201,4
2008	518,0
2009	602,1

Fonte: MDIC, 2010

A estimativa da safra mundial de grãos, divulgada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, mostra que o mundo deve produzir 2,2 bilhões de toneladas de grãos, na safra 2009, enquanto em 2008 alcançou 2,1 bilhões de toneladas. A safra brasileira em 2009 (Tabela 2) deve representar 6,1% da produção mundial de grãos (MIRANDA, 2009).

Tabela 2 - Produção brasileira de grãos – safra 2009

Estado	Produção (milhões de toneladas)	Posição
Mato Grosso	25.234,1	1º
Paraná	26.981,8	2º
Rio Grande do Sul	22.375,2	3º
Goiás	13.160,5	4º
Minas Gerais	10.206,9	5º
Mato Grosso do Sul	7.393,0	6º
São Paulo	5.909,2	7º
Santa Catarina	6.413,8	8º
Bahia	5.600,4	9º
Maranhão	2.249,2	10º
Piauí	1.616,3	11º
Tocantins	1.634,7	12º
Pará	1.114,5	13º
Ceará	1.045,4	14º
Pernambuco	426,9	15º
Norte - Nordeste	15.824,1	
Centro - Sul	118.331,5	
Total safra 08/09	135.130,0	
Previsão 09/10	146.780,0	

Fonte: Conab, 2010.

A produção mundial de arroz na safra 2009 (Tabela 3) aponta um crescimento de 1,8%, que é o maior dos últimos quatro anos. O maior crescimento em colheita ocorreu na China, de 3,4%, com seu consumo também se elevando em 2,1%. Na América do Sul, o acréscimo foi de 2,4% na produção total, enquanto o consumo aumentou ainda mais, em 3,4% (MIRANDA et al.,..., 2009).

Tabela 3 - Evolução da produção mundial de arroz

Safra	Produção (milhões de toneladas)
2000	594,4
2001	595,4
2002	564,2
2003	585,4
2004	597,8
2005	623,2
2006	627,3
2007	647,0
2008	686,0
2009	682,0
2010/prev.	707,0

Fonte: IRRI, 2010

No Brasil, a produção de arroz (Tabela 4) atinge mais de 12 milhões de toneladas e cresce a cada safra (CONAB, 2009). Para a safra 2009/2010 as condições climáticas desfavoráveis retardaram o plantio e a previsão é de uma pequena redução na produção.

Tabela 4 - Evolução da produção brasileira de arroz

Safra	Produção (mil de toneladas)
2002	10.626,1
2003	10.367,1
2004	12.829,4
2005	13.227,3
2006	11.721,7
2007	11.315,9
2008	12.059,9
2009	12.602,5
2010/prev.	11.356,8

Fonte: CONAB, 2010

## 2.2. Secagem de grãos

Nem sempre os tratos de lavoura são bem conduzidos, nem a operação e a regulagem das colhedoras são bem realizadas, e tudo isso faz com que os grãos cheguem para a secagem com elevados índices de impureza, trazendo grandes dificuldades para as operações de secagem e aeração (MILMAN, 2002).

Para evitar a deterioração após a colheita o arroz deve imediatamente ser secado a um nível de atividade de água que permita seu armazenamento seguro, reduzindo a atividade metabólica dos grãos, inibindo o crescimento de microrganismos e a produção de micotoxinas. Isto corresponde a um grau de umidade inferior a 14%, que é considerado adequado para a armazenagem e posterior beneficiamento (WISSET, et al., 2001; ELIAS, 2007).

A qualidade dos grãos tem-se tornado um aspecto muito importante, tanto para comercialização interna como para exportação. Dos processos pós-colheita, a secagem é determinante para a manutenção da qualidade dos grãos, além de ser a fase em que o consumo de energia é mais significativo (DEVILLA, 1999).

Para a maioria dos autores, a secagem é a operação mais importante no beneficiamento de grãos, a qual tem por objetivo reduzir a umidade até níveis que permitam a conservação de sua qualidade (MENEGETTI, 2008).

A secagem artificial é realizada a partir de estruturas específicas construídas para esse fim, onde o ar é forçado a passar pela massa de grãos, possibilitando a secagem de grandes quantidades de grãos em curtos espaços de tempo, independentemente das condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente (AOSANI, 2007).

O objetivo máximo de qualquer operação de pós-colheita é a manutenção das qualidades do produto. Portanto, para o dimensionamento e controle ótimos de

processos e equipamentos é necessário quantificar a deterioração da qualidade do material que está sendo manuseado (PARK, 2007).

A qualidade de um produto depende do uso final do produto que, por sua vez, define qual a característica necessária da qualidade que deverá ser conservada. Assim, é o critério de conservação da qualidade que determina o processo de secagem, (KEEY, 1978) um produto tem que estar capacitado para um processo subsequente ou para ser vendido e as razões para a secagem são tantas quantos são os materiais que podem ser secos (PARK, 1996).

Estudos mostram que a secagem inadequada elevando-se a temperatura, a fim de agilizar o fluxo de secagem, provocando altas taxas horárias de remoção da água compromete a conservação e o valor comercial do arroz (RHIND, 1962; ARORA et al., 1973; KUNZE, 1979; MOSSMANN, 1986).

Os danos devidos ao retardamento da secagem fazem com que esta etapa do processo de beneficiamento seja considerada um ponto crítico. A alta qualidade está diretamente relacionada com o tempo para iniciar, a duração e a forma com que a operação de secagem é realizada (GUIMARÃES, 2005).

Pode-se conceber a secagem como um processo de transferência simultânea de calor e de massa. O ar, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar. Contudo, o ar absorve em forma de vapor o que perdeu sob a forma de calor, caracterizando um processo adiabático ou isoentálpico. Grãos são produtos higroscópicos e, como tais, sofrem variações no seu conteúdo de água, de acordo com as condições do ar (ELIAS, 2007).

O aquecimento do ar de secagem, com a finalidade de diminuir sua umidade relativa, aumentar sua entalpia e sua capacidade evaporativa, deve ser controlado dentro de limites determinados, em virtude dos danos físico-químicos e biológicos que podem causar aos grãos (MILMAN, 2002).

A secagem é um processo complexo de transferência de calor e energia entre um produto biológico e o ar, e freqüentemente não é bem entendido pelo operador do secador, e seu treinamento ocorre normalmente por tentativa e erro. Portanto, não surpreende a operação de secagem nas unidades armazenadoras estar longe do ponto ótimo. Os enganos mais comuns estão em usar temperaturas

excessivamente altas para aumentar a capacidade de secagem, e diminuir o fluxo dos elevadores para não correr o risco de embuchamentos (MENEGETTI, 2008).

Em qualquer que seja o método de secagem utilizado, o tempo decorrido entre a colheita e a secagem, apresenta grande influência sobre a conservabilidade dos grãos e suas qualidades, pois a demora para iniciar a secagem intensifica as perdas (ELIAS, 2007).

Entre as técnicas de secagem, a seca-aeração segundo Sauer, (1992) tem sido considerada um método energeticamente eficiente. Comparado com os métodos convencionais, a seca-aeração reduz de 15 a 30% o consumo de combustível, aumentando acima de 50% a capacidade do secador e proporcionando grãos com menores danos físicos o que reduz as quebras.

### **2.3. Seca-aeração**

O método de seca-aeração de grãos foi criado nos Estados Unidos na década de 60 por George Foster, professor do Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade de Purdue, Indiana. As investigações que levaram ao desenvolvimento deste método surgiram da necessidade de reduzir a deterioração na pós-colheita do milho nos Estados Unidos, devido ao surgimento da colheita mecanizada por automotriz, permitindo a colheita do milho em grandes quantidades e com graus de umidade mais elevados do que o habitual, provocando gargalos no fluxo de secagem (DIOS, 1985; BROOKER, 1992).

A grande quantidade de grãos colhidos num curto intervalo de tempo, com altos graus de umidade, exigia maior desempenho no emprego de secagem artificial e agilidade no fluxo operacional, para reduzir os danos ocasionados pela atividade metabólica dos grãos no aguardo para a secagem. As perdas que as indústrias de processamento de grãos e amido experimentaram deixaram o setor alarmado devido à baixa qualidade dos produtos obtidos do processamento do milho, o que contribuiu para a difusão do método de seca-aeração também para outros países (DIOS, 1985; DEVILLA, 1998).

Não somente pelo fato do método de seca-aeração ter se apresentado eficiente na solução para a melhoria da qualidade do milho na secagem, mas as vantagens do método reveladas por Foster e outros alavancaram sua difusão pelo mundo todo e expandiram sua aplicação a outras espécies de grãos (MCKENZIE, 1980; ZIMMER, 1989).

Thompson e Foster, (1969), Foster (1967) e McKenzie et al., (1967) verificaram que o método de seca-aeração proporcionava um aumento na cadência operacional do secador, melhorava o aproveitamento das instalações e proporcionava redução nos custos com energia na secagem. Embora estas vantagens fossem muito atrativas para o setor, suas limitações restringiram sua consolidação a plantas industriais que comportavam os equipamentos necessários para sua aplicação.

Para aplicar o método de seca-aeração, é necessário consorciar um secador de coluna em fluxo contínuo e silo-secadores. Porém se faz necessário realizar adaptações no manejo do ar de secagem e de arrefecimento no secador de coluna (DIOS, 1985; ELIAS, 2008).

A seca-aeração utiliza um secador de coluna em fluxo contínuo e manejo térmico adaptado, em que a câmara, originalmente destinada ao resfriamento dos grãos, recebe ar aquecido, passando o secador a ter duas, ou mais, câmaras de secagem, onde os grãos saem ainda quentes e parcialmente secados, indo diretamente a um silo-secador, onde permanecem em repouso durante um determinado tempo, antes de iniciar a secagem dos grãos (MILMAM, 2002).

Elias (2007) evidencia que neste método os grãos passam inicialmente por uma secagem preliminar convencional, quando perdem parte da água, sofrendo uma secagem parcial. Esta etapa de secagem convencional é seguida por uma etapa de secagem estacionária, com ar sem aquecimento, após um período de repouso, finalizando a secagem dos grãos. Sua denominação, seca-aeração, não pode ser confundida com aeração secante ou aeração pelo sistema estacionário. Ele ainda esclarece que a secagem escalonada ou seqüencial consiste em retificar ou complementar a secagem parcial dos grãos, depois de passado o pique de safra, o que em geral ocorre entre 30 e 50 dias após a colheita.

O método consiste na etapa inicial em regular o fluxo de secagem contínuo em secador de coluna para umidade de saída dos grãos entre 15 e 16%, substituindo o ar de arrefecimento pelo ar de secagem, enviando os grãos ainda quentes para um silo-secador aguardando de 4 a 12 horas de repouso, na etapa final até completar a secagem com aeração utilizando ar ambiente, (MCKENZIE et al., 1967; LASSERAN, 1978; BROOKER, 1992).

O mecanismo deste método baseia-se no aproveitamento do calor transferido aos grãos na etapa inicial em secador de coluna. Durante o período de repouso,

com energia interna elevada nos grãos ocorre a redistribuição e difusão de água das camadas mais internas dos grãos para as camadas mais externas (SABBAH et al., 1972; NEVES et al., 1983; BROOKER, 1992;).

Os grãos saem do secador de coluna com um gradiente de umidade em seu interior, e o período de repouso possibilita a redistribuição dessa umidade, eliminando, praticamente, esse gradiente (NEVES et al., 1983).

O arrefecimento dos grãos na seca-aeração consiste essencialmente em acontecer, após a secagem, não mais no secador de coluna, mas num silo-secador e, após um determinado tempo de repouso iniciar-se a aeração forçada finalizando a secagem (DEVILLA, 1998).

Mujumdar (2006) afirma que para um teor de umidade em particular a pressão de vapor na superfície se eleva com o incremento da temperatura. Além disso o coeficiente de difusão da umidade no interior do produto aumenta, favorecendo a transferência de massa das camadas internas para as mais externas dos grãos.

Na fase de repouso o grão sofre um processo adiabático, e supõe-se ser ele impermeável à migração na superfície. A diferença significativa de comportamento, durante o processo de repouso, para diferentes condições de secagem, pode ser explicada pela condição de equilíbrio local sobre os grãos. A redistribuição da umidade é predominantemente devida ao fluxo de vapor, das camadas internas para as externas. A redistribuição de umidade no interior do grão ocasionará um aumento do grau de umidade na superfície (NEVES et al., 1983).

Fluxos de líquido e vapor são também importantes durante o período de repouso (FORTES et al., 1981). O grão, quando exposto ao ar de aeração, sofre secagem instantânea (flash drying) e, logo após, reumedecimento. Ao mesmo tempo em que a superfície perde água, a temperatura do grão tende para a do ar de aeração, tendendo ao equilíbrio (NEVES et al., 1983).

Cnossen (2002) relata que quando o princípio de transferência de massa no interior dos grãos para a superfície é plena e associado ao ar de secagem, quando os gradientes de pressão entre o ar e os grãos tendem a se equilibrar ocorre uma evaporação mais eficiente no início do processo.

Morey (1981) destaca na secagem em duas etapas, devido ao o tempo de repouso ou temperagem entre as fases, que as principais vantagens deste tipo de sistema são: melhorar a capacidade de secagem do ar, ampliar a capacidade do sistema de secagem, preservar a qualidade dos grãos na secagem devido ao



relaxamento das tensões que ocorre entre as etapas, e evitar o super aquecimento da camada externa dos grãos devido a maior parte da energia do ar de secagem ser utilizada na dissipação do gradiente de umidade.

Fortes et al., (1981), analisando grãos de milho, concluíram que a distribuição de temperatura e da umidade podem ser usadas para otimizar processos de seca-aeração, não somente no aspecto de qualidade do produto, mas também de conservação de energia.

Neves et al., (1983), observando o processo de redistribuição de umidade no interior do grão, concluiu que o intervalo de tempo de repouso necessário para que a superfície do grão atingisse 0,185 b.s., foi de 10.500, 3.250 e 2.000 s, para temperaturas de secagem de 97, 125 e 150°C, respectivamente.

Pelo comportamento dos valores apresentados por Devilla (1999), estudando a seca-aeração do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e tempos de repouso, é possível constatar que quanto maior a temperatura de secagem em secador de coluna e maior o tempo de repouso, menores são os tempos de secagem em silo-secador para que os grãos atinjam a umidade de equilíbrio higroscópico.

Além disso, para secagem em silo-secador com camadas mais espessas, os grãos quentes aquecem o ar da aeração completando a secagem das camadas superiores, ao mesmo tempo em que ocorre o resfriamento lento dos grãos das camadas mais próximas da entrada do ar. Como a passagem pelas primeiras camadas aquece o ar, o choque térmico é minimizado, diminuindo, em consequência, o trincamento dos grãos, obtendo-se um produto de melhor qualidade (PORTELLA, 2001).

Esse processo de secagem aumenta o rendimento do secador, reduz os danos e mantém a aparência externa dos grãos, visto que o processo combinado de repouso e aeração é um recurso para reduzir quebras e trincamento de grãos (NEVES et al., 1983).

A seca-aeração é um método que praticamente não causa danos mecânicos, nem choques térmicos, e que permite a obtenção de secagem mais rápida e mais uniforme do que a obtida no método estacionário clássico, sem contudo ser mais uniforme do que o intermitente e nem mais rápido do que o contínuo (ELIAS, 2007).

Cabe evidenciar que uma boa limpeza dos grãos é fundamental, na aeração de grãos, a passagem do ar não é obstruída e os espaços intergranulares não ficam

tomados por impurezas, o fluxo de ar não é comprometido e a massa de grãos fica mais uniforme, dificultando a ocorrência de zonas preferenciais de passagem do ar (MILMAM, 2002).

#### **2.4. Qualidade dos grãos na secagem**

A umidade inicial dos grãos tem um efeito significativo no desempenho do secador, não só na operação do secador, no consumo de energia, e na qualidade dos grãos, mas também nos custos operacionais (MENEGETTI, 2008).

Analisando o tempo de espera no aguardo do arroz para a secagem, Elias (1998) verificou que o aumento do tempo de espera para iniciar a secagem acentua as perdas na qualidade de grãos e sementes, afetando diretamente germinação, vigor e qualidade de grãos, que se intensificam com o aumento do tempo de armazenamento.

Para secagem de arroz, deve ser evitada a remoção brusca da água, a qual deve ser harmônica durante todo o processo e não deve ultrapassar dois pontos percentuais por hora, em cada hora. Deve-se ter atenção na regulagem do secador de coluna, para que o fluxo de secagem não ultrapasse dois pontos percentuais horários de remoção de água nos grãos. Na secagem pelo método de seca-aeração de arroz podem ser empregadas temperaturas de 60 a 80°C no ar de entrada nas câmaras de secagem, do secador de coluna, com um período mínimo de repouso de quatro e máximo de doze horas. É importante controlar o processo para que a temperatura da massa de grãos não ultrapasse 40°C, valendo o mesmo para sementes (ELIAS, 2007).

Grãos sensíveis a choques térmicos como os de arroz, quando submetidos à alternância de ar aquecido e ar com temperatura ambiente, têm aumentos de fissuras e trincamentos, intensificando os teores de quebrados e reduzindo sua conservabilidade durante o armazenamento, devido à ocorrência de danos físicos, químicos e bioquímicos (LASSERAN, 1978; MOTTA et al., 1999; ELIAS, 2007).

A superfície do arroz não tem plasticidade ou capacidade elástica para suportar tensões mecânicas muito elevadas, podendo nesses casos sofrer fissuras na superfície, trincamentos ou até mesmo quebra (ruptura do grão). Quanto mais desequilibrados forem os fenômenos de evaporação e de difusão, maiores serão as tensões e os danos (BROOKER et al., 1992; RESENDE et al., 2005).

Abud-Archila et al., (2000), relatam que o rendimento de grãos inteiros não é drasticamente afetado pela temperatura elevada da massa de grãos se a capacidade evaporativa do ar se mantiver baixa.

Fagundes et al., (2005), estudando o rendimento de grãos inteiros do arroz secado pelo método intermitente utilizando diferentes fontes de aquecimento do ar de secagem, observou incrementos significativos nos valores de rendimento para o arroz beneficiado branco polido ao longo do armazenamento. Fagundes também verifica para o arroz beneficiado parboilizado polido médias significativamente maiores no rendimento de grãos inteiros sem defeitos em relação ao beneficiamento branco polido independentemente do tempo de armazenamento e do tratamento de secagem (ROMBALDI, 1988; GUTKOSKI, 1991; OLIVEIRA, 1992; ELIAS & GUTKOSKI, 1992).

Quando industrializado pelo beneficiamento parboilizado polido o arroz, além das mudanças benéficas nos componentes químicos, por sua vez, a parboilização confere incrementos significativos no rendimento de grãos inteiros (PATINDOL, 2008).

Variações na temperatura e na umidade relativa do ar promovem o desenvolvimento de fissuras nos grãos de arroz, sendo o gradiente de umidade mais eficiente no desenvolvimento de fissuras do que o gradiente térmico. A secagem também pode ocasionar fissuras tanto mais severas quanto maiores forem as taxas de umidade retiradas por unidade de tempo (ELIAS, 2007).

Os danos mais freqüentemente observados quando a secagem com ar aquecido não for convenientemente controlado são: redução de vigor e germinação da semente, alteração de cor, formação de crosta periférica, perda de matéria seca, redução da integridade física dos grãos, diminuição da digestibilidade das proteínas, desestruturação do amido e redução da conservabilidade, além do desperdício de tempo e de energia (ELIAS, 1998; PUZZI, 2000).

Zimmer (1989) comprovou que na seca-aeração a qualidade das sementes do arroz expressada pelos testes de primeira contagem, envelhecimento precoce, germinação e rendimento de engenho se mantiveram, independentemente do fluxo de ar, da umidade inicial e da altura da camada das sementes. Estudando o método de seca-aeração em sementes observou que em relação ao método intermitente lento com temperatura de 70°C, apresentou rendimento de engenho médio de 65%, enquanto que na secagem intermitente foi de 55%, ou seja, na seca-aeração obteve

uma percentagem de sementes inteiras 10% superior do que na secagem intermitente.

Cunha (1980) afirma que a seca-aeração proporciona uma melhora sensível no arroz para industrialização posterior, em relação a secagem convencional.

No método de seca-aeração, eliminando o ar de arrefecimento ou o substituindo pelo ar de secagem, os efeitos decorrentes do choque térmico são praticamente eliminados nesta etapa, porém a falta de cuidado na transferência dos grãos ainda quentes, do secador de coluna para o silo-secador, pode ser um fator de risco para a eficiência do método, principalmente em períodos noturno.

Não há um consenso entre os autores sobre a temperatura e do tempo de repouso recomendado para cada secagem de grãos. São variadas as combinações e relativo para cada cultura, porém concordam invariavelmente que o tempo mínimo de repouso para se iniciar o processo de aeração, após os silos receberem os grãos ainda quentes do secador, seja de 4 horas.

Esse tempo de repouso mínimo permite que a água dentro dos grãos seja redistribuída, reduzindo o gradiente de umidade e conseqüentemente aliviando as tensões nas camadas mais externas dos grãos, ocasionadas pela rápida passagem e alta temperatura utilizada no secador de coluna. É importante que se observe que quanto maior for a temperatura de massa alcançada pelos grãos maior deverá ser o tempo de repouso num intervalo de 4 a 16 horas (SAUER, 1992; BROOKER, 1992).

Devilla (1999), estudando a seca-aeração do milho utilizando temperaturas de 45, 55 e 65°C, na etapa convencional, e tempos de repouso de 0, 4, 8, 12 e 16 horas, observou que para a maior temperatura de secagem de 65°C o tempo de repouso de 8 horas resultou em um tempo de aeração em silo-secador de 0,8 horas. Este comportamento apresenta características operacionais, na seca-aeração de grãos, individuais para o binômio temperatura e tempo de repouso.

Zimmer (1989) constatou que a seca-aeração para sementes de arroz possibilita aumentar a capacidade do sistema de secagem e o fluxo da recepção dos grãos, pois há um número maior de cargas no secador por dia. O sistema de seca-aeração pode ser uma alternativa viável também na secagem de grãos de arroz, porque se poderia obter maior rendimento de engenho do que na secagem pelo método intermitente.

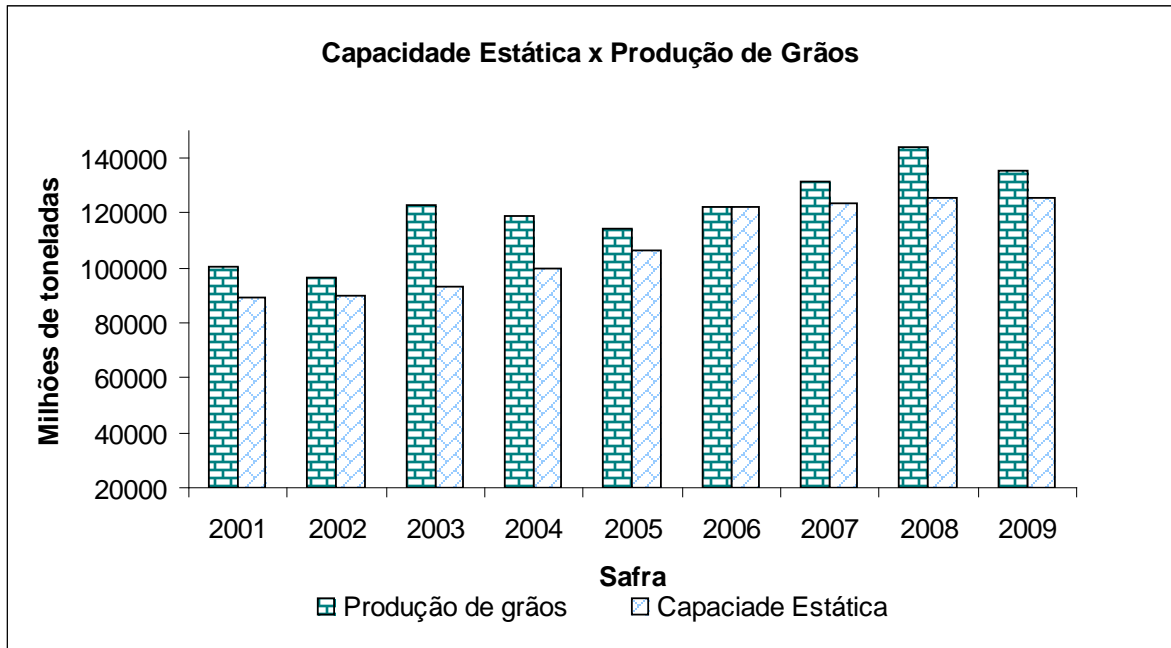
Shei e Chen (1999) concluíram que um tempo de secagem mais curto e um tempo de temperagem mais longo produzem menos danos no grão. Menores

percentuais de grãos inteiros são observados imediatamente após a secagem, independentemente do método utilizado. É necessária uma temperagem entre a secagem e o processamento industrial aliviando nos grãos tensões hídricas e térmicas. Recomenda-se para a temperagem do arroz um tempo de 72 horas para se iniciar seu beneficiamento (LUZ, et al., 1993; BARBOSA et al., 2006; ELIAS, 2007).

## **2.5. Armazenamento de grãos**

A importância que a produção de alimentos vem ganhando no mundo e o papel hoje representado pelos biocombustíveis têm colocado em evidência um segmento até há pouco tempo considerado como co-adjuvante no agronegócio mundial - a armazenagem de grãos. A armazenagem, por sua vez desempenha uma função importante, pois à medida que o país se fortalece como competidor externo no agronegócio, a coleta, a guarda e a distribuição passam a ser estratégicas, além da necessidade de atender ao amplo mercado interno, em períodos de entressafra. Com a concorrência de produtores tecnologicamente mais capacitados, houve um surto generalizado de crescimento da atividade agrícola. Contudo não ocorreu um desenvolvimento harmônico, sobretudo no que diz respeito às funções físicas da armazenagem, da comercialização agrícola e do transporte. Em razão disto, são necessários investimentos sistemáticos na busca da eficiência em infra-estrutura - armazenagem, malha viária e portos para que o Brasil se torne de fato competitivo no cenário mundial (NOGUEIRA JUNIOR, 2008).

Segundo orientação da FAO (2008) o ideal é que a capacidade estática de um país seja 1,2 vezes maior do que a produção de grãos, o que de fato ocorre nas condições americanas que é 1,25. No Brasil, a relação é de apenas 0,87. Para atender a este parâmetro, a capacidade estática de armazenagem nacional deveria ser de 169 milhões de toneladas (NOGUEIRA JUNIOR et al., 2005). A capacidade brasileira ainda está longe disso, conforme demonstrado na Figura 1.



Fonte: adaptado de AZEVEDO et al.,..., 2008  
 Figura 1 - Evolução da capacidade estática no Brasil

Da mesma forma com que a capacidade estática é insuficiente em algumas regiões do Brasil, a deficiência do fluxo na capacidade de pré-armazenamento (pré-limpeza, secagem e limpeza) e movimentação interna de produtos nas unidades armazenadoras, principalmente, naquelas mais antigas, são fatores que, também, prejudicam o rápido escoamento da safra (CONAB, 2006).

As perdas após a colheita decorrem, em geral, da insuficiência estrutural ou inadequação da rede de armazenagem, bem como do baixo nível de qualificação da mão-de-obra que opera os secadores, as câmaras de expurgo, os aeradores e outros equipamentos de recepção, movimentação e conservação dos produtos nas unidades armazenadoras. As necessidades de conhecimentos sobre conservação de grãos ficam evidenciadas quando são analisadas as potencialidades brasileiras de produção agrícola e são verificadas as astronômicas perdas de grande parte do que se produz, em função de deficiências em infra-estrutura, como falta de unidades de secagem e armazenagem e/ou de suas inadequações (ELIAS, 2008).

Estimar perdas na armazenagem é muito difícil e por enquanto, a Conab trabalha com um dado de 1993, que aponta a perda média de 10% da produção na pós-colheita, na qual a armazenagem está inserida. Em produções comerciais, no entanto, em que há monitoramento constante durante os processos e de temperatura e umidade dos grãos, a armazenagem a granel tem, hoje, perdas menores, entre 3% e 6% de grãos (CONAB, 2009).

A Lei 9.973, de 29/05/2000, cria em seu Artigo 2º o Sistema de Certificação de Unidades Armazenadoras. A Certificação leva certamente, entre outros pontos, a uma melhoria dos processos de manuseio, guarda e conservação dos produtos armazenados, nas relações comerciais; na redução das perdas, nos custos operacionais; e na maior facilidade de acesso ao mercador externo. Os objetivos principais da certificação são: fortalecer a relação do setor armazenador com o setor produtivo e a sociedade, aumentando o profissionalismo do setor; reduzir as perdas que ocorrem durante o processo de armazenamento; tornar público, nacional e internacionalmente, de que o processo de armazenamento no Brasil possui um programa que atende aos requisitos legais e de mercado estabelecidos (BESKOW, 2007). A instrução normativa IN03/2010 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento disciplina a aplicação dos critérios de conformidade para a certificação de unidades armazenadoras de grãos e fibras (ELIAS e OLIVEIRA, 2010)

Entretanto, no armazenamento sem uma prévia e eficiente secagem, além do previsível e preocupante desenvolvimento de insetos, ácaros e microrganismos, há estímulo do metabolismo dos próprios grãos, consumindo substâncias de reservas, provocando deteriorações e reduzindo sua qualidade (ELIAS, 2008).

A análise dos pontos críticos de “estrangulamento de fluxo” de uma unidade de secagem e armazenagem aponta, invariavelmente, para a secagem. A escolha do método de secagem e, conseqüentemente, do secador é, desta forma, de relevante importância (GUIMARÃES, 2005).

## **2.6. Qualidade dos grãos no armazenamento**

O objetivo de uma satisfatória gestão de armazenamento de grãos é de manter, durante todo o período de armazenamento, as características que os grãos possuem imediatamente após a colheita e a secagem, agregando ao produto final melhor qualidade. Os principais agentes de perdas na qualidade e quantidade em cereais são fungos, insetos, ácaros e roedores. A respiração pode contribuir, porém ocasiona perdas menores em comparação com as perdas causadas por organismos vivos (BROOKER, 1992).

Cereais e leguminosas possuem baixa capacidade de condutibilidade calorífica, o que significa que as diferenças de temperatura no produto armazenado só são perceptíveis em distâncias curtas e períodos longos. Isto leva a acumulações

de calor na massa de grãos, com todas as conseqüências desvantajosas, como aumento da respiração, infestação com insetos e condensação (GWINNER, 1997).

São menores, mas bastante significativas as perdas por respiração, as quais proporcionam uma gradual deterioração da viabilidade e da qualidade nutritiva dos grãos durante o armazenamento, alterando a utilização final. Nutrientes são perdidos devido à alteração de carboidratos, proteínas, lipídios e vitaminas. Alterações nas propriedades funcionais, estéticas, descoloração e odores anormais podem ocorrer, pela alta atividade respiratória e pelo processo dinâmico que envolve uma sucessão de microrganismos (SAUER, 1992).

As perdas quantitativas, durante o armazenamento, são as mais facilmente observadas e refletem o metabolismo dos grãos, microrganismos associados, pragas e outros animais, resultando em perda de matéria seca. Já as perdas qualitativas estão relacionadas as reações químicas enzimáticas e às não enzimáticas, resultando em perdas do valor nutricional e comercial (ELIAS, 2000).

Os defeitos adquiridos durante os diversos estádios fenológicos de desenvolvimento e crescimento vegetativo, durante a colheita, o transporte e as operações de pré-armazenamento, especialmente a secagem, além de não serem eliminados durante o armazenamento, mostram forte tendência a sofrerem incrementos (PESKE et al., 2003).

O armazenamento não consegue melhorar a qualidade do grão, quando indevidamente colhido e seco haverá redução de qualidade independente de quão bem ele possa ser armazenado. São muitas as reclamações sobre a má qualidade tecnológica dos grãos devidas ao inadequado armazenamento, mas até o início da armazenagem a combinação de fatores negativos na colheita (grãos imaturos, infestações de campo e umidade elevada) e na secagem (stress térmico e hídrico) podem fragilizar sua conservação durante armazenamento (BROOKER, 1992).

A boa conservação dos grãos por períodos prolongados, após colhidos e secos adequadamente, somente será possível se os equipamentos de aeração e termometria forem adequados e as técnicas de operação do complexo armazenador forem aplicadas corretamente (MILMAM, 2002).

## **2.7. Industrialização e beneficiamento do arroz**

O rendimento de grãos inteiros, quebrados e com defeitos são os principais parâmetros considerados na avaliação comercial do arroz para a determinação da



qualidade e do preço do produto. Dentre outros fatores, os métodos e as condições de manejo da secagem do produto afetam diretamente o beneficiamento, interferindo, principalmente, na porcentagem de grãos inteiros obtidos (CANPELLE et al., 1992; AMATO e ELIAS, 2005).

Na industrialização a quebra dos grãos ocorre, principalmente, durante os processos de descascamento e de brunimento. A maioria dos grãos quebrados, durante o beneficiamento, já apresentava fissuras antes do mesmo deste processo (KUNZE e CALDERWOOD, 1980; FAGUNDES et al., 2007).

### **2.7.1. Arroz beneficiado polido**

O grão de arroz, antes de estar na forma adequada para ser oferecido ao consumidor, passa por processos de beneficiamento (STORCK, 2004), conforme mostrado na Figura 2.

O beneficiamento tem início com a separação da casca do resto do grão. A etapa seguinte ao descascamento é o polimento. Neste processo, separa-se o farelo do grão propriamente dito através de uma série de cilindros, provocando a separação do germe e das camadas exteriores por abrasão, obtendo-se assim o arroz beneficiado polido (NITZKE, 2004).

O polimento tem o objetivo de melhorar a aparência e o gosto do arroz, porém apresenta fatores negativos em termos de nutrição, visto que neste processo, são perdidas partes das vitaminas dos minerais e da fibra dietética importantes na nutrição humana (JULIANO e FAO, 1993; MATSUO E HOSHIKAWA, 1993; WHFOODS, 2004).

O arroz polido pode ser enquadrado em cinco tipos, conforme apresentado na Tabela 5, de acordo com as normas oficiais estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1988), através da portaria nº 269. Nessa concepção, os defeitos serão quantificados pelos totais de defeitos graves e gerais, nos termos da Portaria Nº 269/88.

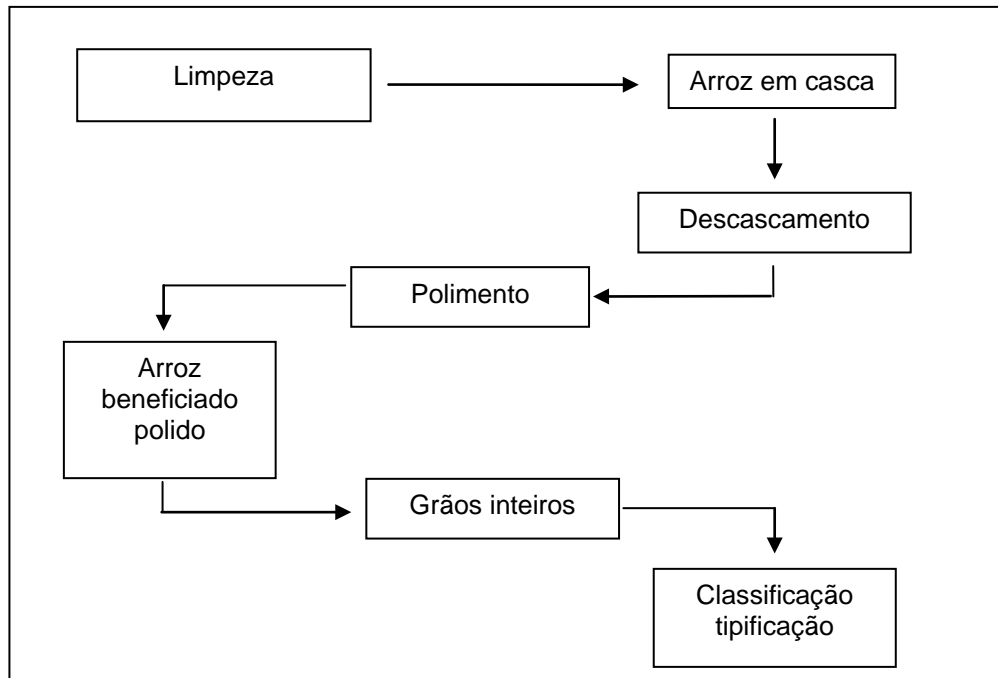


Figura 2 - Fluxograma simplificado do arroz beneficiado polido.

Tabela 5 - Arroz Beneficiado Polido - Limites máximos de tolerância expressos em percentual por peso

Tipo	Matérias Estranhas	Defeitos graves	Defeitos gerais	Total	Quirera
	Impurezas	Mofados e Ardidos	Agregados	Quebrados e Quirera	(Máximo)
1	0,25	0,25	4,00	10,00	0,50
2	0,50	0,50	8,00	20,00	1,00
3	1,00	1,00	14,00	30,00	2,00
4	1,50	2,00	22,00	40,00	3,00
5	2,00	4,00	34,00	50,00	4,00

MAPA: Portaria Nº. 269, de 17 de novembro de 1988. Norma de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Arroz.

Para o arroz que se destina ao beneficiamento direto, sem ser armazenado, recomenda-se, após a secagem e antes do beneficiamento propriamente dito, deixar os grãos em repouso por período que, dependendo da variedade utilizada e das condições de secagem, pode variar de 48 a 72 horas, com a finalidade de permitir o estabelecimento do equilíbrio termo-hídrico e o relaxamento de tensões internas, constituindo o que se determina temperagem ou tempo de têmpera (LUZ et al., 1993).

### 2.7.2. Arroz parboilizado polido

Após o arroz beneficiado polido, obtido desde o primitivo método do pilão, o parboilizado é, sem dúvida alguma, o tratamento mais antigo que se conhece aplicado ao arroz colhido. Sob o ponto de vista nutricional, o arroz parboilizado

reúne praticamente todas as vantagens do integral e do branco polido, sem nenhuma das desvantagens deles (AMATO et al., 2005).

Quando o arroz é industrializado pelo beneficiamento convencional seus defeitos são revelados e produz certa quantidade de grãos quebrados. Quanto menor seja esta quantidade, melhor será a qualidade e mais alto o preço de venda. A parboilização, reestruturando internamente os grãos, soldando fissuras já existentes, e dando à cariopse dureza, rigidez e resistência ao trincamento, às fissuras e ao desgaste no polimento, aumenta o rendimento do arroz beneficiado, tanto quantitativamente como qualitativamente. São conseqüências, na parboilização, das operações hidrotérmicas realizadas antes do beneficiamento (AMATO e ELIAS, 2005).

A parboilização é um processo hidrotérmico que altera a forma do amido de cristalina para amorfa, tornando possível a obtenção de grãos mais firmes, translúcidos, duráveis e resistentes a quebras do que o arroz branco (SUJATHA, et al., 2003; AMATO e ELIAS, 2005).

Na parboilização o arroz, ainda em casca, após passar pela etapa de limpeza, é submetido às operações hidrotérmicas, que são o encharcamento, a autoclavagem e as secagens. Nas indústrias de tecnologias mais deficientes, ao invés da transferência de calor por via úmida das autoclaves, a etapa de gelatinização do amido ocorre pelo calor transferido por via seca através das estufas, que embora englobem menores custos, são tecnicamente menos eficientes (PEREIRA, 2005).

A finalidade do encharcamento é a hidratação adequada do arroz, para permitir a gelatinização do amido (AMATO et al., 2005). Na maioria dos cultivares, este teor se situa na faixa de 30 a 32% de umidade. O amido contribui grandemente para esta absorção, pois, pela sua estrutura granular, é capaz de sorver água até 30% do seu peso, sem aumentar significativamente o volume (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

A operação de encharcamento deve ser rápida, para evitar os processos fermentativos e enzimáticos, que acarretam alterações indesejáveis no sabor, na cor e no odor do produto. O encharcamento promove difusão das substâncias solúveis, tornando-as uniformemente distribuídas no grão, bem como facilita a transmissão de calor na operação subsequente (ELIAS, 1998; AMATO et al., 2002).

A temperatura de gelatinização é medida pela temperatura na qual 90% dos grânulos de amido são gelatinizados ou modificados irreversivelmente em água

quente, podendo variar de 55 a 79°C. Ela está relacionada com o tempo necessário para o cozimento do arroz. Durante a autoclavagem o amido hidratado é aquecido, a temperatura eleva-se alcançando a gelatinização do amido (SPIES et al., 1982; HOSENY, 1991).

Após atingir a umidade adequada, o arroz passa para a etapa de autoclavagem aonde vai se completar a gelatinização iniciada ainda nos tanques de encharcamento. As indústrias que possuem o selo de qualidade da Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado (ABIAP) utilizam exclusivamente autoclave para gelatinização, sendo esse uso uma exigência do Selo de Qualidade conferido pela Associação em Convênio com a Universidade Federal de Pelotas, através do Laboratório de Grãos no Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - UFPel (ABIAP, 2005).

Após as etapas de encharcamento e autoclavagem os grãos passam para os secadores onde são submetidos à secagem, com o objetivo de reduzir a umidade até níveis adequados para o beneficiamento (PEREIRA, 2005).

Após a secagem, deve ser deixado que o arroz parboilizado descanse durante certo tempo antes do beneficiamento em engenho. Este intervalo denomina-se temperagem e é essencial um período de temperagem por não menos de 48 horas, já que o produto necessita perder por completo o calor recebido durante o encharcamento, o tratamento por vapor e a secagem (AMATO et al., 2005).

De acordo com Rombaldi et al., (1998), Silveira (2000) e Elias et al., (2002), o beneficiamento do arroz por parboilização possibilita recuperar em parte danos causados aos grãos durante a secagem, como trincamentos e desestruturação do amido, diminuindo o percentual de grãos quebrados, além de reduzir as perdas de valor nutritivo e aumentar a digestibilidade. Entretanto, intensifica o aparecimento de defeitos gerais e graves. Além disso, durante essas etapas do processo de parboilização a cor dos grãos de arroz tende a ser acentuada, tornando-os amarelo claro ou âmbar.

Depois da aplicação das operações hidrotérmicas, a partir do descascamento as operações de beneficiamento a que os grãos são submetidos são as mesmas do arroz branco, beneficiado pelo processo convencional, conforme é apresentado na Figura 3.

O arroz parboilizado polido pode ser enquadrado em cinco tipos, conforme apresentado na Tabela 5, de acordo com as normas oficiais estabelecidas pelo

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1988), através da portaria nº 269. Nessa concepção, os defeitos serão quantificados pelos totais de defeitos graves, gerais e grãos não gelatinizados, nos termos da Portaria Nº 269/88.

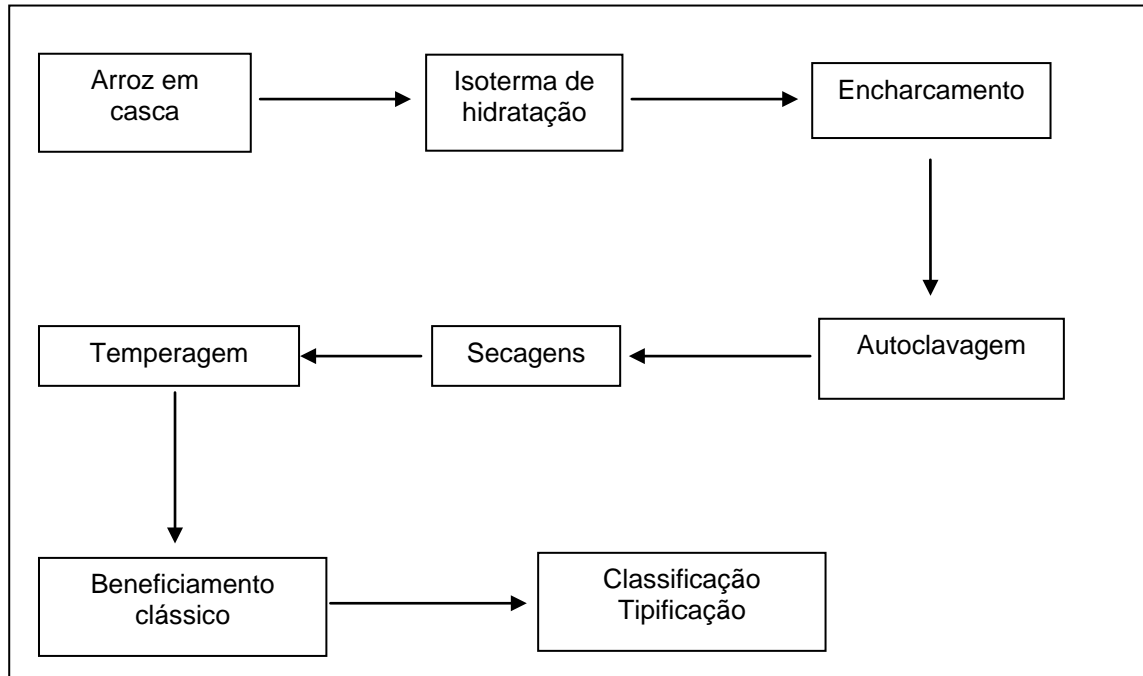


Figura 3 - Fluxograma simplificado do arroz beneficiado parboilizado polido.

Tabela 6 - Arroz Beneficiado Parboilizado Polido - Limites máximos de tolerância expressos em percentual por peso

Tipo	Matérias Estranhas	Defeitos graves	Não gelatinizados	Defeitos gerais	Total	Quirera (Máximo)
	Impurezas	Mofados, ardidos e pretos		Agregados	Quebrados e Quirera	
1	0,05	0,30	30,00	2,50	5,00	0,50
2	0,10	0,60	40,00	5,00	8,00	0,75
3	0,15	0,90	50,00	7,50	11,00	1,00
4	0,20	1,20	60,00	10,00	14,00	1,25
5	0,25	1,50	70,00	12,50	17,00	1,50

MAPA: Portaria Nº. 269, de 17 de novembro de 1988. Norma de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Arroz.

A cor, o odor e as demais características sensoriais do arroz cozido têm especial importância na aceitação do arroz parboilizado (AMATO et al., 2005; WALTER, 2008).

Contudo, descobriu-se que algumas das mudanças que ocorrem durante este processo elevam o valor nutricional do grão quando comparado ao arroz branco, principalmente em termos de conteúdo mineral, amido digestível, amido resistente e fibra dietética (CASIRAGHI et al., 1993; DEXTER, 1998; HENRY e MASSEY, 2001). SINGH et al., (1999) também relatam que o arroz parboilizado contém maior quantidade de proteína e menos gorduras que o arroz branco.

A parboilização do arroz altera a composição química e as propriedades tecnológicas dos grãos, diminuindo os parâmetros viscoamilográficos, assim como suas características sensoriais, intensificando a cor, o sabor, o odor, a solubilidade e a firmeza dos grãos (AMATO e ELIAS, 2005). Os grãos cozidos são menos aderidos, porém mais firmes, não empapam e são resistentes às desintegrações (JULIANO, 1993; SUJATHA et al., 2003).

O processo de parboilização pode ser resumido como uma ação da água e do calor sobre o material do grão nela solúvel, como nutrientes, vitaminas hidrossolúveis e sais minerais. Estando estes micros constituintes concentrados nas camadas externas, a água promove a migração para o interior do grão por difusão ou arrastamento, deixando o interior do grão mais rico sob o ponto de vista nutricional. Uma vez transferidos para o interior do grão, os nutrientes são fixados através da gelatinização do amido, tornando o arroz beneficiado parboilizado de melhor qualidade nutricional que o arroz beneficiado polido (AMATO et al., 2005).

Segundo Amato e Elias (2005), o tempo e a temperatura de encharcamento no processo de parboilização são característicos para cada variedade. Para que o processo de parboilização seja satisfatório é necessário que o amido absorva o máximo possível de água, sem que ocorra deformação nos grãos, e que a temperatura proporcione a gelatinização do amido.

## **2.8. Características de consumo do arroz branco e parboilizado**

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Apenas uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados, sendo seu maior consumo na forma de grão beneficiado (WALTER, 2008).

Segundo a FAO o arroz é o principal alimento para 17 países na Ásia e no Pacífico, nove países do Norte e América do Sul e oito países da África. Nesse cenário, o Brasil participa com 13.140.900 toneladas (2,17% da produção mundial) e destaca-se como único país não-asiático entre os 10 maiores produtores (FAO, 2009).

O arroz oferece 20 por cento do consumo mundial de energia dietética, enquanto trigo fornece 19% e o milho 5%. Além de ser uma rica fonte de energia na

dieta, o arroz é uma boa fonte de tiamina, riboflavina e niacina, também contendo uma quantidade significativa de fibras alimentares (FAO, 2004).

O grão de arroz é formado por endosperma, cariopse e de uma camada protetora, a casca. A casca, composta de duas folhas modificadas, a pálea e a lema, corresponde a cerca de 20% do peso do grão. O endosperma forma a maior parte do grão (89-94% do arroz integral) e consiste de células ricas em grânulos de amido e com alguns corpos protéicos (JULIANO e BECHTEL, 1985).

Através da descascagem separa-se a casca da cariopse, obtendo-se o arroz integral. Este pode ser polido para remoção do farelo (pericarpo, tegumento, camada de aleurona e gérmen), que representa 8,5-14,8% do arroz integral (JULIANO e BECHTEL, 1985), obtendo-se o arroz branco polido. Os grãos também podem ser submetidos à parboilização, podendo ser consumido na forma integral ou polido. O arroz é constituído principalmente por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz integral, branco polido e parboilizado polido

Constituinte	Arroz Integral	Arroz branco polido	Arroz parboilizado polido
Amido total	74,1	87,6	85,1
Proteínas (N x 5,95)	10,5	8,9	9,4
Lipídios	2,5	0,4	0,7
Cinzas	1,1	0,3	0,7
Fibra total	11,8	2,9	4,1
Fibra insolúvel	8,9	1,0	1,6
Fibra solúvel	2,8	1,8	2,5

Fonte: adaptado de STORCK, 2004

No Brasil, aproximadamente um quarto do total de arroz produzido é parboilizado. Porém, o nome incomum e o aspecto diferente levam alguns consumidores a perderem a chance de experimentar esse novo produto e de se beneficiar de suas propriedades nutricionais (ABIAP, 2005).

As técnicas utilizadas no início do processo de parboilização no país eram deficientes em conhecimentos científicos, as quais acarretavam em produtos de baixa qualidade, com a intensificação de algumas características sensoriais indesejadas, como cor, sabor e odor. Esses fatores acabaram limitando a aceitação do arroz parboilizado junto ao consumidor (LUZ, 1991). Atualmente essa técnica vem sendo desenvolvida e melhorada através da pesquisa e das atividades das próprias indústrias, mas ainda faltam estudos mais aprofundados no melhoramento

das técnicas para que o processo tenha um alto índice de eficiência, resultando com isso um produto final com boa aceitação pelo consumidor (PEREIRA, 2005).

Apesar de ser considerado um alimento importante na alimentação humana, o arroz ainda é pouco reconhecido pelas suas características funcionais, ou seja, que também tem a capacidade de prevenir doenças, auxiliar no tratamento de muitas delas e até de cura em função dos constituintes que possui (HELBIG et al., 2007).

A preferência por arroz branco ou parboilizado é uma questão pessoal e está relacionada com a tradição de consumo. Pessoas habituadas a consumir arroz parboilizado o consideram de melhor consistência ao ser mastigado e mais saudável, considerando o arroz branco macio demais e sem gosto. Os consumidores de arroz branco consideram o parboilizado muito escuro, com odor forte, com grãos duros e muito soltos, difíceis de serem misturados a outros alimentos (LUZ, 1993; GULARTE, 2002; HEINEMANN et al., 2006).

O consumo de arroz branco é superior a 70% no país, enquanto o parboilizado polido responde por cerca de 23%. O consumo de arroz parboilizado tem crescido substancialmente nos últimos anos, passando de 4% para aproximadamente 22% em duas décadas (ABIAP, 2009). O arroz parboilizado em relação ao branco polido apresenta vantagens nutricionais de suma importância, como o aumento de minerais, vitaminas e de substâncias com ação semelhante a das fibras, denominadas de amido resistente, que atua na manutenção da glicemia (HELBIG, 2007).

O consumo alimentar brasileiro de arroz é de aproximadamente 52,5 quilogramas por habitante por ano ( $\text{kg.hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ). Apesar de ser inferior ao consumo mundial médio por habitante ( $84,8 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), este valor é considerado alto se comparado com o consumo per capita dos países desenvolvidos ( $16,7 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) (SILVESTRE, 2007).

Tem aumentado tanto a produção do arroz beneficiado como seu consumo no Brasil (EPAGRI, 2009), conforme é mostrado na Tabela 8.



Tabela 8 - Produção e consumo mundial de arroz beneficiado (milhões de toneladas)

Safra	Produção Beneficiado	Consumo Beneficiado
1984/85	319,1	314,2
1989/00	344,5	337,9
1994/95	360,6	362,1
1999/00	408,4	398,4
2000/01	397,8	396,9
2001/02	398,6	411,1
2002/03	377,8	407,0
2003/04	391,5	415,7
2004/05	400,5	407,7
2005/06	417,5	415,4
2006/07	420,6	421,4
2007/08	432,1	428,5
2008/09	439,7	434,1

Fonte: CEPA/EPAGRI, 2009

O arroz sozinho não pode fornecer todos os nutrientes necessários para uma alimentação adequada e muitos pratos tradicionais em todo o mundo combinam esse cereal com inúmeros ingredientes para alcançar um melhor equilíbrio nutricional (FAO, 2004). Devido à importância do arroz na dieta de grande parte da população, sua qualidade nutricional afeta diretamente a saúde humana (WALTER, 2008).

A composição dos grãos está sujeita a diferenças varietais, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento (ZHOU et al., 2002), o que resulta em grãos com características nutricionais diferenciadas.

Todas essas características benéficas do arroz podem ser comprometidas pelas inadequações técnicas e operacionais que vão desde a produção até o consumo, passando, principalmente por secagem, armazenamento e industrialização (MENEGHETTI, 2008).

A importância das operações de secagem e de armazenamento da qualidade do arroz, e a escassez de alternativas para melhorar o desempenho das operações de pós-colheita motivaram a realização do presente trabalho, na expectativa de contribuir com melhorias tecnológicas e operacionais nas etapas de pós-colheita e industrialização do arroz.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi dividido em dois estudos. No Estudo I foi avaliada a dinâmica de secagem do arroz na etapa final de secagem pelo método de seca-aração com uso de silo-secador de fluxo axial de ar insuflado na condição do ambiente, após dois tempos de repouso, em seqüência à etapa inicial na secagem parcial dos grãos em secador de coluna, que utilizou três manejos térmicos.

O Estudo II foi destinado a avaliação de efeitos, imediatos e latentes dos manejos térmicos e operacionais, da seca-aração e do tempo de armazenamento sobre os parâmetros industriais, tecnológicos e de conservabilidade do arroz submetido aos processos industriais de beneficiamento de arroz branco e parboilizado.

Os estudos foram executados nas instalações do Laboratório de Pós Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LABGRÃOS) do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (DCTA – FAEM – UFPEL).

#### **3.1. Material**

##### **3.1.1. Material experimental**

Foram utilizados grãos de arroz da classe longo fino produzidos em sistema irrigado na região sul do Rio Grande do Sul. A colheita dos grãos, com umidade próxima a 20%, foi realizada por colhedora automotriz, seguida de pré-limpeza, em máquina industrial de ar e peneiras planas, sendo então encaminhado ao LABGRÃOS, onde foram realizadas a secagem e as demais operações.

### 3.1.2. Secadores

A seca-aeração foi realizada em duas etapas. A primeira etapa inicial em secador de coluna protótipo modelo REAL - LABGRÃOS e a segunda etapa final em silo-secador, modelo protótipo VITÓRIA – LABGRÃOS, ambos em escala piloto.

### 3.1.3. Secador de coluna

O protótipo de secador de coluna possui quadro de comando automatizado e sistema pneumático em bandejas para descarga. É fabricado em chapas galvanizadas, possui elevadores de carga e descarga, com possibilidade de recirculação, e moega, todos estruturados em base única e elevada. A coluna de secagem é constituída por defletores metálicos galvanizados, em formato “V” invertido, de alta resistência, possibilitando o trabalho com todas as espécies de grãos.

O protótipo de secador de coluna, fabricado com a finalidade de reproduzir em pequena escala as condições operacionais de grande porte, possui em sua coluna de secagem duas câmaras, a superior, maior, destinada à passagem do ar de secagem e a inferior, menor, para a passagem do ar de arrefecimento. Para este estudo, ao invés do ar de arrefecimento foi utilizado ar aquecido também na câmara inferior, de acordo com o manejo térmico programado.

O protótipo de secador de coluna possui as seguintes características técnicas: volume da câmara superior:  $0,48 \text{ m}^3$ , volume da câmara inferior:  $0,24 \text{ m}^3$ , relação entre câmaras: 3:1, vazão do ventilador:  $2.200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , vazão específica:  $64 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$  de grãos, potência Instalada: 33,5 kw e fluxo de secagem:  $0,37 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  para grãos com  $560 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$  de 18 para 13% de umidade.



Figura 4 - Secador de coluna modelo REAL - LABGRÃOS

#### **3.1.4. Silo-Secador**

O protótipo de silo-secador modelo VITÓRIA – LABGRÃOS escala piloto é estruturado em base metálica e cilindro em chapas corrugadas de alta resistência. Tem dimensões de 0,95 metros de altura e 0,85 metros de diâmetro. É constituído de fundo falso, em chapa perfurada, e opera com um ventilador centrífugo acionado por um motor monofásico com transmissão por polia e correia.

Para permitir o acompanhamento da secagem em silo-secador em três repetições foi acoplada à chapa perfurada do silo uma plataforma metálica com três cilindros verticais, eqüidistantes, com 1,00 metros de altura e 0,30 metros de

diâmetro. A base da plataforma instalada possibilita a vedação completa na junção com o piso perfurado do silo, direcionando todo o ar de secagem para a massa de grãos no interior dos tubos. Cada tubo equivale a um silo-secador.

O protótipo de silo-secador possui as seguintes características: fundo em chapa plana perfurada, ventilador centrífugo com vazão de  $170 \text{ m}^3$  de  $\text{ar.h}^{-3}$ , vazão específica de secagem:  $19,95 \text{ m}^3$  de  $\text{ar. min}^{-1}.\text{m}^{-3}$  de grão, espessura máxima da camada de grãos: 0,70 metros, diâmetro da seção transversal do silo: 0,92 metros, altura da parede lateral do silo (pé direito): 0,70 metros, potência do motor do ventilador: 0,33 cv.



Figura 5 - Silo-secadores modelo VITÓRIA – LABGRÃOS

## 3.2. Métodos

### 3.2.1. Manejo operacional da secagem

Após a colheita e antes da secagem o arroz foi pré-limpo em máquina de ar e peneiras de escala industrial, sendo os grãos transportados para o LABGRÃOS com umidade próxima a 20%, permanecendo em câmara a  $18^{\circ}\text{C}$  até o começo de cada secagem.

Na etapa inicial em secador de coluna, os fluxos de carga e descarga foram programados para que os grãos, ao entrarem no secador, percorressem a câmara de secagem em duas horas. Os parâmetros considerados para estabelecer o tempo

mínimo de permanência dos grãos na câmara de secagem foram a temperatura da massa e a taxa horária de remoção da água. Pré-estabelecida uma umidade de saída dos grãos do secador numa faixa entre 16 a 17%, e a necessidade de remover entre três e quatro pontos percentuais de umidade nos grãos, o tempo de duas horas no percurso dos grãos desde a entrada no secador até sua descarga analiticamente reflete a uma remoção de não mais de dois pontos percentuais por hora, seguindo recomendação técnica da pesquisa oficial brasileira (SOSBAI, 2007).

A rápida dinâmica operacional da secagem na etapa inicial da seca-aeração em secador de coluna dispensa a coleta de amostras para mensurar a taxa horária de remoção da água em intervalos de tempo entre a carga e a descarga dos grãos. Entretanto esta prática é comum em escala industrial e permite ao operador identificar a necessidade de ajustes no manejo operacional para as secagens seguintes.

Nestas condições, as providências operacionais visaram minimizar a ocorrência de danos térmicos, não ultrapassando a temperatura de 40°C nos grãos, e a quebra por tensões hídricas removendo não mais do que quatro pontos percentuais de água em duas horas de operação.

Assim que os grãos alcançaram o grau de umidade pré-estabelecido, foram retirados do secador, ainda quentes, e imediatamente transportados aos silos-secador onde os cilindros foram carregados simultaneamente até a carga máxima. Logo cumpridos os tempos de repouso estipulados, o sistema de aeração com ar em condição ambiente, foi acionado iniciando a etapa final da secagem, e permaneceu até a umidade dos grãos alcançarem aproximadamente 13%.

Na Figura 6 é apresentado o fluxograma operacional elaborado para o método da seca-aeração do arroz.

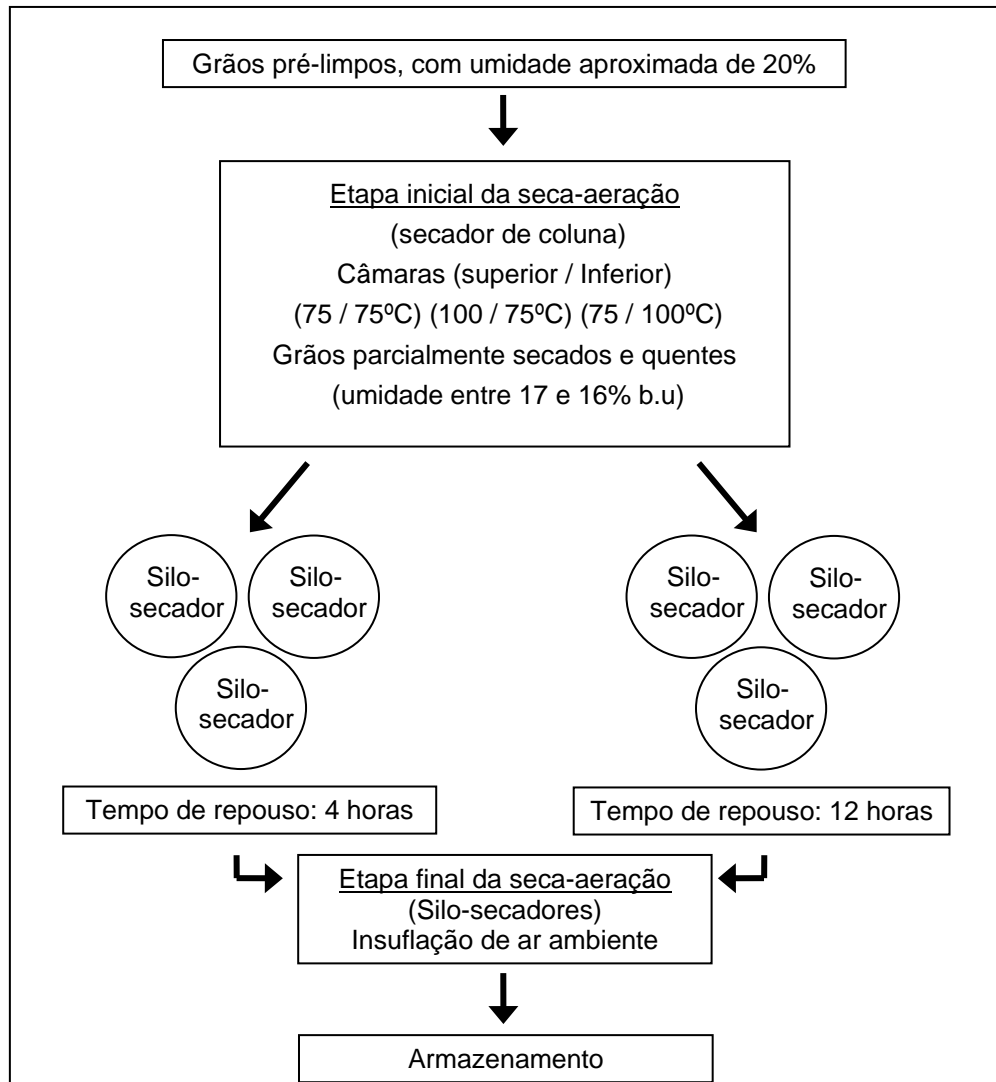


Figura 6 - Fluxograma operacional da seca-aeração do arroz.

### 3.2.2. Armazenamento das amostras

Foram utilizados sacos de polipropileno com capacidade aproximada de 50kg, armazenados pelo sistema convencional sobre estrados de madeira. O armazenamento foi realizado em ambiente com controle de temperatura e umidade relativa.

O armazenamento ocorreu em câmara de armazenagem monitorada havendo controle constante de resfriamento a temperatura de  $16\pm 1^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $75\pm 5\%$ . No primeiro e no décimo segundo mês as amostras coletadas foram divididas em duas partes uma para beneficiamento branco polido e outra parte para o beneficiamento parboilizado.

### 3.2.3. Beneficiamento Industrial

Antes do beneficiamento, todas as amostras foram submetidas às operações de limpeza e seleção em protótipos de máquinas de ar e peneiras planas e cilíndricas, nas quais foram retiradas as impurezas e os materiais estranhos.

As amostras limpas foram submetidas aos processos de beneficiamento convencional para arroz branco e parboilizado, no LABGRÃOS, usando metodologia desenvolvida no próprio laboratório (ELIAS, 1998). Foi utilizado para o beneficiamento das amostras um engenho de provas Zaccaria modelo DTAZ1.

Foram realizadas as operações de descascamento, polimento, separação de quebrados e separação de defeitos, conforme as Normas de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Arroz (BRASIL, 1988), tanto para o arroz branco como para o parboilizado.

Após aplicar a seca-aeração as amostras foram parboilizadas segundo método proposto por Elias (1998), com adaptações. Conforme a metodologia adotada, foram determinadas a temperatura e o tempo de encharcamento através da obtenção das isotermas de hidratação, utilizando tanques-piloto com água a  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $65\pm 2^{\circ}\text{C}$  e  $70\pm 2^{\circ}\text{C}$ , durante seis horas, com coleta de amostras a cada 30 minutos para a elaboração das curvas isotérmicas de hidratação.

Após estabelecido o tempo e a temperatura de encharcamento, através da isoterma de equilíbrio, em banho maria foram processadas amostras com 1 kg de arroz acondicionadas em recipientes de alumínio, com adição de água numa relação mássica real grão/água de 1:1,5 com temperatura  $2^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura da água do banho.

Após o término da etapa de encharcamento, foi realizada a autoclavagem, em autoclave horizontal modelo FABBE –  $104^{\circ}\text{C}$ , a  $110\pm 1^{\circ}\text{C}$  com pressão entre 0,4 e  $0,5\text{kgf.cm}^{-2}$ , equivalente a  $40\pm 5\text{kpa}$ , por 10 minutos.

A secagem das amostras parboilizadas foram realizadas em protótipos de silos-secador modelo VITÓRIA - LABGRÃOS, dotados de resistências elétricas para aquecimento do ar de secagem. A secagem foi executada em duas etapas. Na primeira etapa a temperatura do ar foi ajustada para  $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ , até a umidade dos grãos atingirem 18%. Na segunda etapa a temperatura do ar foi ajustada para  $30\pm 5^{\circ}\text{C}$ , permanecendo nestas condições até os grãos atingirem 13%, finalizando a secagem do arroz parboilizado.



Para o arroz beneficiado branco polido foram utilizados, segundo testes preliminares, para a faixa entre 8 e 12% de farelo os seguintes parâmetros:

Tempo de polimento: 1 minuto e 30 segundos

Trieur: diâmetro dos alvéolos de 4,5 milímetros

Tempo de Trieur: 1 minuto

Para o arroz parboilizado polido foram utilizados, segundo testes preliminares, para a faixa entre 3 e 7% de farelo, os seguintes parâmetros:

Tempo de polimento: 1 minuto e 10 segundos

Trieur: Diâmetro dos alvéolos de 4,5 milímetros

Tempo de Trieur: 1 minuto

Na Figura 7 é apresentado o fluxograma operacional de armazenamento e beneficiamento industrial dos grãos, pelos processos convencional de arroz branco e de parboilização.

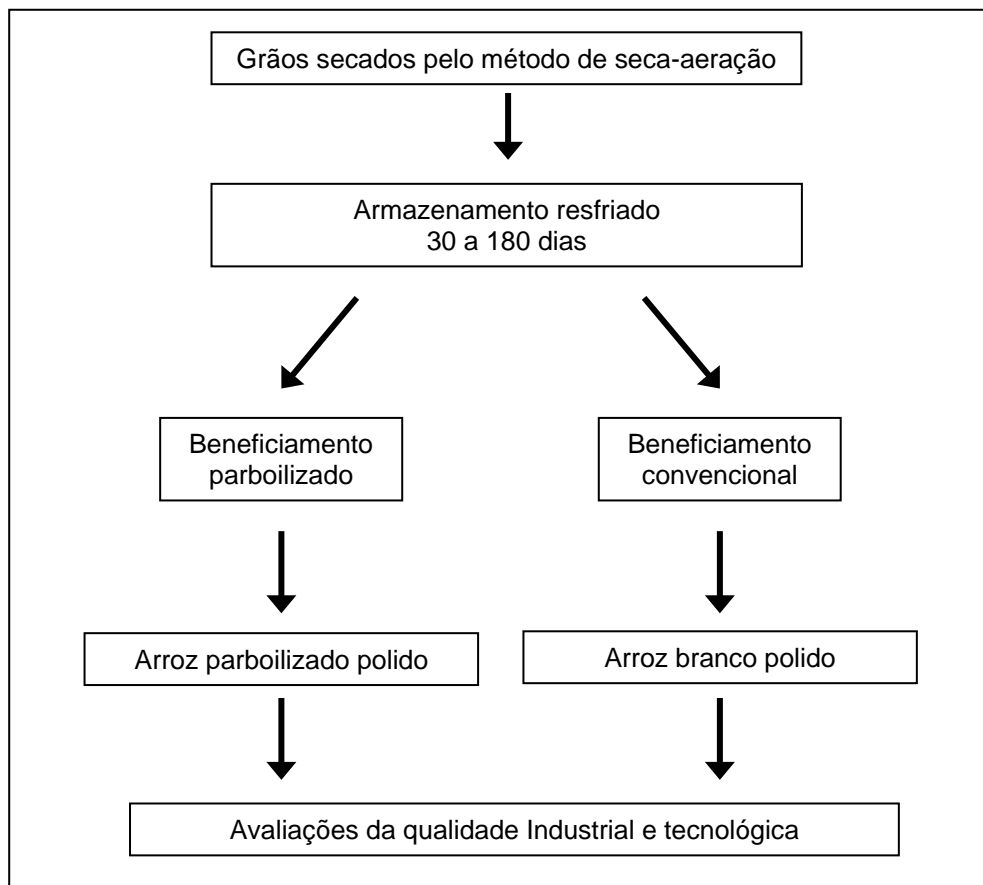


Figura 7 - Fluxograma operacional de armazenamento e beneficiamento do arroz.

### **3.2.4. Avaliações dos parâmetros de qualidade industrial e tecnológica**

#### **3.2.5. Umidade**

O grau de umidade foi determinado, com arroz ainda em casca, obtendo-se a média de três repetições, através do método de estufa a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ , por 24 horas, com circulação natural de ar, de acordo com o método oficial de análises de sementes estabelecido pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992).

#### **3.2.6. Parâmetros de perfil branquimétricos**

Foram obtidos, pela média de seis repetições, os índices branquimétricos de brancura, transparência e grau de polimento, utilizando equipamento foto-eletrônico branquímetro marca Zaccaria.

#### **3.2.7. Peso de mil grãos**

O peso de mil grãos foi obtido a partir da contagem de mil grãos, em quatro repetições, utilizando pessoal treinado e mesas de classificação de grãos, e com pesagem em balança eletrônica digital com precisão de 0,01 g.

#### **3.2.8. Parâmetros de Cocção**

A cocção das amostras foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Martinez e Cuevas (1989), com adaptações por Gularte (2002). Foram avaliados os parâmetros de tempo de cocção, rendimento gravimétrico e rendimento volumétrico.

#### **3.2.9. Parâmetros de perfil textuométrico**

Utilizando o equipamento texturômetro modelo Texture Analyser TA.XTplus, Stable Micro Systems, foram obtidos os parâmetros de perfil textuométrico do arroz cozido. Por ensaios preliminares foram adaptadas as metodologias propostas por Champagne (1998) e Lyon (2000).

As amostras submetidas à determinação do perfil de textuométrico foram selecionadas pelo critério de melhor desempenho no rendimento volumétrico, no comportamento de cocção, independentemente da temperatura de cocção e da proporção de água a que foram submetidas.

O procedimento de avaliação dos parâmetros de cocção e perfil texturométrico, ocorreram subseqüentemente. Depois de finalizada a metodologia aplicada na cocção, foram selecionadas para a análise de textura as amostras que demonstraram melhor desempenho no rendimento volumétrico de cocção.

Permitindo operar com o texturômetro já programado e calibrado, em testes preliminares, aguardando a estabilização da temperatura das amostras, mantidas nos recipientes de cocção.

Utilizando Placa de Petri de vidro, de formato cilíndrico, com 50 milímetros de diâmetro e 10 milímetros de altura, 10 gramas de amostras foram cuidadosamente acondicionadas na placa de petri. Foi utilizada para a transferência das amostras, do recipiente de cocção para a placa, foi utilizada instrumentação flexível e não contundente, no intuito de evitar deformações nos grãos.

Em movimentos leves e horizontais a amostra em placa era nivelada permitindo que o probe utilizado na compressão das amostras, em formato cilíndrico, com 45 milímetros de diâmetro, tivesse a maior área de contato possível com a amostra, minimizando diferenças de alturas no contato com os grãos, quando arranjados de forma aleatória.

O texturômetro foi configurado para comprimir a 60% do tamanho original da amostra de 10 gramas, com velocidade de teste de  $1\text{mm.s}^{-1}$  e tempo entre compressões de 3 segundos.

As propriedades avaliadas no perfil texturométrico, e suas unidades de medida, podem ser definidas analogamente em relação a uma descrição sensorial como: força (g) – força máxima requerida para comprimir a amostra numa dada percentagem pré-estabelecida; mastigabilidade (N.mm) – número de mastigações necessárias para tornar o alimento com consistência adequada para ser engolido; gomosidade (N) – energia requerida para desintegrar um alimento semi-sólido para um estado pronto de ser engolido, sem mastigar; elasticidade (mm) – grau como o alimento retoma a sua forma após uma compressão parcial da língua contra os dentes ou céu da boca; coesividade (adimensional) – grau de deformação da amostra durante a ruptura pelos dentes; adesividade (J) – força necessária para remover o alimento que adere na língua, dentes e mucosas; dureza (N) – corresponde à força para morder e comprimir o alimento na boca; firmeza (g) – corresponde à carga necessária para desestabilizar as fases contínua e descontínua dos componentes estruturais do alimento (OLIVEIRA, 2007).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Estudo I

O estudo I aborda os aspectos dinâmicos, operacionais e tecnológicos da secagem do arroz pelo método de seca-aeração, em que a parte inicial, realizada em secador de coluna constou de três manejos térmicos do ar, havendo intervalos ou tempos de repouso de 4 e 12 horas até iniciar a etapa final da secagem, em silo-secador.

#### 4.1.1. Etapa inicial da seca-aeração de arroz (em secador de coluna)

São apresentadas na Tabela 9 as médias das temperaturas do ar de secagem, em secador de coluna, utilizando três manejos térmicos do ar na etapa inicial da seca-aeração do arroz.

Tabela 9 - Temperaturas do ar de secagem na etapa inicial da secagem, em secador de coluna, na seca-aeração do arroz

Secador de coluna manejo térmico	Temperaturas do ar de secagem ( $\pm 5$ ) °C			
	Câmara superior		Câmara inferior	
	Programado	Registrado	Programado	Registrado
75 / 75°C	75A	b75A	75A	b75A
100 / 75°C	100A	a99A	75A	b76A
75 / 100°C	75A	b74A	100A	a100A

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha, para a mesma câmara, representam diferenças a 5% de significância entre os respectivos valores programados e as médias registradas. Letras minúscula diferentes, na mesma coluna, para a mesma câmara, significam diferenças a 5% de significância entre as médias registradas, pelo teste de Tukey.

Pelos valores das temperaturas do ar de secagem, na etapa inicial, em secador de coluna, apresentados na Tabela 9, é possível observar que as temperaturas obtidas são muito semelhantes às temperaturas programadas. A regulagem utilizada no secador de coluna permitiu, em ambas as câmaras de secagem, obter temperaturas do ar satisfatórias para todos os manejos térmicos programados. O comportamento é similar aos relatados na literatura especializada (DIOS, 1996; DEVILLA, 1998; MILMAN, 2000; ELIAS, 2008).

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentadas, respectivamente, as temperaturas e as umidades de massa dos grãos na entrada e na saída do secador de coluna, utilizando três manejos térmicos, na etapa inicial da seca-aeração.

Tabela 10 - Temperatura dos grãos no secador de coluna, na etapa inicial da seca-aeração do arroz

Secador de coluna manejo térmico	Temperatura de massa dos grãos (°C)	
	Entrada	Saída
75 / 75°C	a18,2B	b28A
100 / 75°C	a17,8B	ab31A
75 / 100°C	a17,6B	a34A

Médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Pela análise dos valores apresentados na Tabela 10 é possível verificar que houve transferência de calor para os grãos em todos os tratamentos, ficando as temperaturas nos limites recomendados pela pesquisa oficial (SOSBAI, 2008), significando que o manejo térmico aplicado na etapa inicial da secagem em secador de coluna foi eficiente.

Esse comportamento (Tabela 10) é similar aos relatados na literatura especializada (BROOKER, 1992), demonstrando que parte do calor é transferido aos grãos na etapa inicial da secagem na seca-aeração. Durante o período de repouso ou temperagem ocorre a difusão de água do interior para a periferia dos grãos, devido ao calor transferido aos grãos, pelo ar de secagem na etapa convencional, o que favorece a posterior evaporação da água migrada para a superfície dos grãos, que ocorre após o tempo de repouso, durante a etapa final no silo-secador.

Tabela 11 - Umidade dos grãos na entrada e na saída do secador de coluna, na etapa inicial da seca-aeração do arroz, para cada tempo de repouso programado.

Secador de coluna manejo térmico	Grau de umidade (%)		
	Entrada no secador de coluna	Saída do secador de coluna	
		4 horas de repouso	12 horas de repouso
75 / 75°C	a20,2A	a16,1B	a15,9B
100 / 75°C	a20,4A	a16,8B	a16,2B
75 / 100°C	a20,1A	a16,5B	a16,3B

Médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

A análise dos valores apresentados na Tabela 11 permite verificar que não há diferenças significativas no grau de umidade atingido pelos grãos nos três manejos térmicos ao final dos tempos de repouso programados após a etapa inicial da secagem em secador de coluna, na seca-aeração.

Para a etapa inicial da secagem, em secador de coluna, até a umidade dos grãos entre 16 e 17%, o manejo térmico do ar nas câmaras exerceu influências diferentes. No manejo com temperatura de 75°C em ambas as câmaras (Tabela 10),

a temperatura dos grãos na saída do secador de coluna aproximou-se de 28°C, enquanto nos manejos que utilizaram temperaturas de 100 / 75°C e 75 / 100°C, nas câmaras superior e inferior, as temperaturas atingiram 31 e 33°C, respectivamente.

É possível observar na Tabela 11 que todos os valores de umidade dos grãos ao término da etapa inicial na seca-aeração estão dentro da faixa de umidade recomendada pela literatura especializada (MCKENZIE, 1967; BROOKER, 1992; DEVILLA, 1998; ELIAS, 2008), para a saída dos grãos do secador de coluna para a etapa de repouso no silo-secador antes de serem ligados os ventiladores para a etapa final.

#### 4.1.2. Etapa final da seca-aeração de arroz (em silo-secador)

São apresentados na Tabela 12 os valores de umidade dos grãos na entrada e na saída do silo-secador na etapa final da secagem, depois de cumprido os tempos de repouso programados, na seca-aeração do arroz.

Tabela 12 - Umidade de entrada e de saída dos grãos no silo-secador, após dois tempos de repouso, na etapa final da secagem na seca-aeração do arroz

Secador de coluna manejo térmico	Grau de umidade (%)			
	4 horas de repouso		12 horas de repouso	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
75 / 75°C	a16,1A	a12,7B	a15,9A	a12,8B
100 / 75°C	a16,8A	a12,9B	a16,2A	a12,8B
75 / 100°C	a16,5A	a12,7B	a16,3A	a12,7B

Médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Analisando-se os valores apresentados na Tabela 12, após a etapa final da secagem em silo-secador e depois de cumpridos os tempos de repouso, é possível verificar que não há diferenças significativas entre os teores de água dos grãos, independentemente dos manejos térmicos operacionais aplicados na etapa inicial e dos tempos de repouso programados. Esse fato permite afirmar que as condições psicrométricas do ar ambiente utilizado no silo-secador foram semelhantes durante a aeração dos grãos, na etapa final da seca-aeração do arroz, e que a umidade de equilíbrio no local do experimento se situa entre 12,7 e 12,9%, para os tempos de repouso programados.

Os valores apresentadas na Tabela 12 mostram que os percentuais de umidade dos grãos estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação em vigor para a comercialização (BRASIL, 2009) e das recomendações para conservação do arroz, de acordo com a literatura especializada (ELIAS, 2007)

São apresentados na Tabela 13 os tempos de aeração e as quantidades de água removida durante a etapa final da secagem em silo-secador, depois de cumprido os tempos de repouso programados.

Tabela 13 - Tempo de aeração e quantidade de água removida durante a etapa final da secagem em silo-secador, após dois tempos de repouso, na seca-aeração do arroz.

Secador de coluna manejo térmico	Tempo de aeração (h)		Água removida (%)	
	4 horas de repouso	12 horas de repouso	4 horas de repouso	12 horas de repouso
75 / 75°C	a42A	a28B	a3,4A	a3,1A
100 / 75°C	a41A	b25B	a3,9A	a3,4A
75 / 100°C	a40A	b23B	a3,8A	a3,5A

Para o mesmo parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Pelos valores apresentados na Tabela 13 é possível perceber que há diferenças significativas nos tempos de aeração, para a etapa final em silo-secador, até ser atingida a umidade de equilíbrio dos grãos, quando permaneceram durante 4 e 12 horas em repouso. As quantidades totais de água removida, no entanto, não se alteraram com o tempo de repouso.

Os maiores tempos de aeração necessários para a etapa final da secagem em silo-secador ocorreram no menor tempo de repouso (4 horas), no qual não há diferença entre os manejos térmicos do ar aplicados na etapa inicial realizada em secador de coluna. Quando o tempo de repouso foi ampliado para 12 horas, diminuíram as horas de aeração necessárias para completar a secagem, havendo reduções significativas no tempo de aeração nos manejos que utilizaram maiores temperaturas na etapa inicial realizada em secador de coluna.

Um tempo de repouso muito curto para iniciar a aeração em silo-secador com ar ambiente pode comprometer o mecanismo de difusão, reduzindo a intensidade de disponibilidade da água na superfície dos grãos e conseqüentemente minimizando a eficiência do ar de secagem, na remoção da água dos grãos.

Os comportamentos apresentados na Tabela 13, para o tempo de aeração necessário para a secagem dos grãos, na etapa final da secagem em silo-secador, até a umidade de equilíbrio dos grãos, estão de acordo com a literatura especializada (NEVES, 1983; DEVILLA, 1998 e 1999).

#### 4.1.3. Dinâmica da secagem na etapa final, em silo-secador com insuflação de ar ambiente, na seca-aeração de arroz

Nas Figuras 8, 9 e 10 respectivamente, são apresentadas as dinâmicas de secagem dos grãos, na etapa final da seca-aeração do arroz em silo-secador na aeração com ar ambiente, após a etapa inicial em secador de coluna utilizando manejos térmicos operacionais de  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ , respectivamente nas câmaras superior e inferior, com 4 horas de repouso entre as etapas.

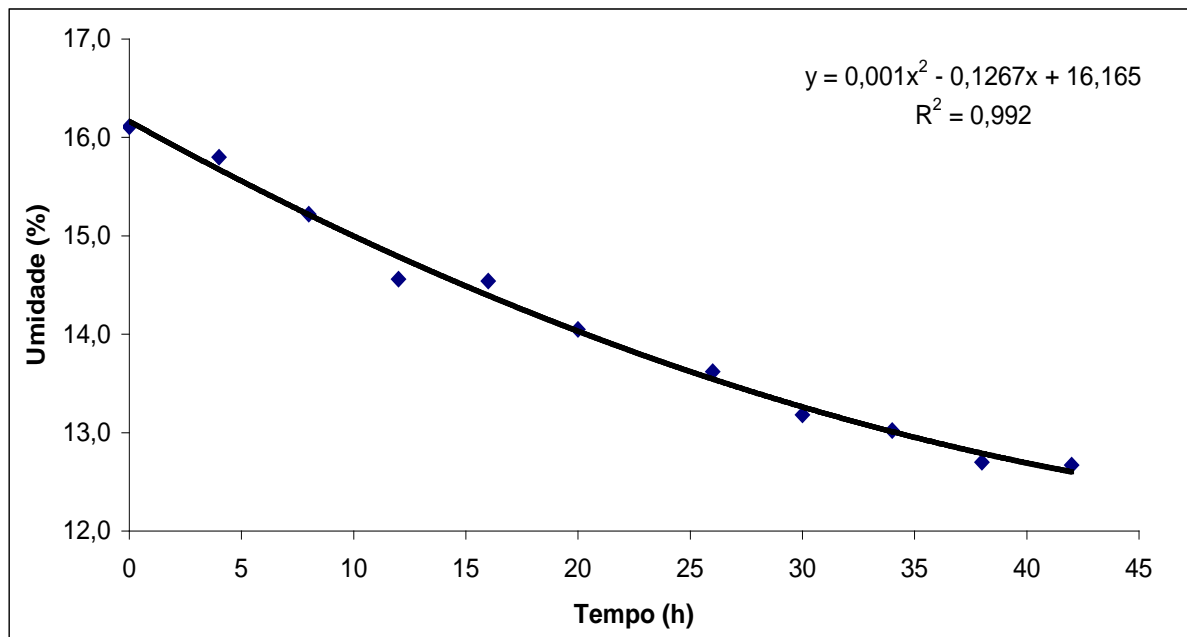


Figura 8 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 4 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  em ambas as câmaras.

É possível observar pelos valores apresentados na Figura 8 que na etapa final da secagem em silo-secador com ar ambiente, após a etapa inicial em secador de coluna utilizando manejo térmico operacional com ar a  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  em ambas as câmaras, e depois de cumprido o tempo de repouso de 4 horas, foram necessárias 42 horas de aeração para reduzir a umidade dos grãos de 16,1% para 12,7%, na seca-aeração do arroz.



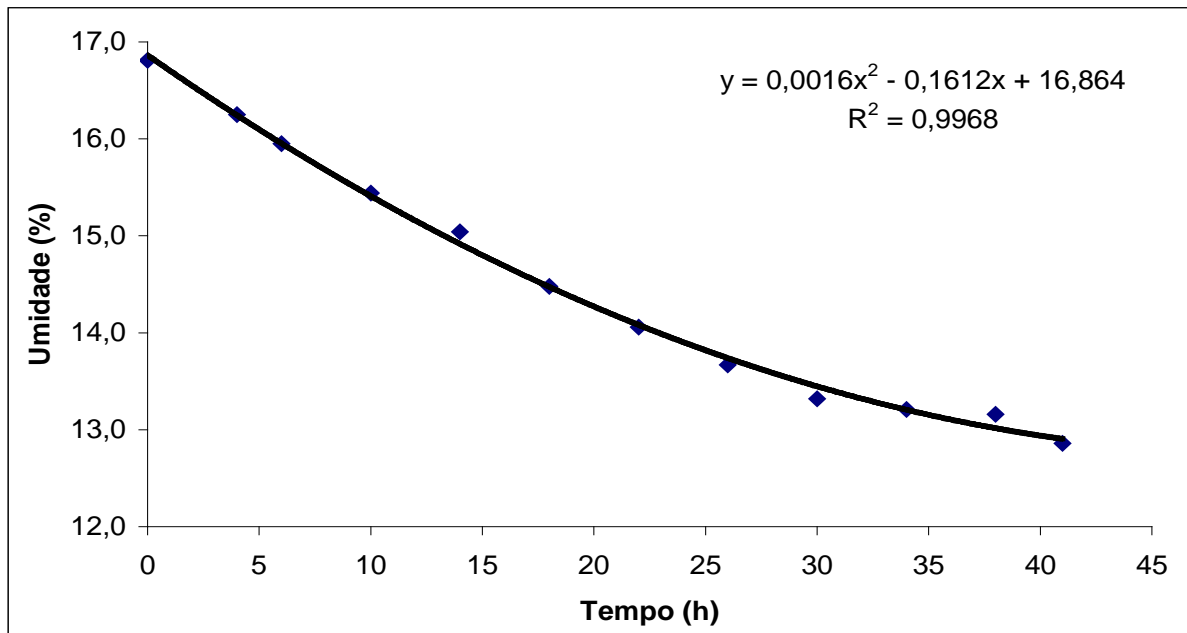


Figura 9 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 4 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a  $100\pm 5^\circ\text{C}$  na câmara superior e  $75\pm 5^\circ\text{C}$  na câmara inferior.

Pelo comportamento dos valores apresentados na Figura 9 é possível observar que na etapa final da secagem em silo-secador com ar ambiente, após a etapa inicial em secador de coluna utilizando manejo térmico operacional com ar a  $100\pm 5^\circ\text{C}$  na câmara superior e  $75\pm 5^\circ\text{C}$  na câmara inferior e depois de cumprido o tempo de repouso de 4 horas, foram necessárias 41 horas de aeração para reduzir a umidade dos grãos de 16,8% para 12,9%, na seca-aeração do arroz.

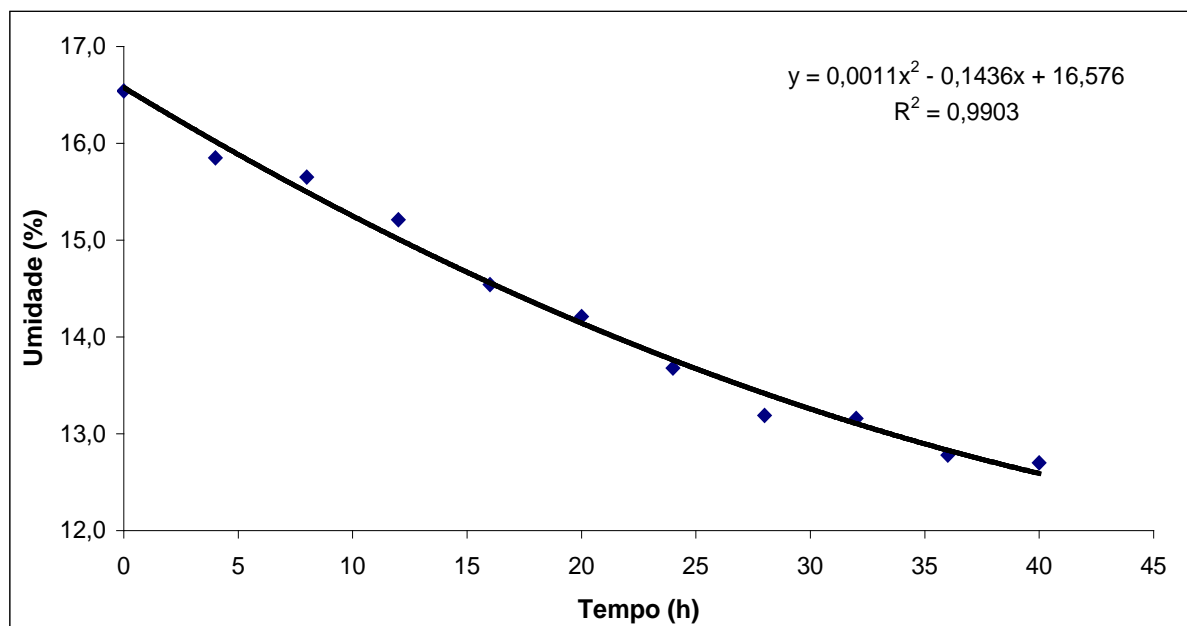


Figura 10 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 4 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a  $75\pm 5^\circ\text{C}$  na câmara superior e  $100\pm 5^\circ\text{C}$  na câmara inferior.

Verifica-se pelos valores apresentados na Figura 10 que na etapa final da secagem em silo-secador com ar ambiente, após a etapa inicial em secador de coluna utilizando manejo térmico operacional com ar a  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara superior e  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara inferior, e depois de cumprido o tempo de repouso de 4 horas, foram necessárias 40 horas de aeração para reduzir a umidade dos grãos de 16,5% para 12,7%, na seca-aeração do arroz.

Analisando-se de forma conjunta as Figuras 8, 9 e 10, observa-se que o manejo que utilizou na etapa inicial temperaturas crescentes apresentou uma taxa de remoção horária da água mais uniforme do que os demais, sugerindo que utilizar na secagem convencional ar em temperatura maior no início da operação provoca mais desequilíbrios entre os fenômenos de difusão e evaporação. Esse comportamento também é verificado na secagem intermitente, conforme relatos da literatura especializada (ELIAS, 2007).

Nas Figuras 11, 12 e 13, respectivamente, são apresentadas as dinâmicas de secagem dos grãos, na etapa final da seca-aeração do arroz em silo-secador na aeração com ar ambiente, após a etapa inicial em secador de coluna utilizando manejos térmicos operacionais de  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ , respectivamente nas câmaras superior e inferior, com 12 horas de repouso entre as etapas.

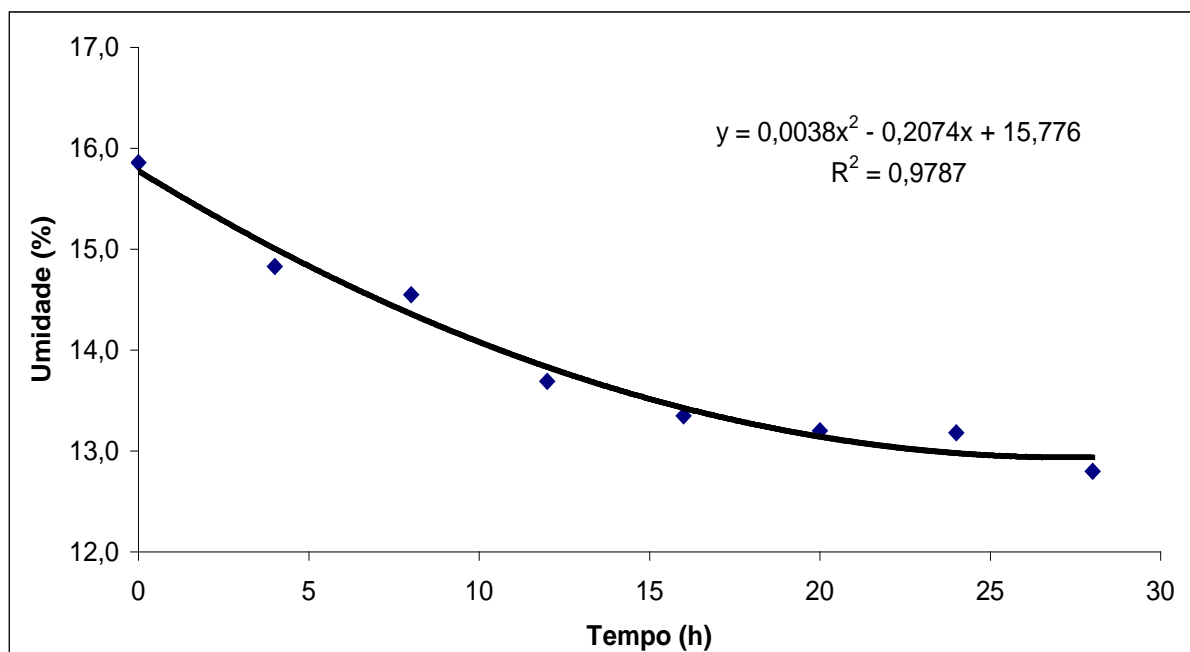


Figura 11 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 12 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  em ambas as câmaras.

Observa-se pelos valores apresentados na Figura 11 que na etapa final da secagem em silo-secador com ar ambiente, após a etapa inicial em secador de coluna utilizando manejo térmico operacional com ar a  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  em ambas as câmaras e depois de cumprido o tempo de repouso de 12 horas, foram necessárias 28 horas de aeração para reduzir a umidade dos grãos de 15,9% para 12,8%, na seca-aeração do arroz.

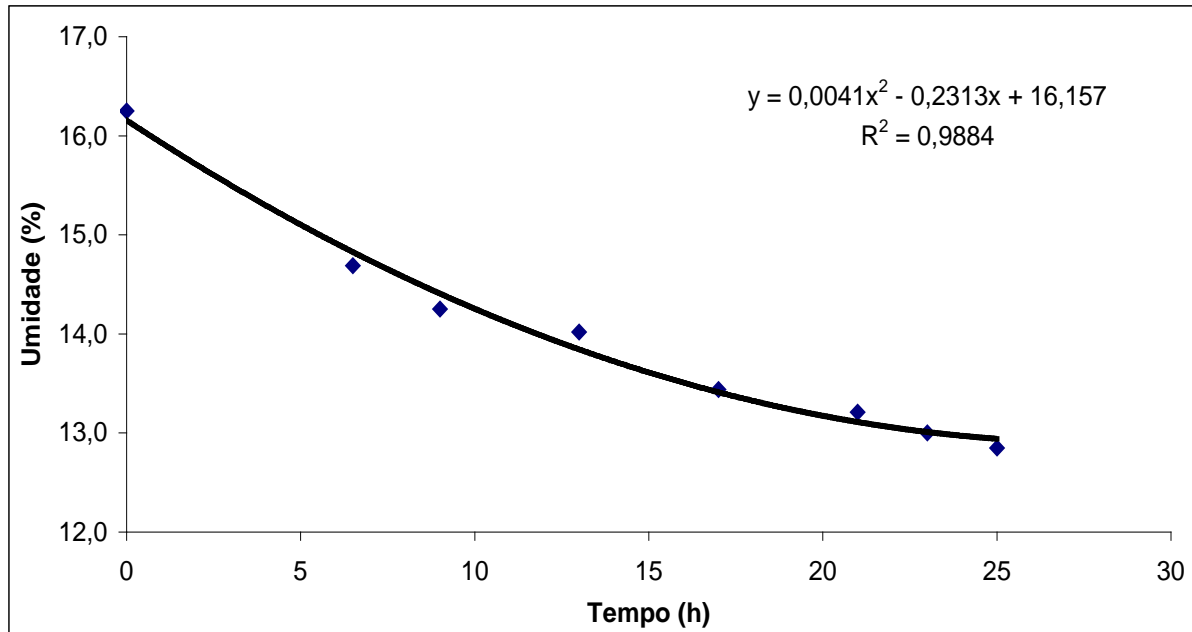


Figura 12 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 12 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara superior e  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara inferior.

Verifica-se pelos valores apresentados na Figura 12 que na etapa final da secagem em silo-secador com ar ambiente, após a etapa inicial em secador de coluna utilizando manejo térmico operacional com ar a  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara superior e  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara inferior, e depois de cumprido o tempo de repouso de 12 horas, foram necessárias 25 horas de aeração para reduzir a umidade dos grãos de 16,2% para 12,8%, na seca-aeração do arroz.

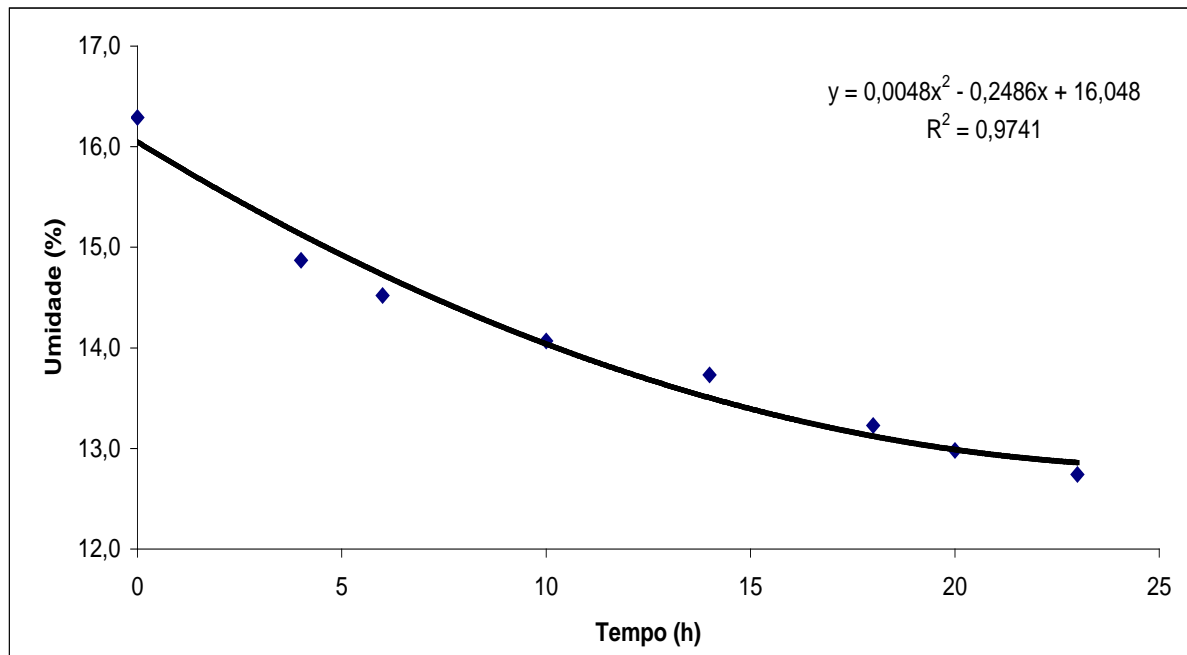


Figura 13 - Curva de secagem do arroz na etapa final da seca-aeração em silo-secador, utilizando ar ambiente, com 12 horas de repouso depois da secagem convencional com ar a  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara superior e  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara inferior.

É possível observar pelo comportamento dos valores apresentados na Figura 16 que na etapa final da secagem em silo-secador com ar ambiente, após a etapa inicial em secador de coluna utilizando manejo térmico operacional com ar a  $75\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara superior e  $100\pm 5^{\circ}\text{C}$  na câmara inferior e depois de cumprido o tempo de repouso de 12 horas, foram necessárias 23 horas de aeração para reduzir a umidade dos grãos de 16,3% para 12,7%, na seca-aeração do arroz.

Pelo comportamento das dinâmicas de secagem dos grãos apresentadas nas Figuras 11, 12 e 13, na etapa final da secagem em silo-secador na seca-aeração do arroz, após a etapa inicial da secagem em secador de coluna seguido de dois tempos de repouso, é possível perceber que o tempo de repouso de 12 horas permitiu uma maior eficiência do mecanismo de redistribuição da água nos grãos. Devido ao calor transferido na etapa inicial em secador de coluna, é possível o ar de secagem em condições ambiente remover maiores taxas horárias de água no início da aeração, reduzindo o tempo necessário da operação de secagem para o equilíbrio higroscópico dos grãos em relação ao tempo de repouso de 4 horas.

Foram necessárias 23 horas de aeração na etapa final da seca-aeração que utilizou temperaturas crescentes do ar na etapa inicial (Figura 13), enquanto a que utilizou temperaturas decrescentes (Figura 12) necessitou 25 horas e a que utilizou

temperatura constante (Figura 11) necessitou 28 horas no manejo que contemplou 12 horas de repouso entre as etapas. Esses valores equivalem a um redução próxima a 18% do tempo de operação ao ser escalonada de forma crescente a temperatura do ar na etapa inicial da seca-aeração.

Ao ampliar de 4 para 12 horas o tempo de repouso para a aeração com ar ambiente no silo-secador após a etapa inicial no secador de coluna, os tempos de aeração na etapa final passaram respectivamente de 42 horas (Figura 8) para 28 horas (Figura 11), nos manejos térmicos que utilizaram ar em temperatura constante (75°C) em ambas as câmaras.

Nos manejos que usam temperaturas crescentes (75°C e 100°C) entre as câmaras, a ampliação do tempo de repouso de 4 horas (Figura 10) para 12 horas (Figura 13) alterou o tempo de aeração na etapa final de 40 para 23 horas, enquanto a mesma comparação entre os manejos que utilizam temperaturas decrescentes (100°C e 75°C) entre as câmaras do secador de coluna mostra alteração do tempo necessário para aeração de 41 (Figura 9) para 25 horas (Figura 12).

As reduções dos tempos de acionamentos dos ventiladores nos silos-secadores na etapa final da seca-aeração decorrentes da ampliação dos tempos de repouso de 4 para 12 horas entre as etapas correspondem a 33, 42 e 29%, respectivamente para os manejos térmicos que utilizam temperaturas constantes, crescentes e decrescentes do ar entre as câmaras do secador de coluna. Esses percentuais se refletem nos consumos de energia elétrica para o acionamento dos ventiladores dos silos-secadores nos respectivos manejos operacionais.

Os comportamentos das dinâmicas de secagem apresentadas, na etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar em condições ambiente após os tempos de repouso de 4 e 12 horas, pelo método de seca-aeração de grãos, estão de acordo com a literatura especializada (SABBAH, 1972; FORTES, 1981; NEVES, 1982; BROOKER, 1992; DEVILLA 1998).

## 4.2. Estudo II

O Estudo II aborda efeitos imediatos e latentes da seca-aração sobre parâmetros de qualidade industrial e tecnológica do arroz submetido a dois processos industriais de produção de arroz branco e parboilizado no primeiro e no décimo segundo mês de armazenamento.

### 4.2.1. Parâmetros de qualidade industrial

Para que o processo de parboilização seja adequado e eficiente é necessário o conhecimento do comportamento hidrotérmico no encharcamento.

Na Figura 14 são apresentadas as isotermas de hidratação que descrevem a absorção de água do arroz na operação com temperaturas de 60, 65 e 70°C na água de encharcamento.

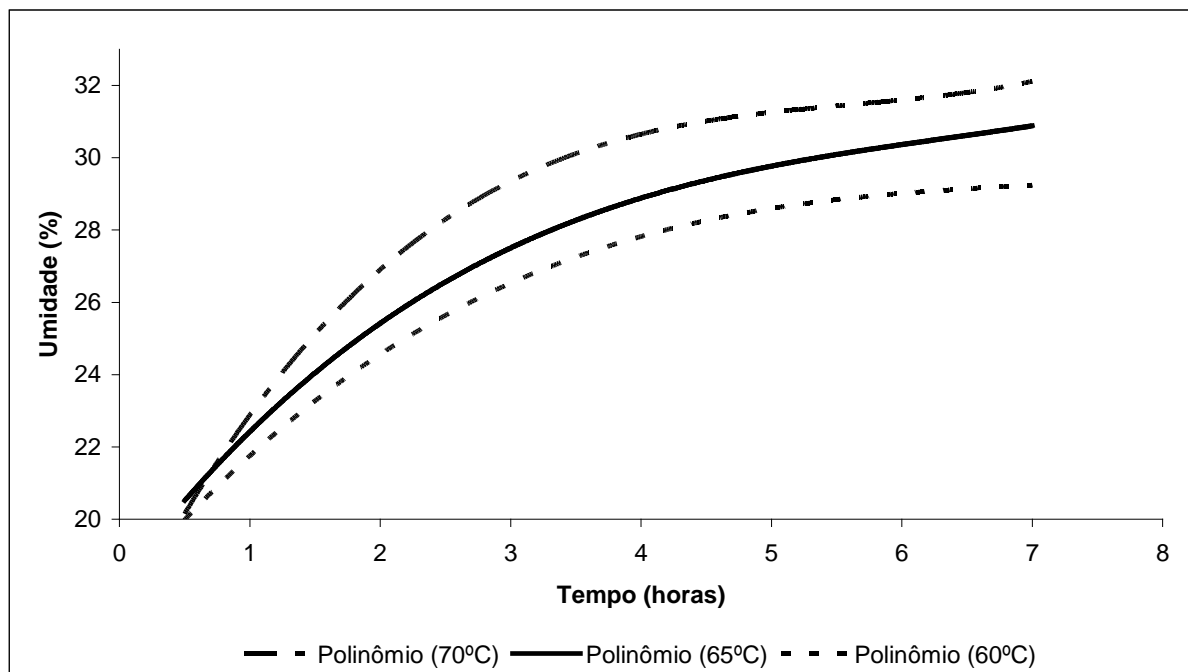


Figura 14 - Isotermas de hidratação em sete horas de encharcamento a 60, 65 e 70°C em grãos de arroz secados pelo método de seca-aeração.

Observa-se na Figura 14 que para o arroz utilizado neste estudo o comportamento da curva a 65°C na temperatura de encharcamento apresentou estabilidade, com maior hidratação em cinco horas e trinta minutos. Análises simultâneas revelaram que nessa condição não ocorreram deformações nos grãos.

O tempo e a temperatura de encharcamento no processo de parboilização são característicos de cada genótipo e em cada condição de produção do arroz. Para que o processo de parboilização seja satisfatório, é necessário que o amido absorva o máximo possível de água sem que ocorra deformação nos grãos e que

alcance a temperatura de gelatinização (AMATO e ELIAS, 2005), a qual se completa na autoclavagem.

Na Tabela 14 são apresentadas as condições psicrométricas no ambiente de armazenagem. Na Tabela 15 são apresentados os valores de umidade do arroz em casca, secado pelo método de seca-aeração e armazenado durante doze meses em ambiente resfriado.

Tabela 14 - Condições psicrométricas do ar no ambiente de armazenamento dos grãos

Parâmetro	Tempo de armazenamento	
	1º mês	12º mês
Umidade relativa (%)	77B	85A
Temperatura (°C)	17A	16A

Médias acompanhadas de letras diferentes maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Tabela 15 - Grau de umidade (%) do arroz em casca, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Tempo de armazenamento	
		1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a13,7A	a14,3A
	12	a13,6A	a14,2A
100 / 75°C	4	ab13,4A	a14,2A
	12	b13,3A	a14,3A
75 / 100°C	4	ab13,5A	a14,3A
	12	ab13,5A	a14,2A

Médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Verifica-se, pelos valores apresentados na Tabela 15, que há maior desuniformidade entre as umidades dos grãos no primeiro do que no décimo segundo mês de armazenagem, independentemente do manejo operacional da seca-aeração. Com o passar do tempo aparece a tendência de os grãos atingirem o equilíbrio higroscópico entre eles e com o ambiente de armazenagem.

Analisando-se as médias apresentadas na Tabela 15 é possível verificar que os valores estão acima da faixa recomendada para a conservação e comercialização do arroz (BRASIL, 2009), o que significa que os grãos entram em equilíbrio em umidades mais altas em função de serem armazenados em ambiente com umidades relativas elevadas (Tabela 14).

Este comportamento está de acordo com a literatura especializada (ELIAS, 2007) a qual relata que mesmo após a estabilidade hídrica ser adquirida ao término da secagem do arroz, variações de umidade dos grãos acompanham as oscilações

nas condições de temperatura e umidade relativa do ar durante o armazenamento, levando algum tempo para que os grãos atinjam a umidade de equilíbrio.

Na Tabela 16 são apresentados os dados relativos às variações de peso de mil grãos de arroz em casca natural e parboilizado, após a secagem pelo método da seca-aeração e armazenamento durante doze meses em ambiente resfriado.

Tabela 16 - Peso de mil grãos (g) do arroz em casca natural e parboilizado, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Processo / Tempo de armazenamento			
		Natural		Parboilizado	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a22,8A	a22,6A	a22,2A	a22,0A
	12	a22,9A	a22,8A	a22,4A	a22,2A
100 / 75°C	4	a22,8A	a22,6A	a22,3A	a22,1A
	12	a22,7A	a22,7A	a22,2A	a22,1A
75 / 100°C	4	a22,9A	a22,7A	a22,5A	a22,3A
	12	a22,8A	a22,9A	a22,2A	a22,1A

Para cada processo, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Verifica-se, pelos dados da Tabela 16, que em doze meses de armazenamento o peso de mil grãos não apresentou diferenças significativas, em todos os manejos térmicos aplicados na secagem. Ao serem parboilizados, os grãos exibiram o mesmo comportamento em relação ao processo convencional.

Isto é conseqüência de o armazenamento ocorrer em ambiente resfriado (Tabela 14) e ter havido rigoroso controle no ambiente de armazenamento que controlou eficazmente os ataques de pragas, sendo realizado periodicamente expurgo com fosfina.

Perdas de peso podem ocorrer durante o armazenamento e são relatadas na literatura especializada (BARBOSA et al., 2005; RUPOLLO et al., 2006; SIMIONI et al., 2007; ELIAS et al., 2008), ainda que nenhuma delas se refira á seca-aeração.

Nas Tabelas 17 e 18 são apresentados os valores dos rendimentos de grãos inteiros sem defeitos do arroz branco e do parboilizado, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenamento durante doze meses em ambiente resfriado.



Tabela 17 - Rendimento de grãos inteiros sem defeitos (%) de arroz branco polido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Tempo de armazenamento	
		1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a59,20B	a61,28A
	12	a58,71B	a60,65A
100 / 75°C	4	b54,10B	b56,15A
	12	b53,95B	b55,63A
75 / 100°C	4	a59,36B	a61,48A
	12	a58,73B	a60,84A

Médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Tabela 18 - Rendimento de grãos inteiros sem defeitos (%) do arroz parboilizado polido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Tempo de armazenamento	
		1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a71,5A	a73,1A
	12	a69,7A	a71,5A
100 / 75°C	4	b66,6A	b67,7A
	12	b66,8A	b67,6A
75 / 100°C	4	a71,5A	a73,9A
	12	a70,6A	a72,9A

Médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Os valores apresentados na Tabela 17 mostram diferenças significativas entre os tratamentos de secagem e entre os meses de armazenamento, sem diferenças significativas entre os grãos submetidos a quatro e a doze horas de repouso entre as duas etapas da seca-aeração.

Os menores rendimentos de grãos inteiros sem defeitos (Tabela 17) são verificados no primeiro e no décimo segundo mês de armazenamento para o tratamento que utilizou temperaturas do ar mais alta (100°C / 75°C) no início da secagem entre os tratamentos que utilizaram temperaturas menores na primeira câmara não ocorreram diferenças se na segunda houve manutenção (75°C / 75°C) ou aumento gradual (75°C / 100°C) na temperatura do ar. Este comportamento está de acordo com a literatura especializada (FAGUNDES et al., 2005; BARBOSA et al., 2005; ELIAS et al., 2008)

Verifica-se nos valores apresentados para o arroz parboilizado (Tabela 18) um comportamento similar no rendimento de grãos inteiros sem defeitos em relação ao arroz branco.

A parboilização do arroz ocorreu após a secagem pelo método de seca-aeração e em cada tempo de armazenamento analisado. Os efeitos da secagem que antecede ao armazenamento são transferidos aos grãos que adquirem após a parboilização, é um comportamento similar ao exibido no processo convencional, mas com diferentes proporções resultantes dos efeitos da parboilização no rendimento de grãos inteiros sem defeitos.

Estes comportamentos estão de acordo com a literatura especializada (AMATO e ELIAS, 2005; FAGUNDES et al., 2006), e confirmam-se pela análise conjunta do comportamento nos valores de rendimento de grãos inteiros sem defeitos, para o arroz branco (Tabela 17) e parboilizado (Tabela 18).

#### 4.2.2. Parâmetros de qualidade tecnológica

Nas Tabelas 19 e 20 são apresentados os valores do perfil branquimétrico do arroz branco e do parboilizado, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenamento durante doze meses em ambiente resfriado.

Tabela 19 - Parâmetros do perfil branquimétrico do arroz branco polido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Parâmetro / Tempo de armazenamento					
		Índice de polimento		Índice de brancura		Índice de transparência	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a109,8A	a107,4A	a42,5A	a42,3A	a3,5A	a3,5A
	12	a104,0A	a108,7A	a40,8A	a41,5A	a3,4A	a3,5A
100 / 75°C	4	a103,2A	a108,3A	a41,3A	a41,0A	a3,3A	a3,2A
	12	a106,2A	a101,6A	a41,9A	a40,9A	a3,4A	a3,3A
75 / 100°C	4	a107,7A	a104,4A	a40,6A	a41,8A	a3,2A	a3,1A
	12	a104,2A	a109,9A	a41,6A	a40,9A	a3,3A	a3,2A

Para cada parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey. \* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem. \*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Tabela 20 - Parâmetros do perfil branquimétrico do arroz parboilizado polido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Parâmetro / Tempo de armazenamento					
		Índice de polimento		Índice de brancura		Índice de transparência	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a13,3A	a14,5A	a23,0A	a22,4A	a1,9A	a1,8A
	12	a14,0A	a14,7A	a22,6A	a23,2A	a2,1A	a1,9A
100 / 75°C	4	a12,8A	a11,2A	a22,4A	a22,3A	a2,0A	a1,9A
	12	a12,2A	a12,8A	a22,6A	a23,7A	a1,7A	a1,7A
75 / 100°C	4	a11,3A	a13,3A	a22,0A	a23,1A	a1,8A	a1,8A
	12	a13,7A	a14,7A	a22,2A	a23,2A	a2,1A	a1,9A

Para cada parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Verifica-se pelos valores apresentados na Tabela 19 que não houve diferenças significativas entre os tratamentos de secagem e entre os meses de armazenamento.

Os parâmetros branquimétricos são obtidos de grãos inteiros sem defeitos que decorrem da etapa de polimento do arroz, a indústria utiliza estes parâmetros para padronizar e homogeneizar o arroz beneficiado nesta etapa. Devido ao fato de o processo de polimento dos grãos ser uma etapa abrasiva, a desuniformidade nos valores pode interferir diretamente no rendimento de grãos inteiros, revelando a necessidade de ajustes no equipamento de polimento evitando perdas e diferenças entre valores de rendimento de grãos inteiros.

A análise conjunta dos valores para os parâmetros do perfil branquimétrico apresentados na Tabela 19 permite verificar que a etapa de polimento não interferiu no rendimento de grãos inteiros sem defeitos para o arroz branco (Tabela 17). Portanto, as diferenças percebidas entre os valores de grãos inteiros são devidas ao manejo técnico operacional da secagem e ao tempo de armazenamento.

Pelos valores apresentados na Tabela 20 observa-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos de secagem, nem entre os meses de armazenamento.

Analisando-se de forma conjunta as Tabelas 19 e 20 é possível perceber médias menores nos parâmetros do perfil branquimétrico para o arroz parboilizado polido. Este comportamento está de acordo com a literatura especializada que relata os efeitos da parboilização sobre a estrutura e a coloração dos grãos. O arroz não parboilizado tem maior maciez e conseqüentemente os efeitos do polimento são mais drásticos. Os efeitos do processo de parboilização a que são submetidos os grãos refletem diretamente nos parâmetros do perfil branquimétrico do arroz. (ROMBALDI, 1998; AMATO e ELIAS, 2005).

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentados os parâmetros de cocção do arroz beneficiado branco polido e parboilizado, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenamento durante doze meses em ambiente resfriado.

Pelos valores apresentados nas Tabelas 21 e 22 é possível observar que o manejo térmico da secagem e o tempo de armazenamento não provocaram diferenças significativas entre os parâmetros de cocção.

Tabela 21 - Parâmetros de cocção do arroz branco polido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Parâmetro / Tempo de armazenamento							
		Rendimento gravimétrico (%)		Rendimento volumétrico (%)		Tempo de cocção (minutos)		Proporção de água (razão mássica)	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a274,0A	a297,3A	a289,2A	a286,6A	a19,0A	a18,0A	a2,1A	a2,1A
	12	a270,3A	a296,7A	a281,9A	a273,2A	a19,0A	a18,0A	a2,0A	a2,1A
100 / 75°C	4	a279,5A	a296,2A	a291,6A	a286,5A	a19,0A	a18,0A	a2,1A	a2,1A
	12	a274,4A	a297,7A	a284,8A	a283,9A	a19,0A	a18,0A	a2,0A	a2,1A
75 / 100°C	4	a278,8A	a292,2A	a287,8A	a284,2A	a19,0A	a18,0A	a2,1A	a2,1A
	12	a281,6A	a291,9A	a296,6A	a292,2A	a19,0A	a18,0A	a2,1A	a2,1A

Para cada parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Tabela 22 - Parâmetros de cocção do arroz parboilizado polido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Parâmetro / Tempo de armazenamento							
		Rendimento gravimétrico (%)		Rendimento volumétrico (%)		Tempo de cocção (minutos)		Proporção de água (razão mássica)	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a313,9A	a331,9A	a334,4A	a321,8A	a25,0A	a26,0A	a2,7A	a2,7A
	12	a315,5A	a325,3A	a335,7A	a326,2A	a25,0A	a26,0A	a2,6A	a2,6A
100 / 75°C	4	a318,7A	a328,3A	a335,5A	a326,4A	a26,0A	a27,0A	a2,6A	a2,6A
	12	a313,3A	a335,8A	a334,1A	a321,9A	a25,0A	a26,0A	a2,7A	a2,7A
75 / 100°C	4	a312,6A	a332,4A	a339,3A	a327,4A	a25,0A	a27,0A	a2,7A	a2,7A
	12	a318,6A	a328,8A	a338,0A	a321,0A	a26,0A	a26,0A	a2,6A	a2,7A

Para cada parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Aumentos de rendimento gravimétrico, por exemplo, resulta de aumento de capacidade de absorção de água pelos grãos, o que é comum em armazenamentos em condições ambientais não controladas, assim como aumentos nos tempos de cocção. Nas tabelas 21 e 22 é possível verificar que esses fatos não ocorreram. Esse comportamento é consequência do resfriamento no ambiente de armazenamento que retarda os ritmos do metabolismo e também de outras alterações nos grãos.

A análise conjunta dos valores apresentados nas Tabelas 21 e 22 permitem verificar que no arroz parboilizado polido (Tabela 22) os rendimentos gravimétricos e volumétricos aumentaram em relação aos exibidos no arroz branco (Tabela 21).

No arroz branco polido, o rendimento gravimétrico alcançou médias de 288,6 e 301,8% no primeiro e no décimo segundo mês de armazenamento, respectivamente. No arroz parboilizado polido, esses valores correspondem a 336,1 e 330,4%, nos mesmos períodos. Analogamente, os valores de rendimentos volumétricos passaram de 280,2 e 280,6% para 304,1 e 312,4% nos mesmos doze meses de armazenamento quando o arroz foi parboilizado.

Assim como ocorreu nos rendimentos gravimétricos e volumétricos, verificam-se aumentos médios tanto na proporção de água necessária quanto para o tempo de cocção ao se parboilizar o arroz.

Os grãos brancos necessitaram de proporções mássicas entre 2,0 e 2,2 para a cocção, que ocorreu entre 18 e 19 minutos. Já nos parboilizados esses parâmetros de proporção mássica passaram para 2,5 a 2,7 e 25 a 27 minutos de cocção. A reestruturação interna dos grãos, provocada pela gelatinização do amido na parboilização explica os comportamentos.

O resfriamento do ar ambiente de armazenamento possibilitou a uniformização desses comportamentos nos doze meses de armazenamento, independentemente do manejo térmico utilizado na secagem.

Nas Tabelas 23 e 24 são apresentados os parâmetros de perfil texturométrico do arroz cozido, branco polido, depois de secado pelo método de seca-aeração e armazenado durante doze meses em ambiente resfriado.

Tabela 23 - Parâmetros de perfil textuométrico do arroz branco polido cozido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Parâmetro / Tempo de armazenamento							
		Força (g)		Firmeza (g)		Adesividade (J)		Elasticidade (mm)	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a2996,0A	ab1413,3B	a3539,5A	abc1721,7B	a-13,4B	a-22,1A	a0,5A <sup>0</sup>	a0,5A
	12	a2807,1A	ab1544,3B	a3250,5A	a1917,7B	a-13,3B	a-22,2A	a0,5A	a0,5A
100 / 75°C	4	a3347,6A	ab1485,6B	a3859,2A	ab1762,3B	a-11,5B	a-22,7A	a0,5A	a0,5A
	12	a3017,3A	bc1093,3B	a3576,3A	bc1284,3B	a-11,4B	a-21,4A	a0,5A	a0,5A
75 / 100°C	4	a2773,0A	bc1001,5B	a3264,2A	bc1131,0B	a-11,0B	a-21,7A	a0,5A	a0,5A
	12	a2672,6A	a1664,9B	a3153,8A	a1970,9B	a-12,8B	a-22,0A	a0,5A	a0,5A

Para cada parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Tabela 24 - Parâmetros de perfil textuométrico do arroz branco polido cozido, secado pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Parâmetro / Tempo de armazenamento							
		Coesividade (adimensional)		Gomosidade (N)		Mastigabilidade (N.mm)		Deformação (mm)	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a0,5A	a0,5A	a1857,4A	a737,2B	a992,1A	a416,6B	a0,28A	a0,22B
	12	a0,5A	a0,5A	a1868,3A	a817,2B	a922,3A	a466,2B	a0,27A	a0,24A
100 / 75°C	4	a0,5A	a0,5A	a1689,0A	a756,8B	a960,7A	a471,7B	a0,30A	a0,24B
	12	a0,5A	a0,5A	a1754,1A	a712,5B	a917,1A	a439,0B	a0,26A	a0,23A
75 / 100°C	4	a0,5A	a0,5A	a1717,7A	a716,3B	a950,5A	a416,6B	a0,28A	a0,22B
	12	a0,5A	a0,5A	a1662,1A	a825,1B	a965,7A	a422,9B	a0,28A	a0,24A

Para cada parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.

Verificam-se pelos valores apresentados nas Tabelas 23 e 24 que não houve diferenças significativas entre os meses de armazenamento somente para os parâmetros de elasticidade e coesividade. Pelo comportamento dos valores nos demais parâmetros é possível observar que o tempo de armazenamento altera os parâmetros de perfil textuométrico, força, firmeza, adesividade, gomosidade, mastigabilidade e deformação.

Observa-se também pelo comportamento dos valores no primeiro mês de armazenamento que não houve diferenças significativas entre os tratamentos de secagem. Porém os valores dos parâmetros de força e firmeza apresentaram diferenças significativas e desuniformidade no décimo segundo mês de armazenamento.

Os valores encontrados na investigação do perfil textuométrico do arroz cozido são compatíveis com os relatados por Zheng, et al., (2009) o qual investigou os efeitos das fissuras no arroz sobre as qualidades de textura e sabor, utilizando metodologia de cocção e preparo das amostras para avaliação de textura similares às aplicadas neste estudo.

Nas Tabelas 25 e 26 são apresentados os parâmetros de perfil textuométrico do arroz parboilizado cozido, após secagem pelo método de seca-aeração e armazenado durante doze meses em ambiente refrigerado.

É possível observar pelos valores apresentados nas Tabelas 25 e 26 que não houve diferenças significativas entre os tratamentos de secagem e entre os meses de armazenamento.

A análise conjunta no comportamento dos valores apresentados nas Tabelas 23 a 26 permite verificar que no décimo segundo mês de armazenamento a parboilização uniformizou e restituiu os valores dos parâmetros de força e firmeza, apresentando maior uniformidade entre os tratamentos de secagem e entre os meses de armazenamento. São percebidos incrementos nos valores após a parboilização em relação ao arroz não parboilizado no primeiro mês de armazenamento. A parboilização no décimo segundo mês de armazenamento apresentou valores mais similares ao primeiro mês de armazenamento do arroz não parboilizado.

Tabela 25 - Parâmetros de perfil texturométrico do arroz parboilizado polido cozido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Parâmetro / Tempo de armazenamento							
		Força (g)		Firmeza (g)		Adesividade (J)		Elasticidade (mm)	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a2634,0A	a2741,7A	a3146,5A	a3690,1A	a-1,5A	a-2,5A	a0,5A	a0,5A
	12	a3361,2A	a2102,2A	a3917,7A	a3602,1A	a-1,6A	a-3,5A	a0,5A	a0,5A
100 / 75°C	4	a2323,4A	a2348,8A	a3847,5A	a3716,4A	a-1,3A	a-2,2A	a0,5A	a0,5A
	12	a3187,6A	a2969,2A	a3837,8A	a3662,7A	a-1,5A	a-3,3A	a0,5A	a0,5A
75 / 100°C	4	a3033,0A	a2308,7A	a3639,7A	a3763,0A	a-1,1A	a-3,4A	a0,5A	a0,5A
	12	a3294,0A	a2369,9A	a3933,1A	a3743,2A	a-1,6A	a-3,6A	a0,5A	a0,5A

Para cada parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.



Tabela 26 - Parâmetros de perfil texturométrico do arroz parboilizado polido cozido, após a secagem pelo método de seca-aeração e armazenado em ambiente resfriado

Etapa inicial* manejo térmico	Etapa final** tempo de repouso (horas)	Parâmetro / Tempo de armazenamento							
		Coesividade (adimensional)		Gomosidade (N)		Mastigabilidade (N.mm)		Deformação (mm)	
		1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês	1º mês	12º mês
75 / 75°C	4	a0,6A	a0,6A	a2139,54A	a2346,09A	a1107,23A	a1020,33A	a0,38A	a0,34A
	12	a0,6A	a0,6A	a2123,96A	a2554,41A	a1130,52A	a1084,66A	a0,36A	a0,35A
100 / 75°C	4	a0,6A	a0,6A	a2057,54A	a2334,09A	a1125,14A	a1034,20A	a0,34A	a0,36A
	12	a0,6A	a0,6A	a2134,73A	a2335,29A	a1123,79A	a1110,80A	a0,37A	a0,34A
75 / 100°C	4	a0,6A	a0,6A	a2093,85A	a2343,45A	a1193,31A	a1143,01A	a0,36A	a0,34A
	12	a0,6A	a0,6A	a2098,35A	a2568,14A	a1167,65A	a1108,97A	a0,38A	a0,35A

Para cada parâmetro, médias acompanhadas de letras diferentes minúsculas na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha representam diferenças a 5% de significância pelo teste de Tukey.

\* Etapa inicial da secagem em secador de coluna utilizando três manejos térmicos do ar de secagem.

\*\* Etapa final da secagem em silo-secador utilizando ar ambiente, com dois tempos de repouso em seqüência da etapa inicial.



Verifica-se pelos valores de adesividade que após a parboilização, independentemente dos tratamentos de secagem e dos meses de armazenamento, foram obtidos valores bem menores do que no ao arroz não parboilizado. Após a cocção do arroz parboilizado os grãos apresentam maior firmeza e soltabilidade.

### **4.3. Conclusões**

a) Na seca-aeração do arroz, manejos térmicos que utilizam crescentes temperaturas do ar na etapa inicial, associados com maiores tempos de repouso resultam em menores tempos de secagem na etapa final, sem comprometer os rendimentos de grãos inteiros sem defeitos, nem a qualidade industrial e nem a qualidade tecnológica

b) Quatro horas de repouso entre a etapa inicial, em secador de coluna, e a etapa final, em silo-secador, são insuficientes para a adequada difusão da água nesta etapa, e sua ampliação para doze horas de repouso diminui os tempos de aeração com ar ambiente na seca-aeração do arroz.

c) O tempo de repouso na etapa final apresenta efeitos mais marcantes sobre os tempos totais de secagem do que o manejo térmico do ar na etapa inicial em secador de coluna na seca-aeração do arroz.

d) A parboilização tem efeitos mais marcantes sobre os parâmetros de perfil textuométrico, branquimétrico e de cocção do que o manejo térmico na secagem e o tempo de armazenamento dos grãos em condições ambientais resfriadas.

e) A parboilização restitui os parâmetros de perfil textuométrico e aumenta os rendimentos de grãos inteiros sem defeitos, o rendimento gravimétrico e volumétrico, a proporção de água necessária e o tempo de cocção do arroz.

## 5. REFERÊNCIAS

- ABIAP - Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado. **Arroz Parboilizado**. Disponível em: <<http://www.abiap.com.br>>. Acessado em: Outubro de 2008.
- ABUD-ARCHILA, M.; COURTOIS, F.; BONNAZI, C.; BIMBENET, J.J. **Processing quality of rough rice during drying**. *Journal of Food Engineering*, 2000. Vol.45, N.3, pp.161-179.
- AMATO, G.W.; ELIAS, M.C. **A Parboilização do Arroz**. 1. ed. Porto Alegre: Ricardo Lenz Editor, 2005. v.1, 160p.
- AOSANI, E. **Temperatura de secagem estacionária e de armazenamento na qualidade de grãos de soja [Glycine max (L.) Merrill ]**. - Pelotas, 2007. Dissertação (Mestrado).
- Arora, V.K., Henderson S.M., Burkhardt T.H. **Rice drying cracking versus thermal and mechanical properties**. *Transactions of the ASAE*, 1973,16(2): 320–327.
- AZEVEDO, L.F.; OLIVEIRA, T.P.; PORTO, A.G.; SILVA, F.S. **A Capacidade Estática de Armazenamento de Grãos no Brasil**. XXVIII Encontro nacional de engenharia de produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.
- BARBOSA, F.F.; ELIAS, M.C.; FAGUNDES, C. A. A.; PEREIRA, F. M.; RADÜNZ, L. **Efeitos das secagens estacionária e intermitente e do tempo de armazenamento no desempenho industrial de grãos de arroz**. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa-MG, 2005, v.30, n.1, 83-90p.
- BESKOW, P. **Sistema Nacional de Certificação de Unidades Armazenadoras. Legislação** – Detalhes, *Revista Eletrônica Agrolink*, 2007.
- BHATTACHARYA, K.R.; CHAMPAGNE E. T. **Parboiling of rice**. *Rice chemistry and technology*, 2004, AACC Int. p 329–404.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à química de alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Varela, 1992. 222p.

Brasil **Regras para análise de sementes**. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, 2009, 399p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Norma de classificação, embalagem e marcação do arroz. Portaria Nº 269**, Diário Oficial da União, 1988.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regulamento Técnico do Arroz**. Instrução Normativa Nº 6, Diário Oficial da União, 2009.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992, 450p.

CALDERWOOD, D. L. **Systems for drying of rice**. In: HALL, C. W. Drying and storage of agricultural crops. Westport: Connecticut, 1980, 68-91p.

CANEPPELE, C., HARA, C.C.T., CAMPELO J.J.H. **Simulação de secagem de arroz (*Oryza Sativa L.*) em secadores por convecção natural**, *Rev. Brasileira de Armazenamento*, 1992, Vol.17, N.1, 43-45p.

CANEPPELE, C.; HARA, C.C.T.; CAMPELO J.J.H. **Simulação de Secagem de Arroz (*Oryza Sativa L.*) em Secadores por Convecção Natural**. *Rev. Brasileira De Armazenamento*, v.17, n.1, 1992, 43-45 p.

CASIRAGHI, M.C.; Brighenti, F.P.N.; Leopardi, E.; Testolin, G. (1993). **Effects of Processing on Rice Starch Digestibility Evaluated by in Vivo and in Vitro Methods**. *J Cereal Sci.* v.17, 1993, 147-156p.

CNOSSSEN, A.G., SIEBENMORGEN, T.J., YANG, W. **The glass transition temperature concept in rice**, *Transactions of the ASAE*, 2002, Vol. 45(3): 759–766.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. In: Acompanhamento de safra brasileira: **Grãos, décimo levantamento, julho/2009**. Brasília, 2009, 39p.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Situação da Armazenagem no Brasil**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. 2006, 15p.

CUNHA, O.P. **Experiências com um sistema de seca-aeração**. Panambi - RS, Kepler Weber, 1980. 15 p.

DERYCKE, C., VANDEPUTTE, G.E., VERMEYLEN, R., DE MAN, W., GODERIS, B., KOCH, M.H.J., DELCOUR, J.A **Starch gelatinization and amylose-lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide**

**angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry**, *J Cereal Sci*, 2005, 42:334–43p.

DEVILLA, I. A. **Qualidade de grãos de milho (Zea mays L.) submetidos ao processo de seca-aeração**. Viçosa: UFV, 1998. Dissertação (Mestrado).

DEVILLA, I.A.; COUTO, S.M.; QUEIROZ, D.M.; DAMASCENO, G.S.; REIS, F.P. **Qualidade de grãos de milho submetidos ao processo de seca-aeração**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande - PB, v.3, n.2, 1999, 211-215p.

DEXTER, P. B.. **Rice fortification for developing countries**. Department of Food Science, University of Arkansas – Fayetteville. August, 1998. Disponível em: <<http://www.mostproject.org/rice4.pdf>>. Acesso em: 22 set, 2007.

DIOS, C. A. Secado de granos y secadoras. FAO. Santiago, Chile, 1996, 314p.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade**. 1ª ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária UFPEL, v.1, 2007, 424 p.

ELIAS, M. C.; FAGUNDES, C. A.; DIAS, A. R. G.; **Produziu o arroz? E agora como manter a qualidade?** *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.52, n.435, 2004, 56-60p,

ELIAS, M.C. **Efeitos da espera para secagem e do tempo de armazenamento na qualidade das sementes e grãos do arroz irrigado**. Pelotas, 1998. 164p. Tese (Doutorado)

ELIAS, M.C., FAGUNDES, C.A.A., DIAS, A.R.G. **Aspectos fundamentais e operacionais na qualidade do arroz**. *Revista Lavoura Arrozeira*, 2004, Vol. 52, N. 435, 56-60p.

ELIAS, M.C.; BARBOSA, F.F.; LOECK, A.E.; GRUTZMACHER, D.D. **Recomendações técnicas para colheita, secagem, armazenamento e industrialização de arroz para o sul do Brasil**. Pelotas – RS, 2000, 1-18p.

ELIAS, M.C; OLIVEIRA, M. **Sistema Nacional de Certificação de Unidades Armazenadoras de Grãos e Fibras: Tecnologia e Legislação**. Ed. Santa Cruz, Pelotas, 2010, 477p.

EMBRAPA, **Importância Econômica, Agrícola e Alimentar do Arroz**. In: Embrapa Clima Temperado. (Org.) *Sistemas de Produção*. 3 ed. Pelotas - RS, v.3, 2005.

FAGUNDES, C.A.A., ELIAS, M.C., BARBOSA, F.F. **Desempenho industrial de arroz secado com ar aquecido por queima de lenha e GLP**. *Revista Brasileira de Armazenamento*, 2005, Vol. 30, 8-15p.

FAGUNDES, C.A.A.; LOPES, S.I.G.; LOPES, M.C.B.; ROSSO, A.F.; CRUZ, R.P.; CARMONA, P.S.; GULARTE, M.A.; ELIAS, M.C. **Características tecnológicas, propriedades de consumo e parâmetros de parboilização dos grãos de arroz dos cultivares IRGA 423 e IRGA 424.** In: V Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado e XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 2007, Pelotas - RS. Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado - SOSBAI, v. 2, 2007, 510-513p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food Balance Sheet.** Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Databases, (FAOSTAT). Disponível em: <http://fao.org>., Acesso em: 2009

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **International year of rice. Rice is life.** Disponível em: <<http://www.rice2004.org>>. Acessado em:2009

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Issues And Challenges In Rice Technological Development For Sustainable Food Security.** The International Rice Commission, Bangkok, Thailand, 23-26 July 2002. Disponível em: <http://fao.org>. Acesso em: 2009.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical databases.** Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 2009.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Rice and human nutrition - international year of rice 2004.** Disponível em: <[http://www.fao.org/rice2004/index\\_en.htm](http://www.fao.org/rice2004/index_en.htm)>. Acesso em: 2006.

FORTES, M. & OKOS, M.R. **Non-equilibrium thermodynamics approach to heat and mass transfer in corn kernels.** Transactions of the ASAE, 1891, 761 – 769p.

FOSTER, G.H. **Moisture changes during aeration of grain.** Transactions of the ASAE, 1967, 344-347.

GUIMARÃES, D.S. **Desenvolvimento de módulo computacional para a secagem estacionária de sementes.** Pelotas, 2005. –165p. Tese (Doutorado).

GULARTE, M.A. **Arroz: Propriedades de consumo e preferências do consumidor.** Disponível em: <[www.congressorizicola.org.br](http://www.congressorizicola.org.br)>, 2004. Acesso em: 2009.

GULARTE, M.A. **Manual de análise sensorial de alimentos.** Edigraf UFPel, Pelotas, 2002, 59p.

GULARTE, M.A.; CARDOSO, M.B.; PRESTES, D.H.; WALLY, A.P.S.; FAGUNDES, C.A.A.; DIAS, A. R. G.; SCHIRMER, M.A.; ELIAS, M.C. **Efeitos da parboilização**

**nas características de consumo do arroz.** In: IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2005, Santa Maria. SOSBAI, v.2, 2005, 369-371p.

GUTKOSKI, L.C. & ELIAS, M.C. Estudos comparativos das operações unitárias de parboilização de arroz, realizadas em escalas industrial e laboratorial. **Lavoura Arrozeira**, v.45, n.404, 1992, 3-8p.

GUTKOSKI, L.C. **Efeitos das condições de maceração e de autoclavagem na qualidade industrial e comercial dos grãos de arroz (*Oryza sativa*, L.) parboilizados.** Universidade Federal de Pelotas, 1991. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", UFPEL, 1991.

GWINNER, J.; RÜDIGER, H.; MÜCK, O. **Manual sobre prevenção das perdas de grãos no pós-colheita.** Projeto de proteção dos produtos armazenados do Ministério Federal da Cooperação Econômica e de Desenvolvimento (BMZ) da República Federal da Alemanha. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn - FRG, 1997. 143p.

HEINEMANN, R.J.B. ; BEHRENS, J.H. ; LANFER-MARQUEZ, U.M. **A study on the acceptability and consumer attitude towards parboiled rice.** International Journal of Food Science & Technology, v. 40, 2006, 1-8p.

HEINEMANN, R.J.B., FAGUNDES, P.L., PINTO, E.A., PENTEADO, M.V.C., LANFER-MARQUEZ, U.M. **Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled, and milled rice from Brazil.** *J Food Comp Anal*, 2005, 18:287–96p.

HELBIG, E.; ROMANO, C.M.; RADÜNZ, A.L.; RUTZ, D.; DIAS, A.R.G.; ELIAS, M.C. **Efeitos da amilose e do processamento na formação e estabilidade do amido resistente em arroz.** Brazilian Journal of Food Technology (ITAL), v.10, 2007, 4-13p.

ISLAM, M.R., SHIMIZU, N., KIMURA, T. **Effect of processing conditions on thermal properties of parboiled rice.** *Food Sci. Technol. Res.*, 2002, 8 (2): 131–136p.

JULIANO, B.O.; BECHTEL, D.B. **The rice grain and its gross composition.** In: Rice: chemistry and technology. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. Cap.2,17-57p.

JULIANO, B.O.; FAO. **Rice in Human Nutrition**. FAO, Rome. Disponível em: <<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/t0567e/t0567e00.htm>>.

Acesso em: 2009.

KEEY, R. B. **Introduction to industrial drying operations**. Oxford: Pergamon Press, 1978.

KIM, J.C., MULLAN, B.P., HAMPSON, D.J., PLUSKE, J.R. **Effects of amylose content, autoclaving, parboiling, extrusion, and post-cooking treatments on resistant starch content of different rice cultivars**. *Aust J Agric Res*, 2006, 57:1291–6p.

KUNZE, O.R. **Fissuring of the rice grain after heated air drying**. *Trans. ASAE*, 1979, 22(5): 1197–1207p.

KUNZE, O.R.; CALDERWOOD, D.L. Systems of drying of rice. In: **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: Connecticut, 1980, 68-91p.

LASSERAN, J.C. **Princípios gerais de secagem**. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, v. 3, n. 3, 1978, 17- 46p,

LUZ, M. L. G. S. ; ELIAS, M. C. **Avaliação do Tempo de Temperagem para Arroz Parboilizado**. Revista Lavoura Arrozeira, Porto Alegre -RS, v.46, n.409, 1993, 3-7p.

LUZ, M.L.G.S. **Efeitos das condições de secagem complementar a parboilização de arroz sobre suas características industrial, comercial e de consumo**. Pelotas, 1991, 123p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, UFPel.

MARTINEZ, C., CUEVAS, F. **Evaluación de La calidad culinaria y molinera del arroz. guía de estudio**. ed. 3, Cali. 1989, 75p. (CIAT. Serie 04SR-07.01).

MATSUO, T.; HOSHIKAWA, K. **Science of the Rice Plant**. V. I, Morphology. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo, 1993.

MCKENZIE, B. A.; FOSTER, G.H. y DEFOREST, P.E. **Dryeration and bin cooling systems for grain**. Cooperative Extension Service, Purdue University, West Lafayette, Indiana, U.S.A. 1980, AE-107.

MCKENZIE, B.A.; FOSTER, G.H.; BOYES, R.T. & TOMPSON, R.A. **Better corn quality with high speed drying**. Dryeration. West Lafayette, ind., 1967, 20p. (Extension Service AE-72).

MENEGHETTI, V. L.. **Parâmetros industriais e qualidade de consumo do arroz na secagem e no armazenamento**. Pelotas, 2008. 92p. Dissertação (Mestrado).

- MILMAN, M. J. **Equipamentos para Pré-Processamento de Grãos**. Pelotas, 2002, 206p.
- MIRANDA, S. H. G. de; BRAGHETTA M. A. N. S.; SBRAVATTI, A.; MICHELLIN, P.. Escola Superior Luiz de Queiroz In: **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada/agromensal**, janeiro de 2009. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/agromensal/2009/01\\_janeiro/Arroz.htm](http://www.cepea.esalq.usp.br/agromensal/2009/01_janeiro/Arroz.htm)>
- MOREY, V.R., GUSTAFSON, R.J. AND CLOUD, H.A. **Combination High Temperature, Ambient-air Drying**. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1981, 24(2): 509-512p.
- MOSSMANN, A.P. **A review of basis concepts in rice-drying research**. *CRC Critical, Rev. Food Sci. and Nutr.* 1986, 25(1), 49-71p.
- MOTTA, W. A.; VILLELA, F. A.; ZIMMER, G. J. **Adaptação do método contínuo de secagem para sementes de arroz**. *Scientia Agrícola*, v.56, n.4, 1999, 1019-1025p.
- MUJUNDAR, A.S. **Some recent developments in drying technologies appropriate for postharvest processing**. *Int. J. Postharvest Technology and Innovation*, 2006, Vol. 1, N. 1, 76 – 92p.
- NEVES, M.J.B.; FORTES, M; MOREIRA, S.M.C.; PINHEIRO FILHO, J.: **Simulação físico-matemática do processo de seca-aeração**. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v.8, nº1 e 2, Viçosa – MG, 1983.
- NITZKE, J.A. **Terra de arroz**. Instituto de ciência e Tecnologia de Alimentos, UFRGS. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/icta/agronom/arroz/esqarroz.htm>>. Acesso em: 2009.
- NOGUEIRA JUNIOR, S.; TSUNECHIRO, A. **Produção Agrícola e Infra-Estrutura de Armazenagem no Brasil**. *Informações Econômicas*, SP, v.35, 2005, n.2, 7-18p.
- NOGUEIRA JUNIOR, S. **Investimentos na Armazenagem de Grãos**. Instituto de Economia Agrícola, Análises e Indicadores do Agronegócio, SP, v.3, n.4, 2008.
- OLIVEIRA, M.A.B. **Influência do tempo após a secagem no rendimento industrial do arroz irrigado**. *Lavoura arrozeira*, v. 45, n.402, 3-4p. 1992.
- OTEGBAYO, B.O., OSAMUEL, F., FASHAKIN, J.B. **Effect of parboiling on physico-chemical qualities of two local rice varieties in Nigeria**. *J Food Technol Africa*, 2001, 6:130–2.
- PARK, K.J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R.A., PARK, K.J.B.; **Conceitos De Processo e Equipamentos de Secagem**. Unicampi/Feagri, 2007. Manual técnico, 127p



- PARK, K.J.; NATSUMEDA, F.K.; DE OLIVEIRA, H.M. **Discontinuous rotary grain dryer**. In: 5th World Congress of Chemical Engineering, San Diego, California, U.S.A. July 14-18, 1996, 137-142p.
- PATINDOL, J., NEWTON, J., WANG, Y.J. **Functional properties as affected by laboratory-scale parboiling of rough rice and brown rice**. Journal of Food Science: Food Engineering and Physical Properties, 2008, Vol. 73, N. 8, pp. 370-377.
- PEREIRA, F.M.; **Grau de gelatinização e propriedades tecnológicas de arroz parboilizado**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, 2005.
- PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.R.M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 1 ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2003, 415p.
- PORTELLA, J.A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de Grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194p.
- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666p.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; MARTINAZZO, A.P.; RIBEIRO, R.M. **Contração volumétrica na difusão líquida durante o processo de secagem do arroz em casca**. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, v.30, n.2, 2005, 163-171p.
- RHIND, D. **The breakage of rice in milling**. Rev. Trop. Agric. 1962, 39(1), 19-38p.
- ROMBALDI, C.V. **Condições de secagem e tempo de armazenamento na qualidade industrial do arroz (*Oryza sativa*, L.)**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1988. 124p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, UFPEL, 1988.
- SABBAH, M.A.; FOSTER, G.H.; HAUGH, C.G. **Effect of tempering after drying on cooling shelled corn**. Transactions of the ASAE, v.15, 1972, 763 – 765p.
- SAUER, D.B. **Storage** of cereal grains and their products. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1992. 614p.
- SHEI, H. J.; CHEN, Y. L. Thin layer models for intermittent drying of rough rice. St. Paul, **Journal of food engineering**. v.76, n.4, p. 577- 581, jul.-aug.1999.
- SCOLARI, D.D.G. **Inovação tecnológica e desenvolvimento do agronegócio**. Revista de Política Agrícola, v. 4, 2006, 10-11p.

- SILVESTRE, M.P.C.; VIEIRA, C.R.; LOPES Jr, C.O.; SILVA, V.D.M. **Use of an Enzymatic Process for Extracting and Hydrolysing Rice Proteins Aiming Phenylalanine Removal.** International Journal of Food Engineering, v.5, 2009, 1-2p.
- SINGH, S.; KALIA, M.; MALHOTRA, S.R. **Effect of parboiling, hand-pounding and Machine-milling on Chemical Composition of Rice.** Journal of Food Science and Technology, v.36, 1999, 434-435p.
- SPIES, R.D.; HOSENEY, R.C. **Effect of sugars on starch gelatinization.** Cereal Chemistry, v. 59, 1982, 128-131p.
- SUJATHA, S.J.; AHMAD, R.; BHAT, P.R. **Physicochemical properties and cooking qualities of two varieties of raw and parboiled rice cultivated in the costal region of Dakshina Kannada, India.** Food Chem. 86 (2), 2004, 211-216p.
- THOMPSON, R.A. & FOSTER, G.H. **Dryeration-High speed drying with delayed aeration cooling.** ASAE, p. 67-843. 1969.
- WALTER, M. **Amido Resistente: Metodologias De Quantificação E Resposta Biológica Em Ratos.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L.A.. **Arroz: composição e características nutricionais.** Ciência Rural, Santa Maria, v.38, 2008, n.4, 1184-1192p.
- WISSET, L., SRZEDNICKI, G., DRISCOLL, R.H., NIMMUNTAVIN, C. AND SIWAPORNRAK, P. **Effects of high temperature drying on rice quality.** *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript*, FP 01 003. Vol. III, 2001.
- ZHENG X., LAN Y., LIU C., DING N. AND ZHAO T. **Effect of fissure in rice on taste quality of cooked rice.** Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1190. Vol. XI., March 2009, 1162-1190p.
- ZIMMER G.J. **Seca-aeração para Sementes de Arroz.** Pelotas, RS: UFPel, 1989, 48p. Dissertação (Mestrado).