

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



**PARÂMETROS INDUSTRIAIS E QUALIDADE DE CONSUMO DO
ARROZ NA SECAGEM E NO ARMAZENAMENTO**

VOLNEI LUIZ MENEGHETTI
Engenheiro Agrícola

PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
Março de 2008

VOLNEI LUIZ MENEGHETTI
Engenheiro Agrícola

**PARÂMETROS INDUSTRIAIS E QUALIDADE DE CONSUMO DO
ARROZ NA SECAGEM 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 Ciências

Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias
Co-Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Antunes

PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
Março de 2008

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

Meneghetti, Volnei Luiz

Parâmetros industriais e qualidade de consumo do arroz
na secagem e no armazenamento / Volnei Luiz Meneghetti –
Pelotas, 2008
89 f.

Dissertação (Mestrado). Ciência e Tecnologia
Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.
Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

1. Arroz
2. Tempo de Secagem
3. Eficiência Energética
4. Cocção.

Elias, Moacir Cardoso, orientador. Prof. Dr.

CDD

Banca examinadora:

Prof. Dr. Wolmer Brod Peres – FEA – UFPEL

Prof. Dr. Rafael Gomes Dionello –DFITO – FA – UFRGS

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

Aos meus pais Lino e Orieta

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor Moacir Cardoso Elias, pela orientação, incentivo e, principalmente, pela eterna compreensão, na amizade demonstrada.

Aos professores Manoel Shirmer e Álvaro Dias, pelos conhecimentos compartilhados e pela simpatia sempre presente.

A todos os colegas, bolsistas e estagiários do Laboratório de Pós-Colheita e Industrialização de Grãos, em especial a Elvio Aosani, Mauricio de Oliveira, Jeferson da Rocha, Fernanda Neves, Beti Helbig, Dejalmo Prestes, Jonis Gelain, Mateus Pino, William Krolow, Gustavo Cella, Alberto da Conceição Neto, pela solidariedade e convivência agradável ao longo do curso.

Aos colegas das Granjas 4 Irmãos, pelo apoio e amizade demonstrada.

Aos demais professores, funcionários, colegas e estagiários do DCTA, pelos vários ensinamentos e auxílios prestados.

À Simone pela compreensão e palavras de incentivo em todos os momentos.

Aos meus pais e familiares, pela paciência, fraternidade e carinho.

Acima de tudo a DEUS, o Mestre Supremo, que Ele continue abençoando a minha vida e iluminando a dessas pessoas.

RESUMO

MENEGHETTI, VOLNEI LUIZ, M.Sc., Universidade Federal de Pelotas, março de 2008. **Parâmetros industriais e qualidade de consumo do arroz na secagem e no armazenamento.** Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias. Co-Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Antunes

Foram estudados a eficiência energética de secagem, tempo do processo, ajustes de diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais de secagem, avaliando-se parâmetros industriais e de consumo, em grãos de arroz em casca, colhidos com umidade próxima a 20% e secados até 13%, com equipamento laboratorial, dotado de resistências elétricas para o aquecimento do ar, sob diferentes condições de relação de intermitência: 1:1, 1:2 e 1:4 entre a câmara de secagem e de equalização. Operado com o mesmo manejo de temperatura do ar de secagem, crescente de $70\pm 5^{\circ}\text{C}$, $90\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $100\pm 5^{\circ}\text{C}$, respectivamente na 1ª, 2ª e da 3ª até a penúltima hora, havendo redução gradual da temperatura do ar na última hora de operação. Imediatamente após a secagem e trimestralmente, até o nono mês de armazenamento dos grãos em sistema convencional, em sacaria de ráfia trançada, foram avaliados: grau de umidade, peso volumétrico, percentagem de inteiros e defeitos, além de características de consumo, em grãos beneficiados pelo processo convencional e por parboilização. Concluiu-se que: a) A relação de intermitência interfere na taxa horária de secagem dos grãos durante a operação; b) Para um mesmo manejo térmico, o aumento da relação de intermitência aumenta o tempo de secagem e o consumo de energia para o aquecimento do ar de secagem, mas diminui o consumo de energia por quantidade de grãos secados; c) O tempo necessário para a secagem de arroz em casca até o teor de umidade de 13%, foi de 5, 8 e 10 horas, para as relações de intermitência de 1:1, 1:2 e 1:4,

respectivamente; d) A equação proposta por Midilli é a que melhor representa a secagem intermitente de arroz em casca, independente da relação de intermitência; e) As relações de intermitência na secagem influenciam na integridade física, e na incidência de defeitos e nas propriedades sensoriais, mas não interferem no peso volumétrico durante o armazenamento e nem nos parâmetros de cocção; f) A parboilização e o aumento do tempo de armazenamento provocam intensificação de defeitos, de coloração e de odor no arroz independentemente da relação de intermitência utilizada na secagem dos grãos;

Palavra-chave: arroz, tempo de secagem, eficiência energética, cocção.

ABSTRACT

MENEGHETTI, VOLNEI LUIZ, M.Sc., Universidade Federal de Pelotas, March, 2008. **Industrial parameters and quality of rice consumption in the drying process and storing**. Adviser: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias.

It has been studied the energetic efficiency of drying, processing time, adjusting of different mathematical models to the experimental drying values, assessing the industrial parameters and consumption, in rough rice grains, collected under humidity of 20% and dried till 13%, with lab equipment, provided with electrical resistances for air heating, under different conditions of intermittence relation: 1:1, 1:2 and 1:4 between the drying chamber and equalization. Operating with the same air drying temperature of management, increasing of $70\pm 5^{\circ}\text{C}$, $90\pm 5^{\circ}\text{C}$ and $100\pm 5^{\circ}\text{C}$, respectively in the 1st, 2nd and 3rd until the penultimate time, having gradual reduction of air temperature in the last time of operation. Immediately after drying and quarterly, until the ninth month of grain storing in conventional systems, in plaited bags, it was evaluated: humidity degree, volumetric weight, percentage of intact and defects, besides the consumption features, in grains benefited by the conventional process and by parboilization. Conclusion: a) The relation of intermittence interferes in the time rate of grain drying during the operation; b) For the same thermal management, the increasing of intermittence relation increases the drying time and energy consumption for the drying air heating, but decreases the consumption of energy for quantity of grains dried; c) The necessary time for rough rice drying until humidity tenor of 13%, was of 5,8 and 10 hours, for the intermittence relations of 1:1, 1:2 and 1:4, respectively; d) The equation proposed by Midilli is the one which best represents the intermittent drying of rice, independently of intermittent relation; e) The intermittent relations in drying influence in the physical integrity, and in the incidence of defects and in the sensory proprieties, but do not

interfere in the volumetric weight during storing nor in the coction parameters; f) The parboilization and the increasing of storing time provoke intensification of defects, of coloring and odor in the rice independently of the relation of intermittence used in the rice drying process;

Key words: rice, drying, drying time, energetic efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo per capita de arroz beneficiado na Ásia, em kg/hab/ano, período entre 1982 e 2002.....	20
Figura 2 - Consumo per capita de arroz beneficiado e em casca no Brasil, em kg/hab/ano, período entre 1982 e 2002.....	21
Figura 3 - Consumo per capita de arroz beneficiado nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, em kg/hab/ano, período entre 1982 e 2002.....	21
Figura 4 - Fluxograma experimental.....	34
Figura 5 - Secador intermitente.....	35
Figura 6 - Condições psicrométricas do ar na operação de secagem com relação de intermitência de 1:1.....	37
Figura 7 - Condições psicrométricas do ar na operação de secagem com relação de intermitência de 1:2.....	38
Figura 8 - Condições psicrométricas do ar na operação de secagem com relação de intermitência de 1:4.....	39
Figura 9 - Temperatura da massa de grãos nas operações de secagens com relações de intermitência 1:1, 1:2 e 1:4.....	40
Figura 10 - Umidade da massa de grãos nas operações de secagens com relações de intermitência 1:1, 1:2 e 1:4.....	41
Figura 11 - Taxa horária de secagem nas operações de secagens com relações de intermitência 1:1.....	42
Figura 12 - Taxa horária de secagem nas operações de secagens com relações de intermitência 1:2.....	43
Figura 13 - Taxa horária de secagem nas operações de secagens com relações de intermitência 1:4.....	43
Figura 14 - Demanda de energia em kcal/kg de grão nas operações de secagens com relações de intermitência 1:1, 1:2 e 1:4.....	44
Figura 15 – Demanda proporcional de energia, componente da operação de secagem com relação de intermitência 1:1.....	46
Figura 16 – Demanda proporcional de energia, componente da operação de secagem com relação de intermitência 1:2.....	47
Figura 17 – Demanda proporcional de energia, componente da operação de secagem com relação de intermitência 1:4.....	47
Figura 18 - Valores experimentais da razão de umidade e do tempo de secagem para três relações de intermitência (1:1, 1:2, 1:4) durante a secagem intermitente de arroz.	52
Figura 19 - Tendência de distribuição dos resíduos para o modelo de Midilli, durante a secagem intermitente de arroz na relação de intermitência de 1:1, em função dos valores estimados da razão de umidade.....	54

Figura 20 - Tendência de distribuição dos resíduos para o modelo de Midilli, durante a secagem intermitente de arroz na relação de intermitência de 1:2, em função dos valores estimados da razão de umidade.....	55
Figura 21 - Tendência de distribuição dos resíduos para o modelo de Midilli, durante a secagem intermitente de arroz na relação de intermitência de 1:4, em função dos valores estimados da razão de umidade.....	55
Figura 22 - Valores experimentais de razão de umidade (RU) de grãos de arroz em casca e calculados pelas equações de Midilli, para relação de intermitência 1:1.....	56
Figura 23 - Valores experimentais de razão de umidade (RU) de grãos de arroz em casca e calculados pelas equações de Midilli, para relação de intermitência 1:2.....	56
Figura 24 - Valores experimentais de razão de umidade (RU) de grãos de arroz em casca e calculados pelas equações de Midilli, para relação de intermitência 1:4.....	56
Figura 25 - Representação do delineamento experimental.....	60
Figura 26 – Ficha para avaliação de cor, brilho e odor do arroz cozido, com escala não estruturada.....	68
Figura 27 – Ficha para avaliação de soltabilidade, firmeza e sabor do arroz cozido, com escala não estruturada.....	69
Figura 28 – Tempo de cocção de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional.....	79
Figura 29 – Tempo de cocção de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projeção da produção mundial de arroz (base casca), safra 2007/08.....	20
Tabela 2 - Valores calculados pela equação e resultados obtidos das três secagens.	45
Tabela 3 - Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas.....	50
Tabela 4 - Coeficientes de determinação (R^2), erros médio relativo (P, %), erros médio estimado (SE, decimal), e tendência de distribuição dos resíduos (Res), dos doze modelos analisados, para a secagem intermitente de arroz nas três condições de relação de intermitência.....	53
Tabela 5 – Condições psicrométricas ambientais da região de Pelotas e do armazém, durante o armazenamento dos grãos de arroz em casca, de junho de 2006 a fevereiro de 2007.....	70
Tabela 6 – Umidade (%) dos grãos de arroz em casca, sob três secagens, armazenados em sistema convencional*.....	71
Tabela 7 – Peso volumétrico (kg.m^{-3}) dos grãos de arroz em casca, sob três secagens, armazenados em sistema convencional*.....	72
Tabela 8 – Grãos inteiros (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*.....	73
Tabela 9 – Grãos inteiros (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*.....	73
Tabela 10 – Defeitos totais (%), em grãos de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*.....	74
Tabela 11 – Defeitos totais (%), em grãos de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*.....	75
Tabela 12 – Grãos inteiros sem defeitos (%), de arroz, sob três secagens, armazenados, beneficiados por processo convencional*.....	76
Tabela 13 – Grãos inteiros sem defeitos (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados por processo parboilizado*.....	76
Tabela 14 – Rendimento volumétrico (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*.....	78
Tabela 15 – Rendimento volumétrico (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*.....	78
Tabela 16 - Rendimento gravimétrico (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*.....	78
Tabela 17 - Rendimento gravimétrico (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*.....	79

Tabela 18 – Cor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*	81
Tabela 19 – Cor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*	81
Tabela 20 – Brilho do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*	81
Tabela 21 – Brilho do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*	81
Tabela 22 – Odor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*	82
Tabela 23 – Odor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*	82
Tabela 24 – Soltabilidade do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*	82
Tabela 25 – Soltabilidade do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*	82
Tabela 26 – Sabor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*	83
Tabela 27 – Sabor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*	83

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	7
RESUMO	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.3.2 Secagem intermitente	24
2.4 Armazenamento	28
3.1 EXPERIMENTO I - DINÂMICA OPERACIONAL DA SECAGEM	32
3.1.1 Introdução	32
3.1.2 Material e Métodos	33
3.1.2.1 Material Experimental	33
3.1.2.2 Métodos	33
3.1.3 Resultados e Discussão	37
3.1.3.1 Variáveis psicrométricas do ar	37
3.1.3.2 Temperatura da massa de grãos	39
3.1.3.3 Umidade da massa de grãos	40
3.1.3.4 Taxa horária de secagem	41
3.1.3.5 Demanda energética na secagem	44
3.1.3.5.1 Demanda de energia para aquecimento do ar	44
3.1.3.5.2 Demanda de energia para movimentação dos grãos e do ar	45
3.1.3.6 Modelos matemáticos para a secagem	48
3.1.3.6.1 Fundamentação	48
3.1.3.6.2 Aplicação dos modelos	52
3.1.4 Conclusões	57
3.2 EXPERIMENTO II - RELAÇÃO DE INTERMITÊNCIA NA SECAGEM, TEMPO DE ARMAZENAMENTO E PROCESSO INDUSTRIAL NA QUALIDADE DE GRÃOS DE ARROZ	58
3.2.1 Introdução	58
3.2.2 Material e Métodos	59
3.2.2.1 Material	59
3.2.2.2 Métodos Experimentais	60
3.2.2.3 Avaliações	61
3.2.2.3.1 Umidade	61
3.2.2.3.3 Operações de Beneficiamento Industrial	61
3.2.2.3.3.1 Processo Convencional	61
3.2.2.3.3.2 Processo Parboilizado	63
3.2.2.3.4 Desempenho Industrial	64
3.2.2.3.5 Parâmetros de Cocção	65
3.2.2.3.5.1 Rendimento Volumétrico	66

3.2.2.3.5.2 Rendimento gravimétrico.....	67
3.2.2.3.6 Atributos Sensoriais	67
3.2.3 Resultados e Discussão.....	70
3.1.3.1 Umidade.....	70
3.2.3.2 Peso volumétrico.....	72
3.2.3.3 Desempenho industrial.....	72
3.2.3.4 Parâmetros de cocção.....	77
3.2.3.5 Avaliação sensorial.....	80
3.2.4 Conclusões.....	84
REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

O arroz é o principal componente da dieta básica da população mundial. Segundo a FAO (2008), o arroz é responsável por 20% da fonte de energia alimentar da população mundial, enquanto trigo fornece 19% e o milho 5%. Somente nos países asiáticos, mais de dois bilhões de habitantes têm o arroz e seus derivados como fontes de 60 a 70% das calorias ingeridas diariamente. Este cereal é, portanto, um alimento de extrema importância para a segurança alimentar da população mundial.

Na produção mundial de arroz, o Brasil se destaca como o maior produtor entre os países ocidentais. Apesar das reduções de produção em algumas safras nos últimos anos, devido a adversidades climáticas, a produção brasileira de arroz, vem apresentando uma tendência de crescimento, em função, principalmente, do constante incremento da produtividade. Segundos dados disponibilizados pela Conab (2008), a produção brasileira apresentou aumento de aproximadamente 7,7% em relação à safra anterior. O Rio Grande do Sul, principal estado produtor, onde predomina o sistema de cultivo irrigado, produz mais de 60% do arroz nacional, sendo que a cadeia produtiva do arroz representa R\$ 2,9 bilhões ao ano no PIB, gerando 232.000 empregos diretos e indiretos. (IRGA, 2008)

Por outro lado, o consumo brasileiro de arroz vem aumentando num ritmo inferior ao crescimento da produção. Nos últimos 20 anos, o aumento da população brasileira vem sendo compensado por uma redução no consumo per capita do cereal, conseqüência de uma série de modificações nos padrões e hábitos de consumo da população (FAO, 2004)

Por ser um produto sazonal e de consumo constante ao longo do ano, o domínio das tecnologias de secagem e armazenamento são fundamentais para sua melhor utilização.

Os problemas encontrados na secagem de arroz com casca são similares aos de outros cereais, porém o arroz exige operação mais controlada, em razão da suscetibilidade a quebras durante e após a secagem. Durante a secagem do arroz, pode haver uma considerável perda, seja pela sua característica de sensibilidade, método de secagem utilizado, pelo manejo térmico do ar de secagem, ou pelos controles da operação e do equipamento.

O rendimento de grãos inteiros é o principal parâmetro de efeito imediato a ser considerado 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, ao qual o produto é submetido, afetam diretamente o beneficiamento, interferindo, principalmente, em reduções no rendimento industrial e no valor comercial, além de diminuir a conservabilidade durante o armazenamento e dificultar as operações de preparo para o consumo.

Objetivando ampliar o acervo de informações técnicas e científicas sobre operações de pós-colheita de arroz, visa-se com este trabalho: a) verificar o tempo de operação, a eficiência energética e a aplicação de modelagem matemática na secagem intermitente de arroz em casca, sob diferentes condições de relação de intermitência; b) estudar efeitos da relação de intermitência na secagem, do processamento industrial e do tempo de armazenamento sobre a qualidade de grãos de arroz armazenados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância e aspectos evolutivos

O arroz é considerado pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) como o alimento mais importante para a segurança alimentar do mundo. Além de fornecer um excelente balanceamento nutricional é uma cultura extremamente rústica, o que faz ela também ser considerada a espécie de maior potencial de aumento na produção para combate a fome no mundo (GOMES et al, 2004).

Logo após o trigo, o arroz ocupa o segundo lugar no ranking mundial da produção de cereais (CONAB, 2008). A produção e o processamento do arroz (Tabela 01) são encontrados em todos os continentes.

A Ásia é responsável por aproximadamente 90% da produção mundial. Na América Latina, o Brasil se destaca como o maior produtor. O agronegócio do arroz no Rio Grande do Sul envolve a produção de anualmente cerca de 7 milhões de toneladas, sendo considerado estabilizador da safra nacional, responsável por cerca de 60% da produção brasileira, a maior entre os Estados da Federação. Esta produção representa R\$ 2,9 bilhões ao ano no PIB, (Produto Interno Bruto), gerando 232 mil empregos diretos e indiretos no Estado (IRGA, 2008). Cultivado em torno de 1 milhão de hectares, apresenta uma produtividade média em de 6.500 kg por hectare, próxima das obtidas em países tradicionais no cultivo de arroz irrigado, ficando pouco abaixo das obtidas nos EUA, Austrália e Japão (ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ, 2008).

Tabela 1 – Projeção da produção mundial de arroz (base casca), safra 2007/08

Posição	Países	Produção (mil ton)	Participação (%)
1	China	190.365	30,4
2	Índia	138.180	22,1
3	Indonésia	52.185	8,3
4	Bangladesh	41.748	6,7
5	Vietnã	34.194	5,5
6	Tailândia	27.195	4,3
7	Mianmar	16.611	2,7
8	Filipinas	15.288	2,4
9	Brasil	12.054	1,9
10	Japão	11.657	1,9
11	Estados Unidos	9.282	1,5
12	Paquistão	7.938	1,3
13	Coréia do Sul	6.480	1,0
14	Egito	6.449	1,0
15	Camboja	5.990	1,0
16	Nigéria	4.410	0,7
17	Nepal	4.116	0,7
18	Madagascar	3.387	0,5
19	Sri Lanka	3.234	0,5
20	Irã	3.202	0,5
21	Peru	2.499	0,4
22	União Eropéia	2.471	0,4
	Demais Países	26.239	4,2
	Mundo	625.173	100,0

Fonte: FAO, 2008

Intimamente agregado a cultura da região, o consumo *per capita* de arroz também é destaque nos países asiáticos, sendo muito superiores aos demais países ocidentais, havendo acentuada queda desde o início da década de 90, devido ao processo de ocidentalização dos hábitos alimentares da população. A Figura 01 traz o consumo médio *per capita* de arroz beneficiado na Ásia nos anos de 1982 a 2002.

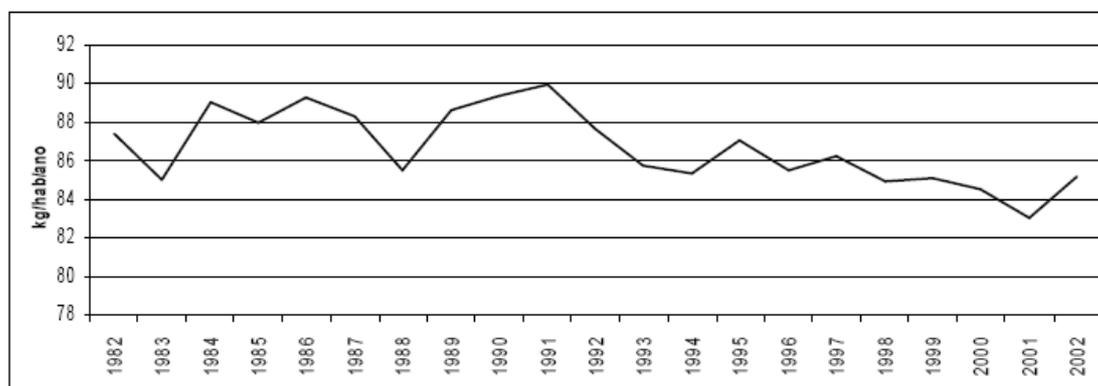


Figura 1 - Consumo *per capita* de arroz beneficiado na Ásia, em kg/hab/ano, período entre 1982 e 2002.

Fonte: FAOSTAT, 2004

Conforme pode ser observado na Figura 02, o consumo *per capita* de arroz beneficiado no Brasil teve uma redução de aproximadamente 14% nos últimos 20 anos, o que corresponde a 5,7 kg/hab/ano. Este valor é considerado alto, se comparado com o consumo per capita dos países desenvolvidos (Figura 03).

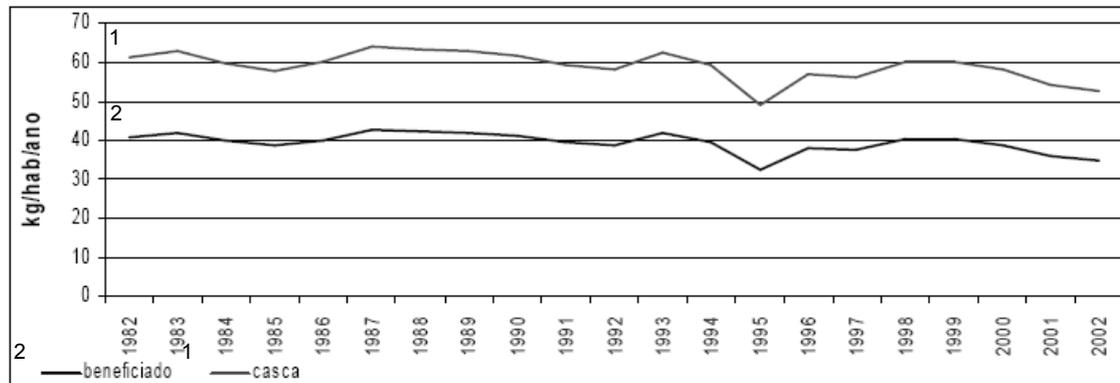


Figura 2 - Consumo *per capita* de arroz beneficiado e em casca no Brasil, em kg/hab/ano, período entre 1982 e 2002.

Fonte: FAOSTAT, 2004

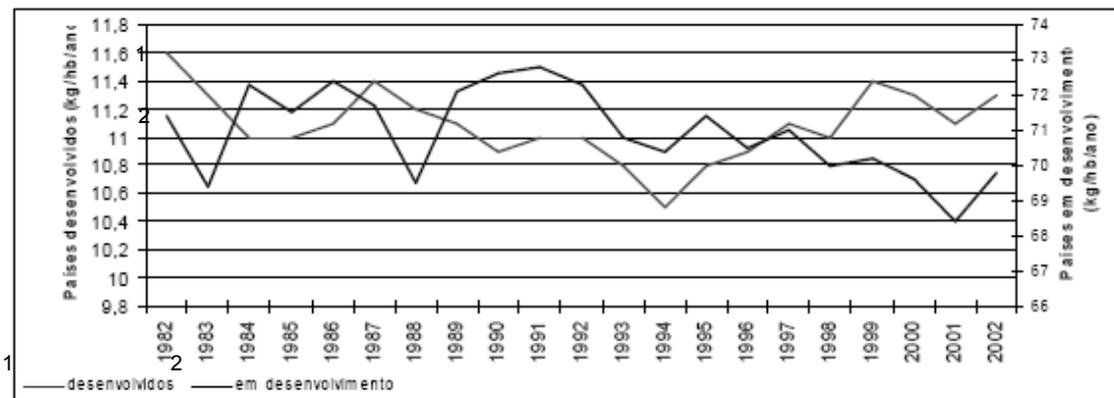


Figura 3 - Consumo per capita de arroz beneficiado nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, em kg/hab/ano, período entre 1982 e 2002.

Fonte: FAOSTAT, 2004

Apesar de ser considerado um alimento importante na alimentação humana, o cereal 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 componentes que possui (HELBIG, 2007).

2.2 Características do grão

Representando 89 a 93% da cariopse, o endosperma é o principal componente do arroz branco polido, sendo formado por grânulos de amido, algumas proteínas e outros constituintes. Segundo Gomes et al. (2004), o arroz fornece 20%

da energia e 15% da proteína necessárias ao homem e se destaca pela sua fácil digestão.

A composição química do arroz varia em função das condições de pré-armazenamento, de armazenamento, da variedade e do sistema de beneficiamento (AMATO e ELIAS, 2005). O arroz com casca contém, em média, de 6,7 a 8,3% de proteínas, de 2,1 a 2,7% de lipídeos, de 3,4 a 6,0% de cinzas e de 70,5 a 84,2% de carboidratos. O farelo obtido pelo polimento do arroz esbramado é constituído de 13,0 a 14,5% de lipídeos, de 6,1 a 8,5% de cinzas e, 48,3 a 55,4% de carboidratos (DENARDIN et al., 2005; ZANÃO et al., 2006; LAMBERTS et al., 2006).

Os triglicerídeos são os principais constituintes, contribuindo com 85% dos lipídeos no farelo e 60% no endosperma. Quantitativamente, os principais ácidos graxos no óleo de arroz são oléico, linoléico e palmítico, representando cerca de 43, 36 e 14% do total, nesta ordem (GONÇALVES, 2005).

O conteúdo médio de proteína do arroz sem casca encontra-se na faixa de 8,0 a 9,0%, havendo redução neste teor na medida em que vão sendo retiradas camadas superficiais dos grãos, porque o teor de proteína diminui progressivamente da periferia para o interior da cariopse. Há correlação positiva entre o conteúdo protéico e o rendimento de grãos inteiros, havendo maior resistência mecânica nos cultivares com maior teor protéico (AMATO, 2002).

O amido, principal carboidrato do arroz, constitui cerca de 90% do produto branco polido. A amilopectina representa de 63 a 92% de todo o amido e a amilose, de 8 a 37% (HOSENEY, 1991). Todas essas características benéficas podem ser comprometidas pelas inadequações técnicas e/ou operacionais que vão desde a produção até o consumo, passando, principalmente pela secagem, armazenamento e industrialização.

2.3 Secagem

2.3.1 Princípios e aspectos operacionais

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, sendo considerada como meio direto no combate a microrganismos e indireto no combate a pragas.

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 ambiente (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 dos limites determinados, em virtude dos danos físico-químicos e biológicos que podem causar aos grãos (MILMAN, 2002).

Quando o aquecimento acontece no grão, também aumentam a evaporação e as pressões internas. Enquanto o grão perde água, ele tem seu tamanho reduzido, graças à compressão externa, proveniente da pressão atmosférica e que aumenta à medida que vai secando. Se aquecido, enquanto seca, contrariamente, sua pressão interna aumenta e as camadas mais centrais do grão tendem à expansão. A superfície do arroz não tem plasticidade ou capacidade elástica para suportar tensões mecânicas muito elevadas, podendo nesses casos sofrer fissuras na superfície, trincamento ou até mesmo quebra (ruptura do grão). Quanto mais desequilibrados forem os fenômenos de evaporação e de difusão, maiores serão os danos (BROOKER et al., 1992; RESENDE et al., 2005).

O processo de secagem pode ser acelerado ao se aquecer o ar, aumentando sua entalpia (energia), o que acarreta aumento da sua capacidade de sorver água dos grãos, no processo de aquecimento dos grãos concomitantemente com seu resfriamento. A vantagem principal é o ganho de tempo. As desvantagens principais são o custo de energia necessária para aquecer o ar e o prejuízo que se pode causar ao grão devido à elevação de temperatura (HOSENEY, 1991).

Dahlberg (1978) enfatiza a importância da temperatura de bulbo úmido para gerenciar o secador de grãos, porque é necessário ter uma boa eficiência de secagem e conservação de energia; e isto é teoricamente obtido, quando a temperatura do bulbo úmido é a temperatura do ponto de orvalho, isto é o ar sai totalmente saturado; Afirma também, que praticamente a máxima capacidade de secagem é obtida quando a temperatura de saída do ar varia entre 5,5 e 8,3 °C acima da temperatura do bulbo úmido.

Bakker-Arkema (1994) relata, que o desempenho de operação, a qualidade do grão e o consumo de energia de um secador de grãos é afetado por agentes físicos, biológicos, humanos e auxiliares.

Os principais fatores que afetam o desempenho de secagem são clima e condições ambientais. O clima determina a época e o grau de umidade esperada na colheita, que varia de região para região. 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.

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 de secador. O trabalho do operador do secador é sazonal: requer dias de 12 horas com 1 hora de repouso, 7 dias por semana, durante 2 a 3 meses, e seu treinamento é normalmente por tentativa e erro. Portanto, não surpreende a operação de secagem nas unidades armazenadoras estar longe da ótima. A operação afeta o desempenho do secador com respeito a desempenho, ao consumo de energia e à qualidade de grão. 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.

2.3.2 Secagem intermitente

Após a colheita, os grãos devem ser submetidos à pré-limpeza, antes da secagem. Quando eficientemente realizada reduz os riscos de incêndio, facilita a movimentação do ar e dos grãos, permite a uniformização da secagem e reduz custos, já que os materiais estranhos ou impurezas não estarão presentes para serem secos, diminuindo as fontes de inóculo de microrganismos e de pragas, cujas presenças são indesejáveis na classificação e na conservação posterior (ELIAS, 2007).

O método intermitente é caracterizado pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de grãos também em movimento, promovida pela recirculação do grão no secador. Com isto a difusão da água do centro para a periferia do grão, e a evaporação da água superficial se dá de uma maneira mais branda e equilibrada. (ELIAS, 2002).

Grãos sensíveis a choques térmicos como os grãos de arroz, quando submetidos à alternância de ar aquecido e ar com temperatura ambiente, têm aumentos de fissuras e, ou 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).

Para a secagem intermitente são utilizados os secadores intermitentes. O processo ocorre com movimentação do arroz e do ar de secagem, que mantém períodos de contato e não contato alternadamente.

O equipamento é constituído de duas câmaras: uma de secagem, onde ocorrem as trocas de energia e de matéria durante o contato do ar insuflado ou succionado com o arroz, e outra de equalização, onde os grãos permanecem sem contato com o ar de secagem. Na câmara de secagem o ar cede energia térmica, se resfria, e absorve na forma de vapor, a água periférica que evapora do grão. Na câmara de equalização, o repouso permite que a água mais interna do arroz migre para a sua periferia, predominantemente por difusão.

De acordo com o modelo de secador (relação de volumes entre as câmaras de secagem e equalização), com o fluxo e a temperatura do ar de secagem, com o fluxo do arroz e com a velocidade de secagem imprimida durante a operação, a relação entre o tempo de exposição do arroz ao ar aquecido e o tempo de repouso será maior ou menor (relação de intermitência), sendo encontradas nas unidades de beneficiamento, diversas relações, tais como 1:15, 1:10, 1:6 e 1:2, sendo classificados, por alguns autores, como secadores intermitentes rápidos ou intermitentes lentos (ELIAS, 2002, MILMAN, 2002).

Desde que a temperatura do ar de secagem não seja muito elevada, normalmente não superior a 115°C, nem muito baixa, normalmente não inferior a 70°C, este é um sistema que permite obter bons resultados, embora exija maiores investimentos e uso de tecnologia mais sofisticada do que comparado a outros métodos. Pelas características técnicas, operacionais e econômicas, o sistema intermitente é o mais recomendável para a secagem do arroz, devendo ser evitada a remoção brusca de água, que deve ser harmônica durante todo o processo, com temperatura do ar de secagem de no máximo 110°C, para controlar os danos térmicos e mecânicos (BARBOSA, 2005).

A secagem com temperaturas crescentes do ar é uma operação mais branda do que a secagem com temperatura constante, e ocasiona menores prejuízos físico-

químicos e biológicos ao arroz, pois a evaporação e a migração interna da água é mais equilibrada, a velocidade de remoção de água é menor e também são menores as temperaturas atingidas pela massa de arroz durante a secagem.(ROMBALDI, 1988; BOEMEKE, 2000).

2.3.3 Efeitos da secagem sobre a qualidade

Mantendo-se constante o número de passagens pelo secador, o aumento da temperatura do ar aumenta a velocidade de secagem, e reduz a percentagem de grãos inteiros, sendo mais limitante o efeito da temperatura do ar de secagem sobre o rendimento de engenho do que o dano mecânico causado pela movimentação do arroz durante a secagem (MARTINEZ, 1968 *apud* ELIAS, 2000).

Shei e Chen (1999) estudando a secagem de arroz em casca pelo processo intermitente em camadas finas, com temperatura do ar de secagem variando entre 35 e 45°C, umidade absoluta do ar variando entre 10 e 26 g/kg ar seco, intervalo de tempo de secagem variando entre 5 a 15 minutos, e intervalo de tempo de temperagem variando entre 40 a 120 minutos, concluíram que um tempo de secagem mais curto e um tempo de temperagem mais longo produzem menos danos no grão.

Barbosa et al. (2006), verificaram os efeitos da secagem intermitente com temperaturas gradualmente crescentes do ar de 70, 90 e 110±5°C e da secagem estacionária em silo-secador com ar pouco aquecido, à temperatura de 30±5°C sobre o desempenho industrial dos grãos de arroz, e concluíram que ambos os métodos são adequados para a secagem de grãos de arroz, e que os menores percentuais de grãos inteiros são observados imediatamente após a secagem, independentemente do método utilizado.

Abud-Archila et al. (2000) afirmam que em países de clima temperado como a França, a secagem do arroz é uma das principais causas de fissuras. Estas fissuras virtualmente invisíveis no arroz em casca, conduzem a relações de quebras altas após o beneficiamento, e concluem que altas taxas de evaporação da umidade dos grãos são mais danosas que altas temperaturas da massa de grãos, ou seja que o rendimento de grãos inteiros não é afetado pela temperatura elevada da massa de grãos se a capacidade evaporativa do ar se mantiver baixa.

Ao determinar o rendimento do arroz após secagem com temperaturas de 50, 60, e 70°C e períodos de repouso de 30, 60, 120 e 180 minutos, entre as passagens

pelo secador, Faroni (1983), verificou que o maior percentual de grãos inteiros de arroz beneficiado (58,8%) foi obtido em secagem com ar a temperatura de 50°C, e período de repouso de 180 minutos. A secagem intercalada com períodos de repouso entre as passagens pelo secador causa um aumento acentuado no rendimento final de grãos inteiros de arroz.

Analisando o tempo de espera de secagem de arroz, cultivares BR-IRGA 410 e EMBRAPA 7, Elias (1998), verificou que o aumento do tempo de espera acentua as perdas na qualidade de grãos e sementes, afetando diferentemente germinação, vigor e qualidade de grãos, que se intensificam com o aumento do tempo de armazenamento.

Elias et al. (2006), examinando os efeitos imediatos e latentes em parâmetros qualitativos de arroz submetidos a três condições de secagem intermitente: I) temperaturas crescentes do ar de 70, 90 e 110±5°C, com relação de intermitência de 1:3; II) temperaturas crescentes do ar de 70, 90 e 110±5°C, com relação de intermitência de 1:1,5; III) temperatura constante do ar de 90±5°C durante toda a operação de secagem. Concluíram que, aumentando a relação de intermitência entre as câmaras de secagem e de equalização, aumentam o tempo de operação e o consumo de energia para o aquecimento do ar, mas diminuem a taxa de secagem e o consumo de energia por quantidade de grãos secados; Há redução significativa no rendimento de grãos inteiros, imediatamente após a secagem, sendo essa redução menos acentuada quando o ar é aquecido gradualmente;

O rendimento de grãos inteiros e quebrados, é o principal parâmetro considerado 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, aos quais o produto é submetido, afetam diretamente o beneficiamento, interferindo, principalmente, na porcentagem de grãos inteiros obtidos (CANPELLE et al., 1992).

Segundo Brooker et al. (1992), a formação de trincas é devida ao gradiente de umidade que se forma no interior do grão, do centro para a periferia, o qual, ao se tornar muito elevado, conduz ao aparecimento de tensões que podem trincar o grão.

Os danos mais freqüentemente observados quando a secagem com ar aquecido não for convenientemente controlada 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).

Para o arroz que se destina ao beneficiamento direto, sem ser armazenado, recomenda-se, após a secagem e antes do beneficiamento propriamente dito, deixar em repouso os grãos de arroz 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 chama de temperagem ou tempo de têmpera (LUZ et al., 1993).

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 processo (KUNZE e CHOUDHURY, 1972; CALDERWOOD, 1980).

2.4 Armazenamento

A forma mais comum de armazenagem de cereais e leguminosas é a do grão vivo. Este contém uma alta concentração de substâncias nutritivas e é fácil de armazenar graças a seu baixo teor de água (GWINNER, 1997).

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).

O tipo de manutenção a aplicar, sua periodicidade e intensidade, fica na dependência de resultados observados ao longo do período de armazenamento, das medidas de controle de qualidade obtidas em testes, onde fatores como variação de umidade relativa e temperatura do ar, da umidade e temperatura do grão, bem como a avaliação do grau de desenvolvimento de microrganismos, de insetos e de ácaros, a presença de roedores e a variação de acidez do óleo, entre outros, devem ser considerados (ELIAS, 2002).

O grau de umidade do grão depende da umidade relativa do ar que o circunda. No momento em que as pressões de vapor da água contida na superfície do grão e do vapor d'água do ar circundante se igualam, não há mais variação de

umidade, mas o equilíbrio higroscópico. Outros fatores influem nesta relação, como a temperatura do ar, efeito da histerese e a composição química do grão, ou seja, diferentes espécies não mantêm o mesmo grau de umidades de equilíbrio sob as mesmas umidades relativas do ar (HARRINGTON, 1973; LASSERAN, 1978; ELIAS, 2002).

Mesmo não tendo boa condutibilidade térmica, mas por serem organismos vivos, com estruturas intra e intergranular porosas e composição química que lhes confere higroscopicidade, os grãos de arroz estão em constantes trocas de calor e de umidade com o ar ambiente. Assim, pelo sistema convencional de armazenamento, os grãos são expostos aos efeitos das variações das características psicrométricas do ar ambiente (ELIAS, 2007).

No armazenamento, além das alterações decorrentes do metabolismo do próprio arroz, há o metabolismo de microrganismos associados, principalmente fungos, cujos principais danos causados são mudanças de coloração, desgaste das reservas nutritivas, alterações na estrutura dos carboidratos, lipídeos, proteínas e vitaminas, produção de toxinas, aquecimento dos grãos, exalação de odores desagradáveis e presença dos próprios microrganismos, com redução da capacidade germinativa e de vigor das sementes e aumento de defeitos nos grãos (FAGUNDES, 2005).

A qualidade das sementes e/ou dos grãos de arroz não pode ser melhorada; pode ser apenas preservada durante o armazenamento. Uma massa de sementes ou de grãos, que apresente baixa qualidade inicial, poderá ser, no máximo, mantidas suas características. 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).

3 EXPERIMENTOS

O trabalho foi dividido em dois experimentos. No Experimento I foram avaliados aspectos da secagem, enquanto que no Experimento II foram avaliados parâmetros de conservabilidade no armazenamento dos grãos.

O Experimento I, dedicado à secagem é composto por avaliação dos parâmetros da dinâmica da secagem intermitente sob três condições de relação de intermitência: 1:1, 1:2 e 1:4, e modelagem matemática, sendo os resultados aplicados em doze modelos: Midilli, Page, Newton, Exponencial de Dois Termos, Dois Termos, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis Modificado, Aproximação da Difusão, Wang e Singh, Verna, Logarítmico e Logistic.

O experimento II é dedicado a avaliar efeitos da relação de intermitência, do armazenamento e do beneficiamento sobre a qualidade dos grãos. No primeiro, terceiro, sexto e nono mês de armazenamento. Foram analisados umidade, peso volumétrico, desempenho industrial, parâmetros de cocção e atributos sensoriais nos grãos secados em secador intermitente com relação de intermitência de 1:1, 1:2 e 1:4, armazenados em condições controladas de $17^{\circ}\text{C}\pm 2$ e $70\%\pm 3\%$ respectivamente de temperatura e umidade relativa do ar e beneficiados no processo convencional e parboilizado.

Todas as análises relativas as três secagens, foram feitas com base na Análise Temporal com Regressão Polinomial, com gráficos de dispersão, onde o R^2 da curva de tendência corresponde ao percentual de fidelidade de aproximação da curva com utilização do Microsoft Excel 2007, operando no sistema operacional Windows XP.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foram realizadas análise de regressão não-linear pelo método Simplex e Quasi-Newton, utilizando-se o

programa computacional STATISTICA 6.0, sendo os valores dos parâmetros dos modelos, estimados em função da temperatura do ar de secagem.

Os resultados experimentais foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). O software utilizado foi o SAS Institute.

3.1 EXPERIMENTO I - DINÂMICA OPERACIONAL DA SECAGEM

3.1.1 Introdução

A secagem é o processo mais econômico para manutenção da qualidade de grãos durante a armazenagem. Consiste na remoção de parte da água que os grãos apresentam depois da maturação fisiológica. A umidade final desejada é aquela correspondente ao valor máximo com a qual o produto pode ser armazenado por períodos pré-determinados, em condições ambientais definidas, sem que ocorra deterioração ou redução de qualidade.

A importância da secagem de produtos agrícolas aumenta com o incremento da produção devido a alguns fatores como permitir antecipação a colheita e armazenamento dos produtos, durante períodos mais longos, sem o risco de deterioração. Também permite manter o poder germinativo das sementes durante longo período, controlar o desenvolvimento de insetos e microrganismos, minimizando perdas do produto.

Na secagem intermitente de grãos de arroz, é comum o emprego de temperaturas elevadas, podendo atingir acréscimos de 80°C ou mais em relação à temperatura ambiente. Silva (2000) relata que na secagem com ar em temperaturas elevadas, o consumo de energia, pode superar os 50% do total da energia consumida na cadeia produtiva dos grãos, sendo a energia um dos insumos de maior significado econômico na atividade.

Vários parâmetros estão relacionados ao custo de secagem de grãos, como a energia necessária para aquecer e movimentar o ar através da massa de grãos e a fornecida aos equipamentos para movimentação do produto, os gastos com mão-de-obra, manutenção e depreciação de equipamentos e instalações, os encargos financeiros e a quebra técnica (MILMAN, 2002; ELIAS, 2002, 2008). Em estudos sobre a lucratividade de investimentos, dois enfoques básicos devem ser utilizados:

a análise do investimento e análise de custo. O primeiro fundamenta-se na teoria de investimentos enquanto o segundo se apóia em custos de produção.

Inadequadamente, na seleção dos secadores de grãos normalmente são observados apenas suas capacidades estática e dinâmica. São no mínimo tão relevantes outros fatores envolvidos na relação existente entre o manejo térmico, a qualidade final do produto, a eficiência energética e o tempo de operação (BROOKER et al., 1992).

Nas diretrizes do Programa Energético Brasileiro (ELETROBRÁS, 2008), ressaltam-se como prioridades, entre outras, as pesquisas em conservação de energia.

Objetivou-se, com o trabalho, estudar efeitos das relações de intermitência na secagem intermitente de grãos de arroz em casca com o tempo e a eficiência energética da operação.

3.1.2 Material e Métodos

3.1.2.1 Material Experimental

Foi utilizado arroz, em casca, classe grãos longo finos, produzido em sistema irrigado na região sul do Rio Grande do Sul.

A colheita dos grãos, com umidade próxima a 20%, foi feita com colhedora automotriz, seguida da pré-limpeza, realizada em máquinas de peneiras planas, sendo então realizados os experimentos de secagem e conservabilidade no armazenamento. Os experimentos foram executados nas instalações do Laboratório de Pós Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

3.1.2.2 Métodos

As operações realizadas seguiram o manejo operacional do fluxograma da Figura 4.

De cada saco foram coletadas amostras de 200 gramas em cinco pontos, com um calador septado de 60 centímetros de comprimento, numa adaptação da metodologia proposta por Silva et al (1995), sendo as amostras homogeneizadas antes da determinação de impurezas, matérias estranhas e umidade;

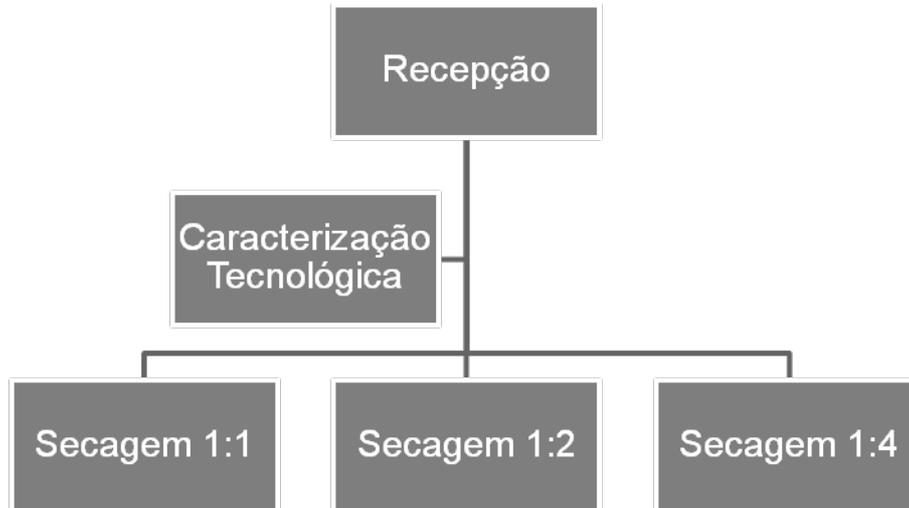


Figura 4 - Fluxograma experimental

Após a recepção do arroz pré-limpo em equipamentos de escala industrial, as amostras foram imediatamente submetidas à secagem intermitente sob diferentes condições de relação de intermitência: 1:1, 1:2 e 1:4, entre a câmara de secagem e de equalização, em três repetições, com ar em temperatura crescente de $70\pm 5^{\circ}\text{C}$, $90\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $100\pm 5^{\circ}\text{C}$, respectivamente na 1ª, 2ª e da 3ª até a penúltima hora, havendo redução gradual da temperatura do ar na última hora da operação.

Foi utilizado um secador intermitente piloto, modelo Vitória Laboratório, de câmaras cilíndricas e fundo cônico centrado (Figura 5), com os seguintes parâmetros operacionais básicos:

- capacidade estática do funil inferior: 40 kg;
- capacidade estática da câmara de secagem: 80 kg;
- capacidade estática da câmara de equalização: 40-120- 280 kg;
- capacidade estática total: 400 kg;
- vazão do ventilador centrífugo: $196 \text{ m}^3\text{ar/h}$;
- vazão específica de secagem: $1470 \text{ m}^3 \text{ de ar/h / m}^3 \text{ de grão}$;
- espessura da camada de grãos na câmara de secagem: 178 mm;
- capacidade do elevador: 752 kg/h.

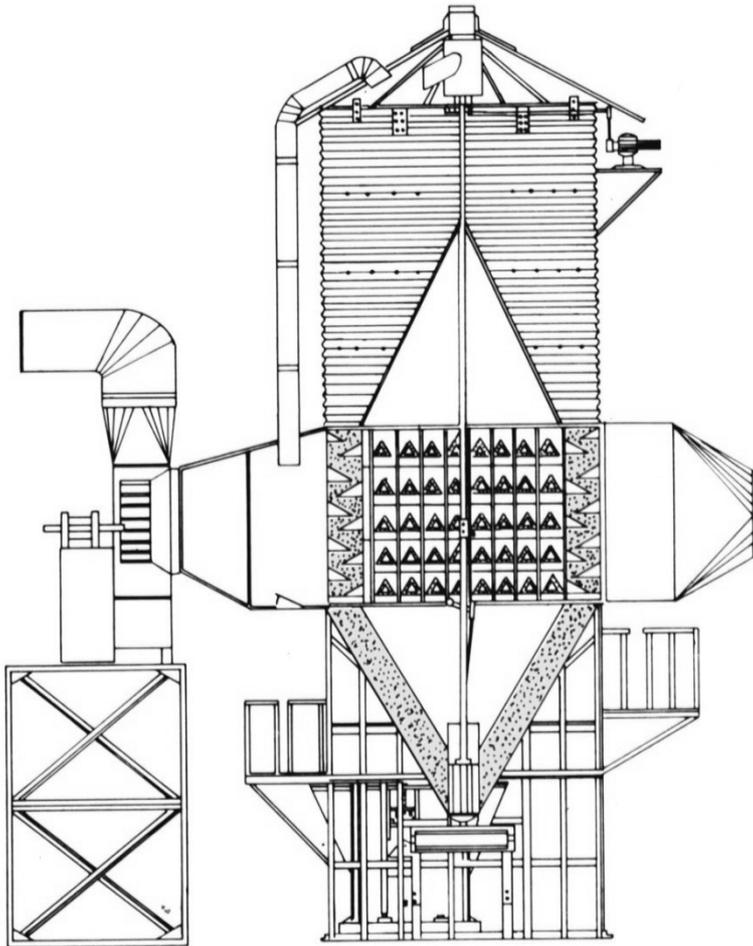


Figura 5 - Secador intermitente

O calor de aquecimento do ar foi gerado por oito resistências elétricas monofásicas de 700 W, cada, instaladas na curva de calor da câmara de secagem, das quais seis eram comandadas por termostato (precisão $\pm 5^{\circ}\text{C}$) de acionamento automático. Duas permaneciam sempre ligadas durante as secagens para evitar choque térmico nos grãos, a cada vez que o termostato desligava as demais resistências.

Na primeira hora o termostato foi regulado para o ar atingir uma temperatura máxima de $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$; entre a primeira e a segunda hora o termostato foi regulado para o ar atingir uma temperatura de $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$; ao fim da segunda hora o termostato foi regulado para o ar atingir uma temperatura de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, permanecendo nesta

condição até os grãos reduzirem seu grau de umidade para cerca de 15%. Logo após, o termostato foi regulado para a temperatura igual à da massa de grãos $\pm 5^{\circ}\text{C}$, permanecendo os grãos submetidos a esta condição por mais 30 minutos, seguindo-se mais 30 minutos com o termostato regulado para 10°C acima da temperatura do ar ambiente;

As relações de intermitência utilizadas na secagem foram:

Relação de intermitência 1:1. Nesta condição o secador foi carregado com 160 kg de arroz em 13 minutos, ficando os grãos sob ação do ar aquecido por 6 minutos e 20 segundos e equalizando por 6 minutos e 20 segundos em cada volta;

Relação de intermitência 1:2. Nesta condição o secador foi carregado com 240 kg de arroz em 19 minutos, ficando os grãos sob ação do ar aquecido por 6 minutos e 20 segundos e equalizando por 12 minutos e 40 segundos em cada volta.

Relação de intermitência 1:4. Nesta condição o secador foi carregado com 400 kg de arroz em 32 minutos, ficando os grãos sob ação do ar aquecido por 6 minutos e 20 segundos e equalizando por 25 minutos e 20 segundos em cada volta.

Durante as secagens, a cada hora, foram feitas medições de consumo de energia, temperaturas do ar ambiente (bulbo seco e de bulbo úmido), temperatura do ar de secagem, temperatura do ar de saída do secador (em dois pontos do revestimento, um no lado da entrada de calor e outro antes da entrada do ventilador), temperatura e umidade da massa de grãos.

Na medição do consumo de energia foi utilizado medidor de energia elétrica marca Inepar modelo F-32, com precisão 0,1 kWh, instalado antes das três tomadas, que ligavam os motores elétricos do ventilador, do elevador de caçambas e os termostatos das resistências elétricas.

Na medição das temperaturas do ar ambiente, foi utilizado um psicrômetro instalado próximo ao secador intermitente, enquanto as temperaturas do ar de secagem e do ar de saída foram medidas com termômetros de mercúrio. A temperatura da massa era feita com os grãos colocados numa caixa térmica de isopor de 1500 mL, sendo imediatamente introduzido um termômetro de mercúrio com leitura após três minutos.

Para o monitoramento operacional da secagem foram utilizados dois métodos simultâneos de medição de umidade da massa de grãos. Um, expedito, utilizou um determinador marca Gehaka modelo 800, baseado na propriedade da capacitância, em função da necessidade de obtenção instantânea da informação, ou

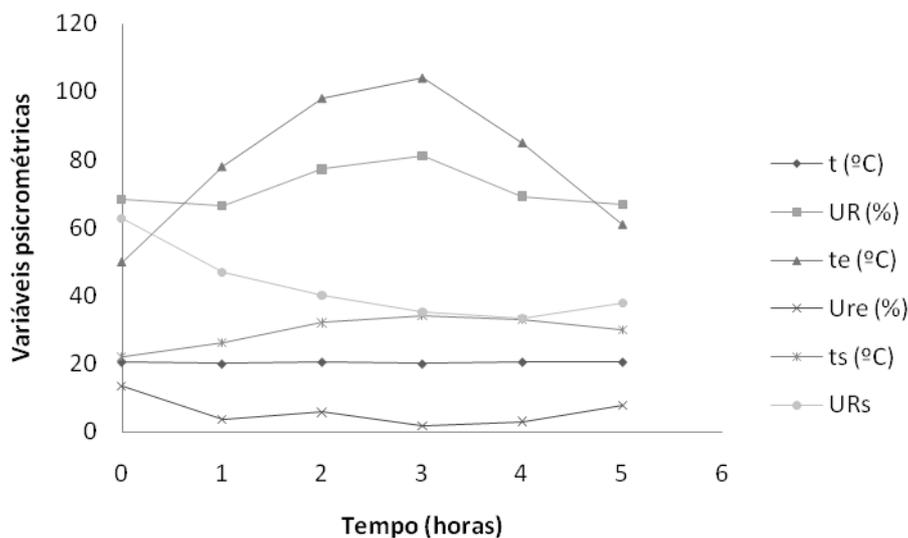
seja, é um momento em que a rapidez é mais importante do que a precisão. Essa foi garantida pelo segundo método, realizado em estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$, com circulação natural de ar por 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). Na elaboração das tabelas, dos gráficos e das equações foram considerados os dados obtidos pelo método de estufa.

3.1.3 Resultados e Discussão

3.1.3.1 Variáveis psicrométricas do ar

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam as condições psicrométricas do ar durante as operações de secagem, resultantes das médias dos valores obtidos entre três repetições, para cada relação de intermitência.

Observando-se os dados representados nas Figuras 6, 7 e 8, é possível verificar que as condições ambientais do experimento, nas três condições de secagem, foram semelhantes, havendo pouca variação da temperatura (t) e da umidade relativa (UR).



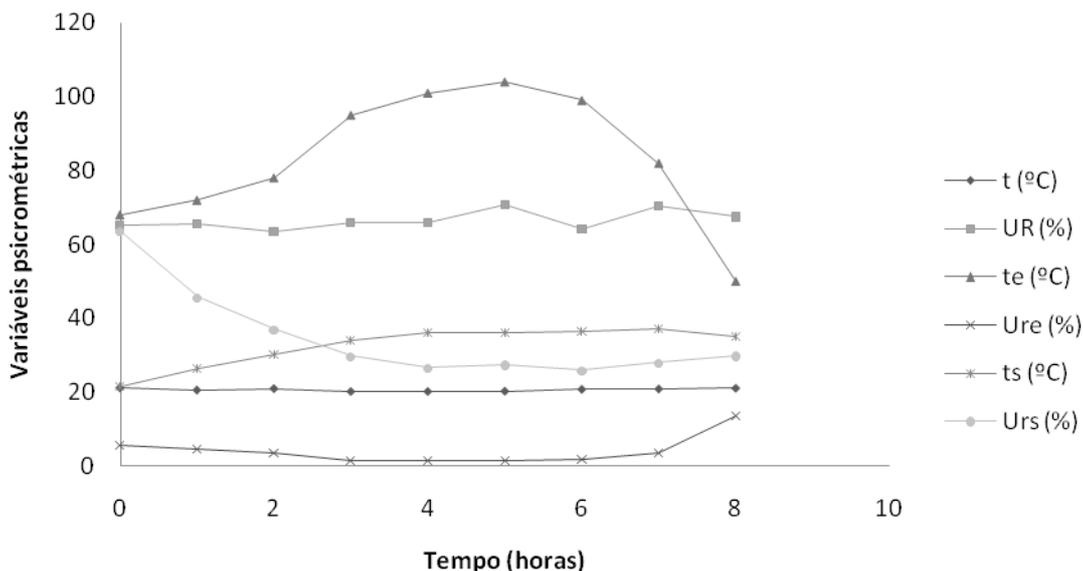
Legenda:

- t (°C) = temperatura do ar ambiente;
- UR (%) = umidade relativa do ar ambiente;
- te (°C) = temperatura do ar aquecido na entrada do secador;
- URe (%) = umidade relativa do ar aquecido na entrada do secador;
- ts (°C) = temperatura do ar de saída do secador;
- URs (%) = umidade relativa do ar de saída do secador.

Figura 6 - Condições psicrométricas do ar na operação de secagem com relação de intermitência de 1:1

Verificaram-se, também, comportamentos simétricos entre temperaturas e umidades relativas, tanto no ar de saída como no de entrada do secador, havendo maior amplitude de variação nesse último, demonstrando as conseqüências psicrométricas dos fenômenos de transferência de calor e massa que ocorrem entre ar e grãos na operação de secagem. É importante ressaltar que quanto menor os valores médios de temperatura de saída, maior é a umidade relativa, conseqüentemente mais água evaporada o ar absorveu, resultando em maior eficiência no processo. Esses dados estão de acordo com os obtidos por Boemeke (2000), Milman (2001) e Ferreira (2003).

A análise conjunta dos valores representados nas Figuras 6, 7 e 8 permite verificar que todas as curvas dos valores das variáveis psicrométricas das três figuras são praticamente iguais. Isto sugere que as variações psicrométricas do ar de secagem são dependentes das alterações hidrotérmicas da operação, e independem da relação de intermitência entre a câmara de secagem e a de equalização.

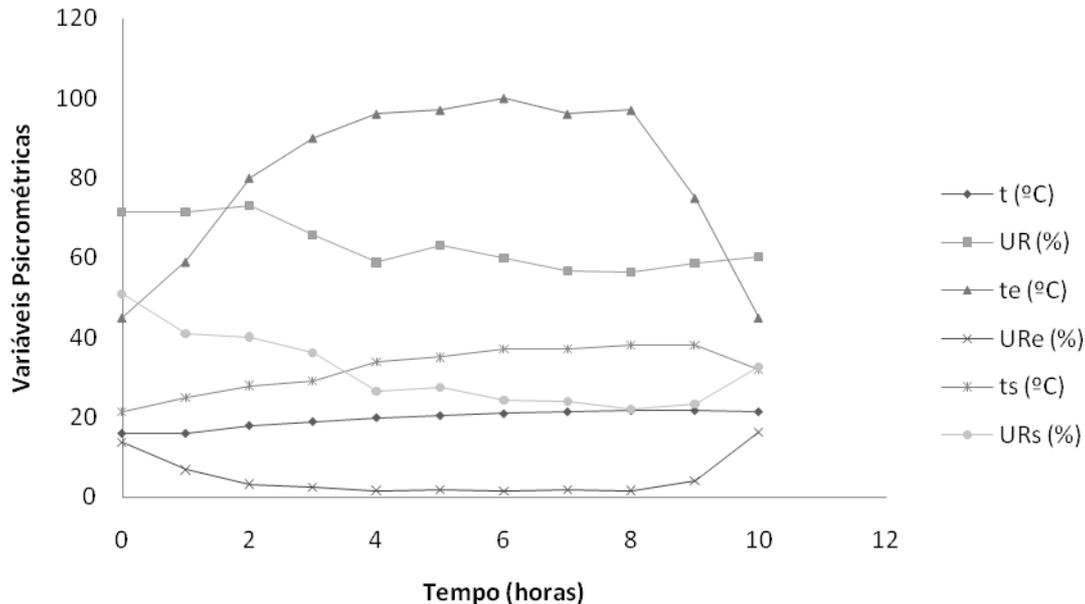


Legenda:

- t (°C) = temperatura do ar ambiente;
- UR (%) = umidade relativa do ar ambiente;
- te (°C) = temperatura do ar aquecido na entrada do secador;
- URe (%) = umidade relativa do ar aquecido na entrada do secador;
- ts (°C) = temperatura do ar de saída do secador;
- Urs (%) = umidade relativa do ar de saída do secador.

Figura 7 - Condições psicrométricas do ar na operação de secagem com relação de intermitência de 1:2

Estes resultados associados à qualidade final dos grãos evidenciam a importância da relação de intermitência no processo de secagem de arroz, com vistas a maximização da qualidade final do produto e da eficiência energética.



Legenda:

- t (°C) = temperatura do ar ambiente;
- UR (%) = umidade relativa do ar ambiente;
- te (°C) = temperatura do ar aquecido na entrada do secador;
- URe (%) = umidade relativa do ar aquecido na entrada do secador;
- ts (°C) = temperatura do ar de saída do secador;
- URs (%) = umidade relativa do ar de saída do secador.

Figura 8 - Condições psicrométricas do ar na operação de secagem com relação de intermitência de 1:4.

3.1.3.2 Temperatura da massa de grãos

Na figura 9, aparecem as curvas que representam as temperaturas da massa de grãos, no decorrer das secagens, resultantes das médias dos valores obtidos entre as três repetições, para cada relação de intermitência.

Examinando-se os comportamentos exibidos (Figura 9), é possível observar que as três curvas são bastante semelhantes e que a temperatura da massa nunca ultrapassou 43°C em nenhum dos tratamentos. Isto demonstra que o manejo térmico dos grãos na operação de secagem foi adequado o que confirma observações de Rombaldi (1988), Elias (2006).

As temperaturas, como o manejo térmico é o mesmo, crescem mais nas duas primeiras horas, tendendo à estabilização, pois o processo de secagem é composto de duas etapas hidrotérmicas distintas e complementares, que incluem a difusão da

água do interior do grão para a periferia e a evaporação da água periférica, sendo a primeira endotérmica e a segunda isoentálpica, quando ocorrem os fenômenos de transferência de calor e massa, em acordo com os princípios da termodinâmica.

A temperatura da massa de grãos é o parâmetro operacional mais intimamente ligado a danos térmicos que podem ocorrer nos grãos em função da operação de secagem e juntamente com o choque térmico, são responsáveis pelos danos imediatos e latentes cujos resultados se expressam mais em trincamentos e incidência de defeitos nos grãos de arroz, respectivamente.

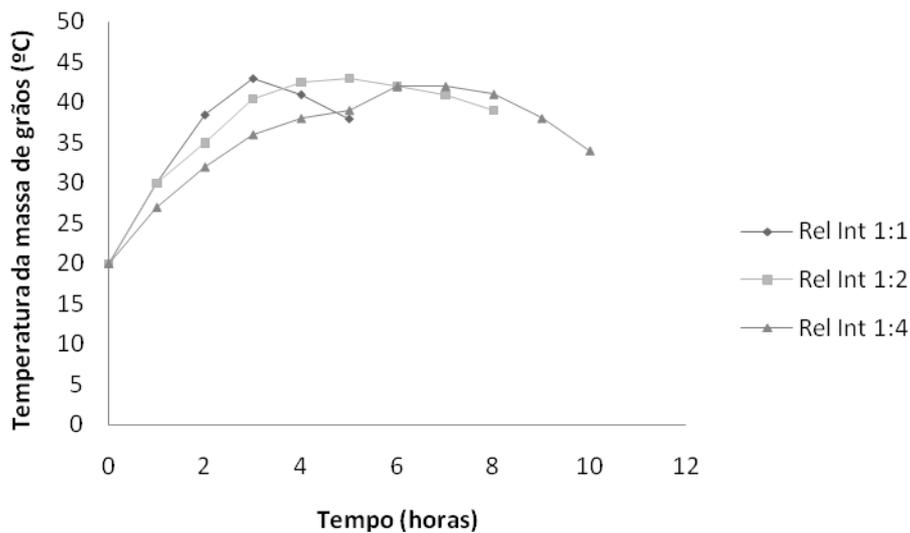


Figura 9 - Temperatura da massa de grãos nas operações de secagens com relações de intermitência 1:1, 1:2 e 1:4.

3.1.3.3 Umidade da massa de grãos

Na figura 10, aparecem as curvas que representam as variações da umidade dos grãos no decorrer da secagem, resultantes das médias dos valores obtidos entre as três repetições, para cada relação de intermitência.

Examinando-se os comportamentos das curvas, é possível observar que a variação da umidade dos grãos teve um comportamento semelhante em todo o tempo de secagem entre os tratamentos 1:2 e 1:4, esse comportamento está em acordo com o relatado por Milman (2001), quando avaliou as relações de intermitência 1:1,5 e 1:3 na secagem intermitente de arroz em casca. Diferenciando das demais condições de secagens, o tratamento com relação de intermitência 1:1 possui uma diminuição mais brusca de umidade em todo o período de secagem, isto é explicado pela maior permanência da massa de grãos na câmara de secagem.

A umidade final de cada produto pouco variou para cada teste, apresentando valores médios de 12,4; 13,0 e 13,19% para os testes relativos aos tratamentos 1:1, 1:2 e 1:4, respectivamente.

O tempo de secagem variou para cada um dos testes, tendo duração de 5, 8 e 10 horas para os tratamentos 1:1, 1:2 e 1:4 respectivamente. O tratamento 1:4 teve o maior tempo de duração em função de ter sido executado com maior quantidade de grãos. O tempo de secagem foi reduzido conforme ocorreu a diminuição da relação de intermitência, o que era um comportamento esperado.

Portella e Eichelberger (2001) salientam que a velocidade de secagem é um fator de ordem econômica muito importante, pois é inversamente proporcional à duração da secagem, ou seja, quanto maior a velocidade de secagem, menor será o tempo de permanência dos grãos no secador, potencializando sua utilização. Entretanto, uma secagem muito rápida resulta num gradiente de umidade muito acentuado entre a superfície e o interior do grão, causando danos imediatos e latentes na qualidade dos grãos.

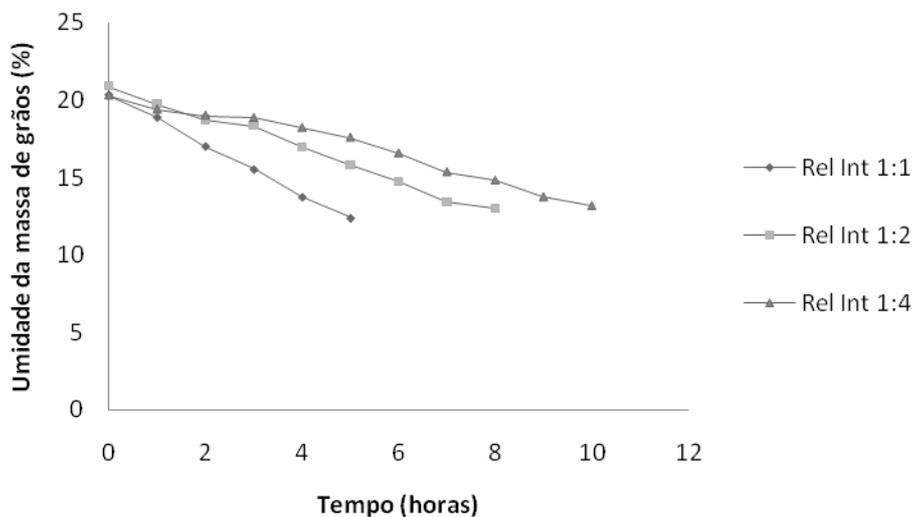


Figura 10 - Umidade da massa de grãos nas operações de secagens com relações de intermitência 1:1, 1:2 e 1:4.

3.1.3.4 Taxa horária de secagem

Nas Figuras 11, 12 e 13 são representadas as taxas horárias de secagem dos grãos no decorrer da operação, resultantes das médias dos valores obtidos entre as três repetições, para cada relação de intermitência.

Observa-se na Figura 11, que a taxa horária de secagem no tratamento com relação de intermitência 1:1, foi sempre superior à exibida nos outros tratamentos.

Os valores nesta operação variaram entre 1,35% e 1,85%, mas nunca ultrapassaram os 2 pontos percentuais horários recomendados para a secagem do arroz em casca (ELIAS, 2007;).

Examinando-se os comportamentos exibidos nas Figuras 12 e 13 é possível observar que a taxa horária de secagem nos tratamentos 1:2 e 1:4 tem comportamento semelhante, tendo valores de até 1% nas primeiras horas de secagem e máximo 1,2% entre sexta e sétima hora de secagem. Este fato é explicado pelo motivo de os grãos reterem energia até este intervalo de operação onde ocorreram as maiores taxas de remoção de umidade para estes tratamentos.

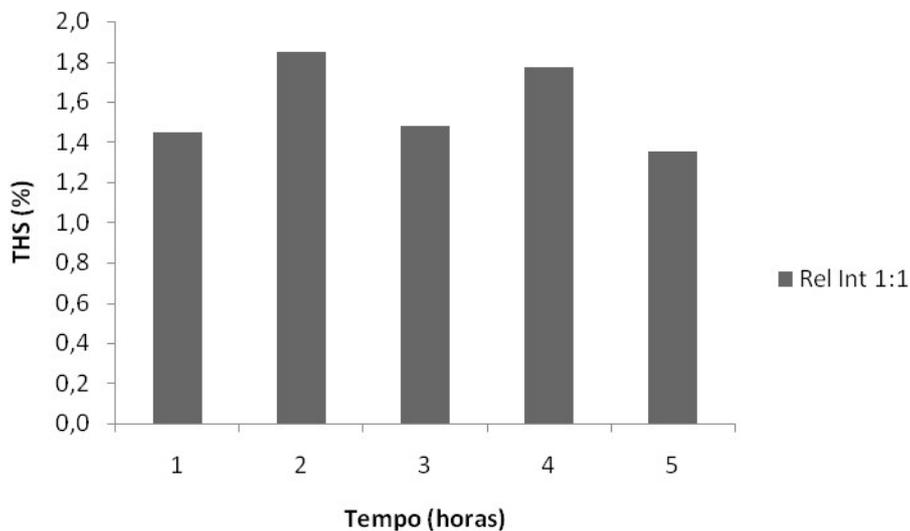


Figura 11 - Taxa horária de secagem nas operações de secagens com relações de intermitência 1:1.

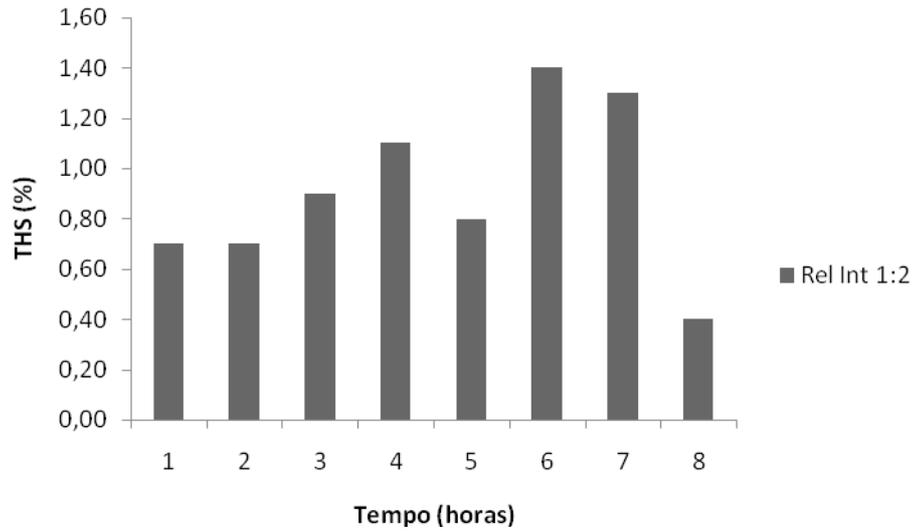


Figura 12 - Taxa horária de secagem nas operações de secagens com relações de intermitência 1:2.

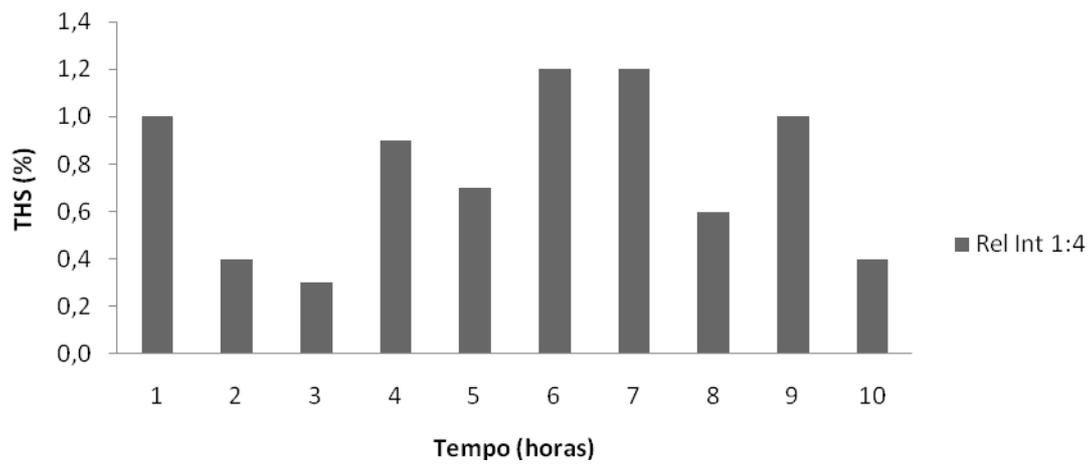


Figura 13 - Taxa horária de secagem nas operações de secagens com relações de intermitência 1:4.

3.1.3.5 Demanda energética na secagem

Foram avaliadas as demandas energéticas para os principais componentes da secagem: o aquecimento do ar e a movimentação do ar e dos grãos.

3.1.3.5.1 Demanda de energia para aquecimento do ar

Na Figura 14 está representado o consumo total de energia para aquecimento do ar por peso de grãos secados, resultantes das médias dos valores obtidos entre as três repetições, para cada relação de intermitência. Estas observações mostram que a operação realizada com relação de intermitência 1:4 consome menos energia por kilograma de grãos, do que a operação realizada com relação de intermitência 1:1 e 1:2. 8,5% e 18,9% a menos de consumo de energia por kilograma de grãos em relação aos tratamentos 1:1 e 1:2, respectivamente. A operação com relação de intermitência 1:2 foi o que consumiu mais energia para o aquecimento do ar, chegando ao valor médio de 106 kcal/kg de produto.

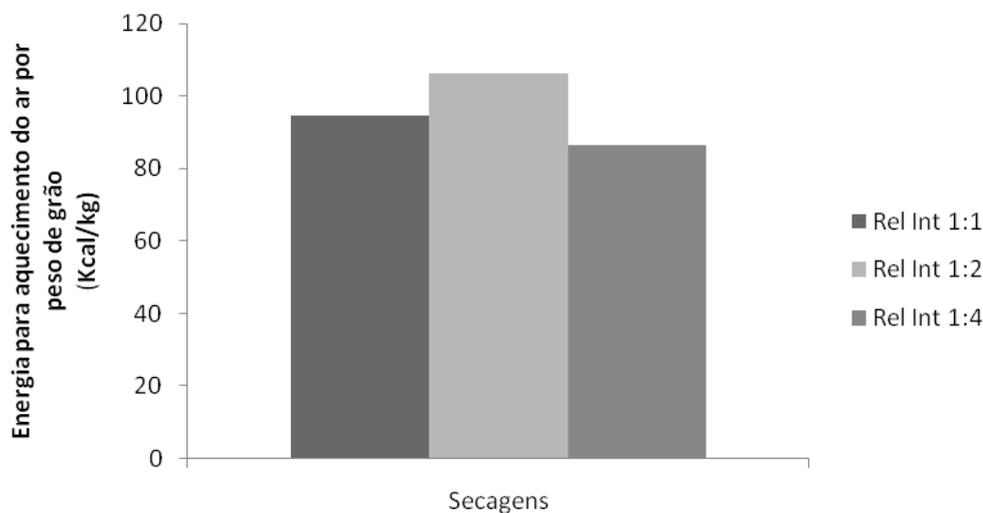


Figura 14 - Demanda de energia em kcal/kg de grão nas operações de secagens com relações de intermitência 1:1, 1:2 e 1:4.

Pelos dados apresentados na Tabela 02, é possível verificar que a aplicação da equação, recomendável para uso pelas indústrias fabricantes de secadores industriais de grãos, para o cálculo da energia necessária para aquecer o ar de secagem, conhecida a vazão do ventilador do secador, é perfeitamente aceitável dentro dos padrões de cálculo da engenharia.

A vazão de ar do ventilador do secador medida, com o equipamento Hot Wire Anemometer– AM4204- Lutron, foi de $196 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

A Tabela 02 mostra as médias dos valores obtidos experimentalmente nas três repetições, para cada relação de intermitência, e os obtidos por cálculo através do emprego da equação abaixo.

$$E = 0,288.Q.\Delta t$$

em que:

E (kcal/h) = quantidade de calor;

Q ($\text{m}^3 \text{ ar/h}$) = Vazão de ar do ventilador do secador;

Δt ($^{\circ}\text{C}$) = variação de temperatura entre o ar de secagem e o ar ambiente.

Tabela 2 - Valores calculados pela equação e resultados obtidos das três secagens.

Descrição	Relação de Intermitência		
	1:1	1:2	1:4
Vazão de ar do ventilador ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)*	196	196	196
Varição da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	56	58	60
Energia consumida ($\text{Kcal} \cdot \text{h}^{-1}$)*	3.022	3.183	3.451
Energia calculada ($\text{Kcal} \cdot \text{h}^{-1}$)**	3.161	3.273	3.387
Erro (%)	4,39	2,74	1,88

*Observada experimentalmente

**Calculada pela equação

Na secagem com relação de intermitência 1:1, o consumo de energia para aquecimento do ar foi de 15110kcal, na que utilizou relação de intermitência 1:2, o consumo de energia foi de 25464kcal enquanto que na secagem com relação de intermitência 1:4 o consumo energético foi 34510 kcal.

3.1.3.5.2 Demanda de energia para movimentação dos grãos e do ar

A demanda de energia, para movimentação dos grãos e do ar, foi obtida a partir da medida do consumo total de energia na operação de secagem e das potências dos motores de acionamento do elevador de caçambas e do ventilador, ambos de 0,33 cv.

Na secagem com relação de intermitência 1:1, o consumo total de energia medido através do medidor de energia elétrica foi de 20 kWh, na secagem com relação de intermitência 1:2 foi consumido 33,5 kWh , e na que utilizou relação de intermitência 1:4 o consumo total de energia medido através do medidor de energia elétrica foi de 45 kWh.

Aplicando-se as relações de equivalência energética, onde 1 cv corresponde a 0,7355 Kw, é possível determinar que 0,33 de cv equivale a 0,2427kW (NEVES, 1999).

Na secagem com relação de intermitência 1:1, os motores ficaram ligados durante 5 horas, consumindo 1,2136 kWh cada um, na que usou relação de intermitência 1:2, os motores permaneceram ligados por 8 horas e consumiram 1,9416 kWh cada, e enquanto na que utilizou relação de intermitência 1:4 o tempo de operação foi de 10 horas, sendo que cada um dos motores consumiu 2,427 kWh. Portanto os consumos de energia para movimentação do ar e dos grãos em cada uma das operações com as relações de intermitência 1:1, 1:2 e 1:4 foram de 2,43 kWh; 3,88 kWh e 4,85 kWh, respectivamente.

As Figuras 15, 16 e 17 mostram os percentuais de demanda energética, por componente da operação, respectivamente com relação de intermitência 1:1, 1:2 e 1:4, evidenciando que o aquecimento do ar consome 88%; 88,5% e 89% do total de energia requerida na secagem. Essas informações são importantes para a avaliação da economicidade da operação de secagem, principalmente quando se trabalha com insumos nobres e de alto valor unitário, situação aplicada tanto em relação ao combustível para o aquecimento do ar, quanto em relação ao sistema de energia para acionamento dos dispositivos de movimentação do ar e dos grãos.

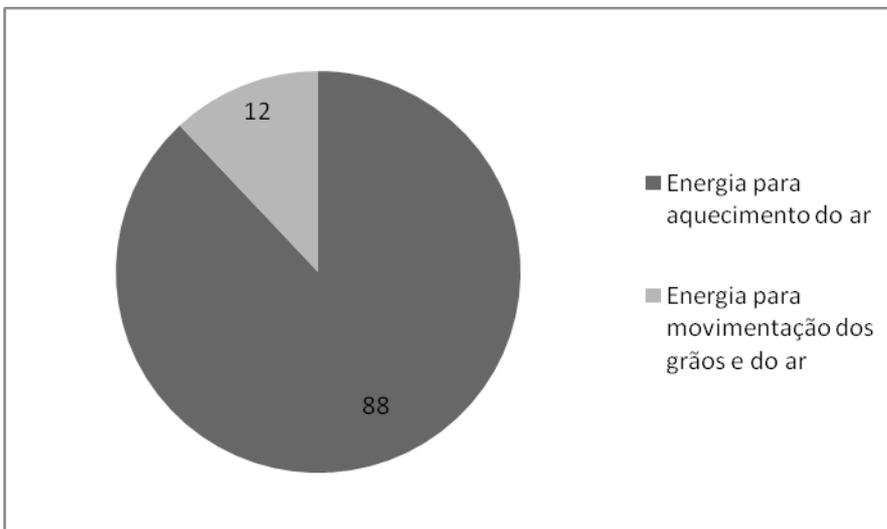


Figura 15 – Demanda proporcional de energia, componente da operação de secagem com relação de intermitência 1:1

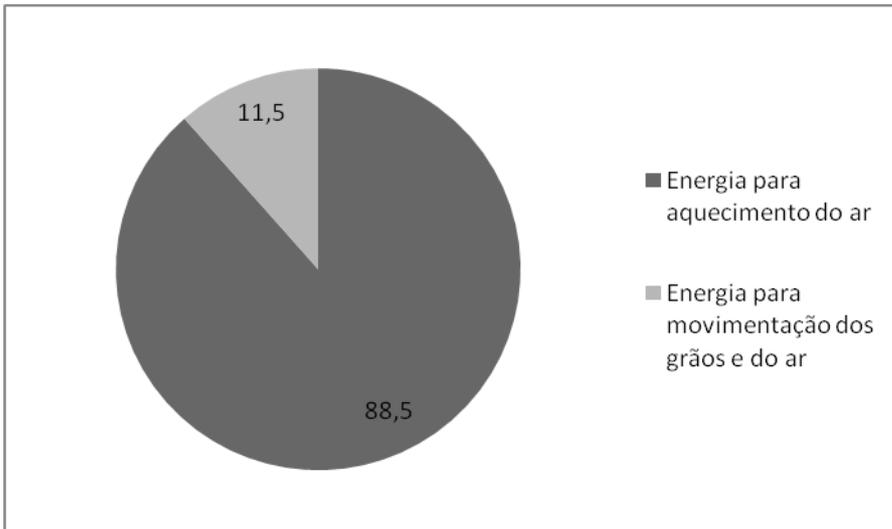


Figura 16 – Demanda proporcional de energia, componente da operação de secagem com relação de intermitência 1:2

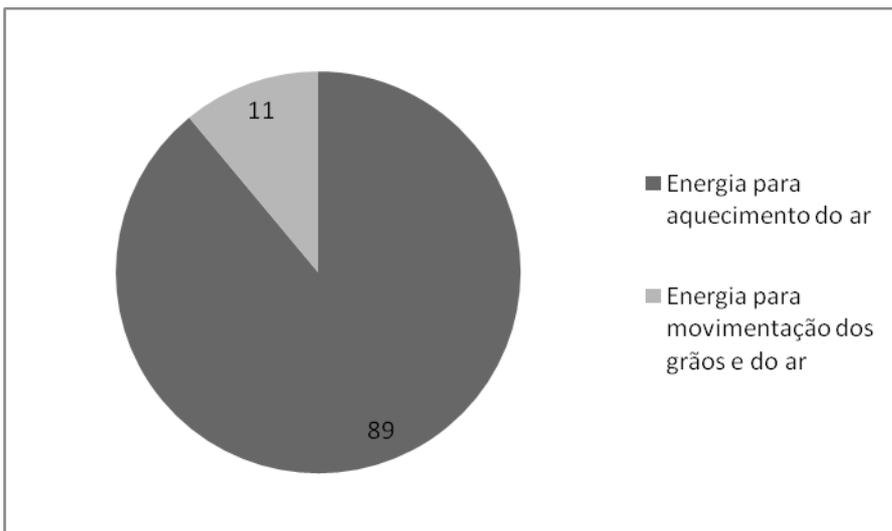


Figura 17 – Demanda proporcional de energia, componente da operação de secagem com relação de intermitência 1:4

Os comportamentos relativos à demanda de energia para movimentação dos grãos e do ar da secagem com uso de temperaturas crescentes, apresentam a mesma tendência dos relatados por Boemeke (2000), Milman (2001), Ferreira (2003), Santos (2004), Münchow (2005) ao estudarem secagem de arroz em casca nos sistemas estacionários com ar aquecido e intermitente.

3.1.3.6 Modelos matemáticos para a secagem

3.1.3.6.1 Fundamentação

A água é o componente principal da maioria dos produtos agrícolas e tem uma ampla influência em suas propriedades. A secagem, por sua vez, é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e a estabilidade dos grãos, considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento.

O fenômeno de redução do teor de água de grãos envolve simultaneamente a transferência de calor e de massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do excesso de água por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, podendo alterar de forma substancial sua qualidade, dependendo do método e das condições empregadas (BOEMEKE, 2000; MILMAN, 2001; ELIAS, 2002)

No estudo de sistemas de secagem, desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos, dimensionamento, otimização e determinação da viabilidade da aplicação comercial, é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água. Para a simulação, utilizam-se modelos matemáticos de camada delgada que representam satisfatoriamente, sua perda de água durante a secagem.

Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas. Embora várias teorias tenham sido propostas para prever o comportamento da secagem de grãos e de sementes, na maioria das vezes, as relações semi-empíricas e empíricas têm sido as melhores opções para prever o processo de secagem, apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (BROOKER et al, 1992).

Estes modelos baseiam-se, geralmente, em variáveis externas em relação ao produto, como temperatura e umidade relativa do ar de secagem, não fornecendo, entretanto, indicações sobre os fenômenos de transporte de energia e de água do interior dos grãos, considerando, ainda, que todo o processo de secagem ocorre somente no período de taxa decrescente (BROOKER et al, 1992).

Recentemente, têm sido realizados inúmeros trabalhos com o objetivo de identificar as características de diversos grãos e sementes durante a secagem como por exemplo: feijão preto (AFONSO JÚNIOR e CORRÊA, 1999; RESENDE 2006), café (AFONSO JÚNIOR, 2001); trigo parboilizado (MOHAPATRA e RAO, 2005), arroz em casca (BASUNIA e ABE, 2001; CHEN e WU, 2001; CIHAN et al, 2006; IGUAZ e VÍRSEDA, 2006), sementes de maracujá (CARLESSO et al 2005), soja (BARROZO, 2006; AOSANI, 2007), dentre outros.

Considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem dos produtos agrícolas e a limitação de informações teóricas a respeito de secagem intermitente de arroz em casca, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais em função do teor de umidade, durante a secagem intermitente sob três condições de relação de intermitência.

Durante os testes de secagem, a cada hora, foram feitas medições das temperaturas do ar ambiente (bulbo seco e de bulbo úmido), do ar de secagem, do ar de saída do secador (em dois pontos do revestimento, um no lado da entrada de calor e outro antes da entrada do ventilador), da massa de grãos. A umidade relativa do ar ambiente e secante foi calculada por meio do programa computacional GRAPSI® 5.0, desenvolvido a partir de equações psicrométricas.

Para a determinação da razão de umidade do arroz em casca, para as diferentes condições de secagem, utilizou-se a seguinte expressão:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e}$$

em que:

- RU: razão de umidade do produto, (adimensional);
- U: teor de umidade do arroz, (decimal b.s.);
- U_i: teor de umidade inicial, (decimal b.s.);
- U_e: teor de umidade de equilíbrio, (decimal b.s.).

O teor de umidade de equilíbrio higroscópico foi calculado pela equação proposta por Henderson-Thompson para arroz em casca (FONTANA, 1986):

$$UE = 0,01 \left(\frac{\ln(1 - UR)}{0,000019187(T + 51,161)} \right)^{0,409}$$

em que:

- UE: umidade de equilíbrio (decimal, base seca);
- T: temperatura dos grãos (°C);
- UR: umidade relativa do ar no espaço intersticial (decimal).

Aos dados experimentais de secagem intermitente de arroz em casca, foram ajustados os modelos matemáticos freqüentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas (AFONSO JÚNIOR e CORRÊA, 1999; AKPINAR et al., 2003; ERTEKIN e YALDIZ, 2004; LAHSASNI et al., 2004; BARBOSA, 2005), cujas expressões estão apresentadas na Tabela 03.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foram realizadas análise de regressão não-linear pelo método Simplex e Quasi-Newton, utilizando-se o programa computacional STATISTICA® 6.0, sendo os valores dos parâmetros dos modelos (a, b, c e n), estimados em função da temperatura do ar de secagem.

O grau de ajuste do modelo aos dados experimentais foi avaliado em função da magnitude do coeficiente de determinação ajustado (R^2), do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE) e da verificação da falta de ajuste do modelo matemático, pela análise dos resíduos e dos gráficos de correspondência entre os valores estimados e observados. O erro médio relativo e o erro médio estimado para cada um dos modelos foram calculados conforme as seguintes expressões:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y - Y_o|}{Y} \quad SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_o)^2}{GLR}}$$

em que:

Y: valor observado experimentalmente;

Y_o: valor calculado pelo modelo;

n: número de observações experimentais;

GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Tabela 3 - Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem de produtos agrícolas

Designação do modelo	Modelo
Midilli	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$
Page	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$
Newton	$RU = \exp(-k \cdot t)$
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$
Dois Termos	$RU = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
Henderson e Pabis Modificado	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k^0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k^1 \cdot t)$
Aproximação da Difusão	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$
Wang e Singh	$RU = 1 + (a \cdot t) + (b \cdot t^2)$
Verna	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k^1 \cdot t)$
Logarítmico	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$

Logistic

$$RU = a^0 / 1.a.exp(k.t)$$

em que: k, k_0, k_1 : constantes de secagem, s^{-1} ; e a, b, c, n : coeficientes dos modelos.

3.1.3.6.2 Aplicação dos modelos

Na Figura 18, são apresentados os valores experimentais da secagem intermitente de arroz realizada nas diferentes relações de intermitência entre a câmara de secagem e de equalização.

Analisando a Figura 18, verifica-se que o tempo necessário para o arroz atingir o teor de umidade de, aproximadamente 13%, foi de 5, 8 e 10 horas para as relações de intermitência de 1:1, 1:2 e 1:4 respectivamente. Com a diminuição da relação de intermitência, ocorre maior taxa de remoção de água do produto, evidenciando o aumento da taxa de secagem, fato observado por Milman (2001).

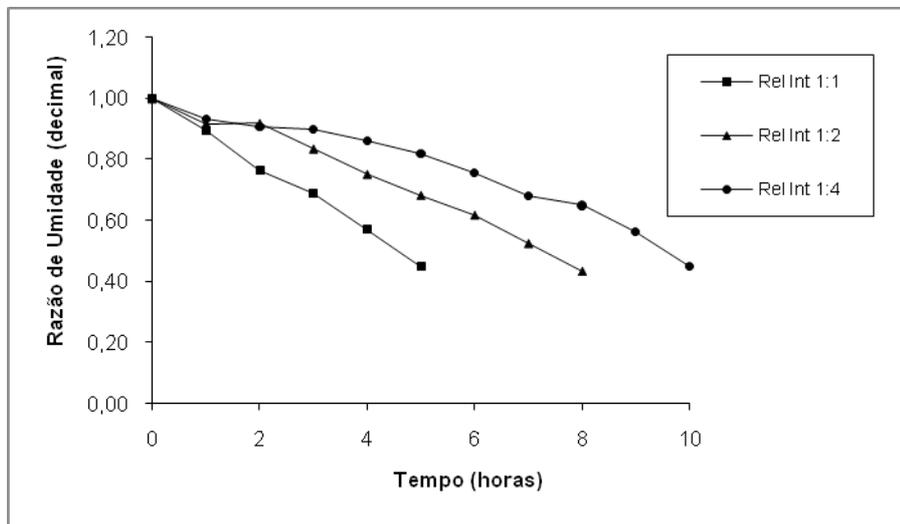


Figura 18 - Valores experimentais da razão de umidade e do tempo de secagem para três relações de intermitência (1:1, 1:2, 1:4) durante a secagem intermitente de arroz.

Na Tabela 04, são apresentados os valores dos coeficientes de determinação, erros médios relativos e estimados e a tendência da distribuição dos resíduos para os modelos analisados, para a secagem intermitente de arroz, nas três condições de relação de intermitência.

Tabela 4 - Coeficientes de determinação (R^2), erros médio relativo (P, %), erros médio estimado (SE, decimal), e tendência de distribuição dos resíduos (Res), dos doze modelos analisados, para a secagem intermitente de arroz nas três condições de relação de intermitência.

Relação de Intermitência	Modelos Matemáticos	R^2	SE	P	Res
1:1	Midilli	0,9984	0,014547	1,042926	A
	Page	0,9969	0,035622	1,947775	A
	Newton	0,9900	0,063730	3,255981	Td
	Exp.de Dois Termos	0,9898	0,064368	3,278312	Td
	Dois Termos	0,9918	0,033466	3,091682	Td
	Henderson e Pabis	0,9918	0,057965	3,091682	Td
	Henderson e Pabis Modificado	0,9918	0,025923	3,091682	Td
	Aproximação da Difusão	0,9972	0,024057	1,807137	A
	Wang e Singh	0,9983	0,026315	1,209976	Td
	Verna	0,9978	0,024057	1,807216	A
	Logarítmico	0,9983	0,018816	1,326285	Td
	Logistic	0,9918	0,040987	3,091682	Td
1:2	Midilli	0,9968	0,024967	1,285746	A
	Page	0,9944	0,057696	1,789512	Td
	Newton	0,9697	0,133127	5,487404	Td
	Exp. de Dois Termos	0,9937	0,060959	2,078221	Td
	Dois Termos	0,9760	0,068542	5,386542	Td
	Henderson e Pabis	0,9760	0,118717	5,386542	Td
	Henderson e Pabis Modificado	0,9760	0,053092	5,386542	Td
	Aproximação da Difusão	0,9941	0,041749	1,982116	Td
	Wang e Singh	0,9967	0,044232	1,213658	A
	Verna	0,9941	0,041749	1,980799	Td
	Logarítmico	0,9917	0,049548	2,902669	Td
	Logistic	0,9760	0,083946	5,386542	Td
1:4	Midilli	0,9961	0,027609	1,784350	A
	Page	0,9850	0,093368	2,977854	A
	Newton	0,9483	0,171775	6,057131	Td
	Exp. de Dois Termos	0,9483	0,171775	6,057131	Td
	Dois Termos	0,9965	0,026136	1,546954	A
	Henderson e Pabis	0,9553	0,160087	5,983292	Td
	Henderson e Pabis Modificado	0,9851	0,041562	3,257210	Td
	Aproximação da Difusão	0,9825	0,071319	3,363708	Td
	Wang e Singh	0,9927	0,065308	2,124356	Td
	Verna	0,9483	0,121463	6,057131	Td
	Logarítmico	0,9757	0,083929	4,456624	Td
	Logistic	0,9553	0,113198	5,983292	Td

Em que: A:aleatório e Td: tendencioso

Nas Figuras 19 a 21, são apresentadas as tendências de distribuição dos resíduos para os dados do modelo de Midilli, em função dos valores estimados da razão de umidade do arroz. Os resíduos foram obtidos por meio da diferença entre os valores experimentais e os valores estimados pelo modelo.

Para os nove tratamentos de secagem de arroz, observou-se que os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores ou próximos a 0,98 (Tabela 02), indicando de acordo com Madamba et al. (1996), uma representação satisfatória do processo de secagem, exceto para o modelos de Newton, Exponencial de Dois Termos, Henderson e Pabis, Verna e Logistic. Para a maioria das condições analisadas os modelos de Midilli, Page, Dois Termos, Henderson e Pabis Modificado, Aproximação da Difusão, Wangh e Sing e Logarítmico apresentaram menores valores do erro médio estimado (SE), e magnitudes do erro médio relativo (P) inferior a 10% , indicando de acordo com Mohapatra e Rao (2005) serem adequados para a descrição do processo. Verifica-se ainda que, que apenas o modelo de Midilli apresentou uma distribuição aleatória de resíduos (Figuras 19 a 21), resultando, assim, em melhores ajustes aos dados experimentais de secagem intermitente de arroz.

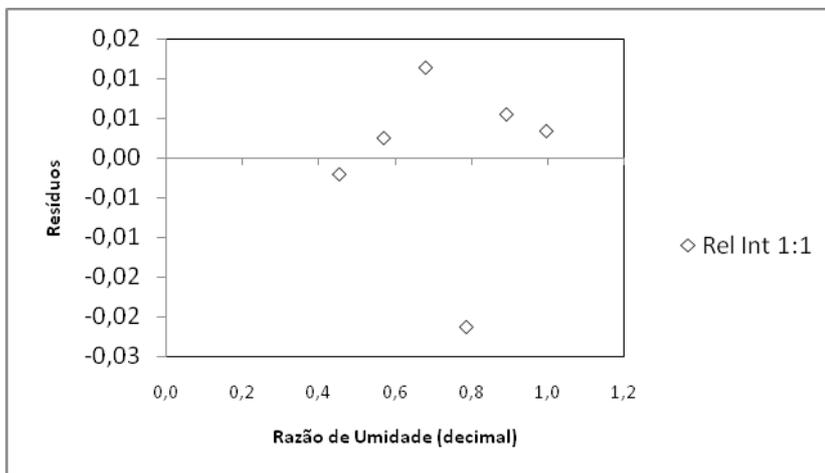


Figura 19 - Tendência de distribuição dos resíduos para o modelo de Midilli, durante a secagem intermitente de arroz na relação de intermitencia de 1:1, em função dos valores estimados da razão de umidade.

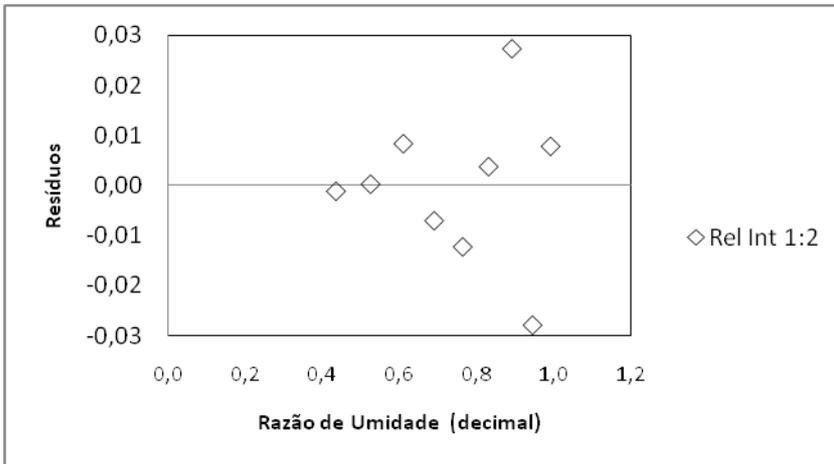


Figura 20 - Tendência de distribuição dos resíduos para o modelo de Midilli, durante a secagem intermitente de arroz na relação de intermitência de 1:2, em função dos valores estimados da razão de umidade.

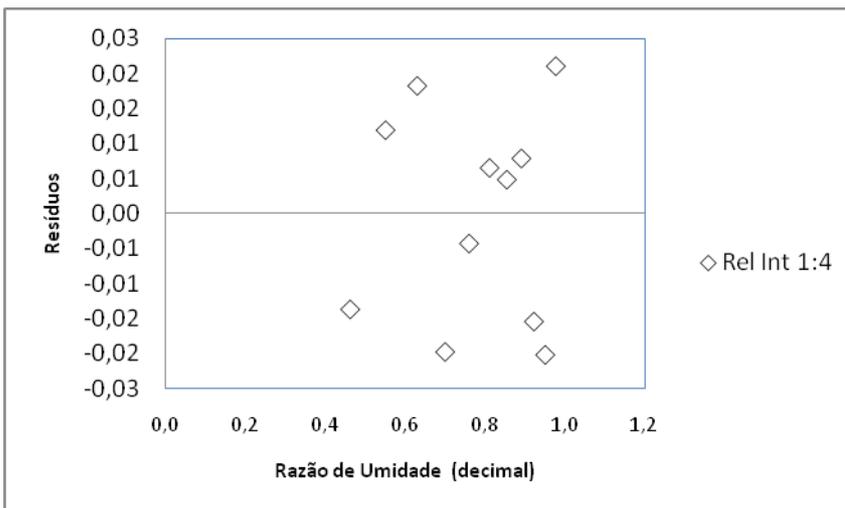


Figura 21 - Tendência de distribuição dos resíduos para o modelo de Midilli, durante a secagem intermitente de arroz na relação de intermitência de 1:4, em função dos valores estimados da razão de umidade.

Nas Figuras 22 a 24 são apresentadas as curvas de secagem elaboradas com os dados experimentais e os valores simulados pela equação de Midilli, para a secagem intermitente de arroz em casca.

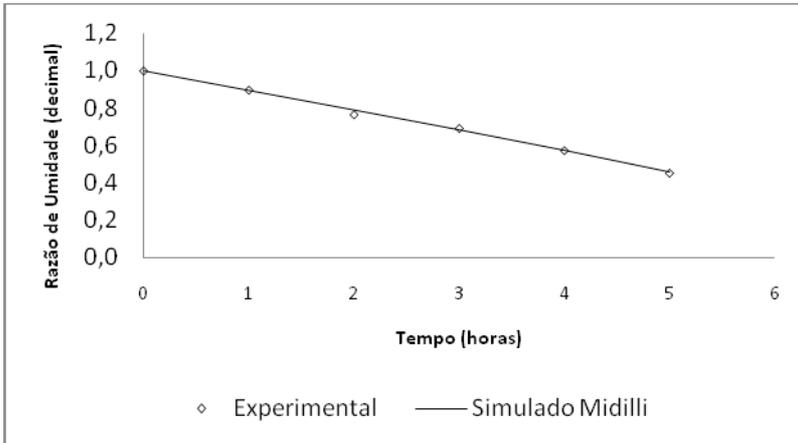


Figura 22 - Valores experimentais de razão de umidade (RU) de grãos de arroz em casca e calculados pelas equações de Midilli, para relação de intermitência 1:1.

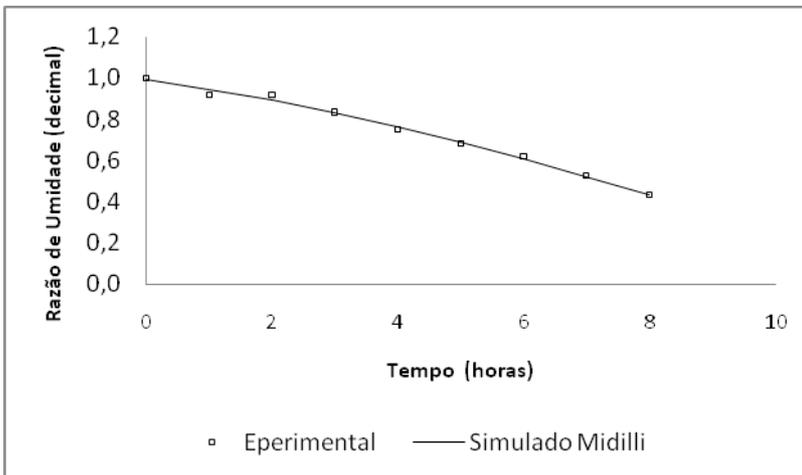


Figura 23 - Valores experimentais de razão de umidade (RU) de grãos de arroz em casca e calculados pelas equações de Midilli, para relação de intermitência 1:2.

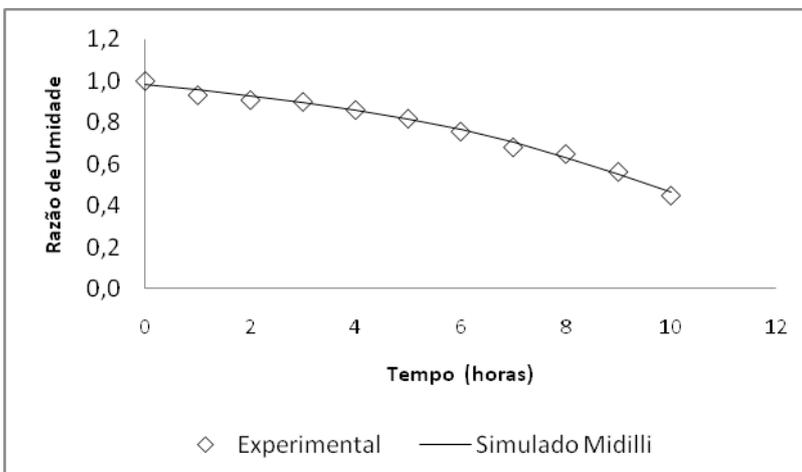


Figura 24 - Valores experimentais de razão de umidade (RU) de grãos de arroz em casca e calculados pelas equações de Midilli, para relação de intermitência 1:4.

Através das Figuras 22 a 24, observa-se uma elevada correlação entre os valores experimentais e estimados e um comportamento satisfatório da distribuição de resíduos gerados por essas equações, aproximando-se das distribuições normais esperadas. O modelo de Midilli mostrou-se mais apropriado para a predição do fenômeno de secagem intermitente de grãos de arroz, por apresentar os menores desvios e melhores ajustes.

Os resultados encontrados neste trabalho mostram que a equação de Midilli foi a que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais de secagem, também observado por Cihan et al (2006) para a secagem de arroz em casca.

3.1.4 Conclusões

a) As variações psicrométricas do ar de secagem são dependentes das alterações hidrotérmicas verificadas na operação, e independentes das relações de intermitência entre as câmaras de secagem e de equalização no secador.

b) A relação de intermitência interfere na taxa horária de secagem dos grãos.

c) Para um mesmo manejo térmico, o aumento da relação de intermitência entre as câmaras de secagem e de equalização aumenta o tempo de secagem e o consumo de energia para o aquecimento do ar de secagem, mas diminui o consumo de energia por quantidade de grãos secados.

d) Na a secagem pelo método intermitente, a demanda de energia para movimentação dos grãos e do ar é pequena em relação à demanda de energia para o aquecimento do ar de secagem.

e) A equação de camada delgada proposta por Midilli é a que melhor representa a secagem intermitente de arroz em casca, independente da relação de intermitência.

3.2 EXPERIMENTO II - RELAÇÃO DE INTERMITÊNCIA NA SECAGEM, TEMPO DE ARMAZENAMENTO E PROCESSO INDUSTRIAL NA QUALIDADE DE GRÃOS DE ARROZ

3.2.1 Introdução

As variedades das espécies mais cultivadas atualmente no Rio Grande do Sul apresentam altas produtividades e boas qualidades de consumo, mas, em geral, são suscetíveis a fatores adversos do meio, que podem provocar redução na qualidade do grão, com conseqüências no armazenamento, na industrialização e no consumo.

Práticas adequadas de pré-armazenamento e a estocagem dos grãos, imediatamente após a sua maturação fisiológica, devem ser implementadas, com vistas a aumentar a eficiência dos próprios métodos de conservação e minimizar as perdas pós colheita (ELIAS, 2004)

A umidade adequada para a colheita não é a mesma indicada para o armazenamento e beneficiamento dos grãos, por isso, é indispensável o uso de secagem. Quando realizada de forma adequada, a secagem proporciona aos grãos a manutenção de suas qualidades nutritivas e organolépticas desde o armazenamento, beneficiamento e comercialização, até o seu consumo.

Os principais danos causados aos grãos de arroz durante a secagem com ar aquecido são o trincamento, a formação de crosta periférica, a alteração de coloração, a desestruturação do amido e a morte do próprio grão, que provocam reduções no rendimento industrial e no valor comercial, além de diminuir a conservabilidade durante o armazenamento e dificultar as operações de preparo para o consumo (BROOKER, 1992; MOHAPATRA e RAL, 2006; ELIAS, 2007).

Os grãos de arroz são sensíveis a choques térmicos, fazendo com que a alternância do emprego de ar aquecido e ar frio aumentem o número de grãos trincados, diminuindo o rendimento de grãos inteiros pelo beneficiamento industrial e a conservabilidade no armazenamento (ELIAS, 2002).

No sistema intermitente, como há recirculação dos grãos no secador e o contato ar-grão é descontínuo, observa-se alguma danificação mecânica e uma boa uniformidade de secagem. Desde que a temperatura do ar de secagem não seja muito elevada, normalmente não superior a 115°C, nem muito baixa, normalmente não inferior a 70°C, este é um sistema que permite obter bons resultados, embora exija maiores investimentos e uso de tecnologia mais sofisticada do que outros métodos de secagens (MILMAN, 2002).

Temperaturas muito elevadas do ar de secagem podem provocar elevada taxa de remoção de água e superaquecimento dos grãos, que aumenta grandemente os danos térmicos à medida em que a temperatura da massa de grãos se aproxima de 40°C ou a ultrapassa. Temperaturas muito baixas do ar de secagem exigem um grande número de passagens do arroz no conjunto secador-elevador, com aumento da danificação mecânica, já que esta é diretamente proporcional à movimentação dos grãos. Tanto os danos térmicos quanto os danos mecânicos são inconvenientes para a conservação e à industrialização do arroz (CNOSSEN *et al*, 2003; PRACHAYAWARAKORN, 2005). O sistema intermitente é o mais empregado para a secagem de grãos de arroz no Rio Grande do Sul (MENEGETTI *et al*, 2005).

A determinação do peso volumétrico, umidade, desempenho industrial, características de consumo dos grãos de arroz, constituem, de acordo a literatura (MILMAN, 2001; SANTOS, 2004; MORÁS, 2005), em importantes parâmetros de controle de qualidade durante o armazenamento. Objetivou-se, com o trabalho, verificar o efeito da relação de intermitência, do processo de beneficiamento e do tempo de armazenamento nos efeitos imediatos e latentes em parâmetros qualitativos do produto final.

3.2.2 Material e Métodos

3.2.2.1 Material

Foi utilizado arroz, em casca, classe grãos longo finos, produzido em sistema irrigado na região sul do Rio Grande do Sul.

A colheita dos grãos, com umidade próxima a 20%, foi feita com colhedora automotriz, sendo transportados e acondicionados em ambiente climatizado, a 17°C, no próprio laboratório de pesquisas. Os experimentos foram executados nas

instalações do Laboratório de Pós Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

3.2.2.2 Métodos Experimentais

O delineamento utilizado foi o completamente casualizado, num esquema fatorial 3X2X4 (3 condições de secagem – S1:1, S1:2 e S1:4 X 2 processos de beneficiamento - Convencional e Parboilizado X 4 tempos de armazenamento - Meses), com 3 repetições para cada tratamento, conforme diagrama a seguir (Figura 25).



Figura 25 - Representação do delineamento experimental.

A secagem foi conduzida em um secador intermitente piloto, modelo Vitória Laboratório, sob diferentes condições de relação de intermitência: 1:1 (Secagem 1:1), 1:2 (Secagem 1:2) e 1:4 (Secagem 1:4), entre a câmara de secagem e de equalização, em três repetições, com ar em temperatura crescente de $70\pm 5^{\circ}\text{C}$, $90\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $100\pm 5^{\circ}\text{C}$, respectivamente na 1ª, 2ª e da 3ª até a penúltima hora, havendo redução gradual da temperatura do ar na última hora da operação.

Logo após o término de cada operação de secagem, os grãos foram misturados para que ocorresse a uniformização da umidade. Em seguida, as amostras foram divididas em partes iguais e então armazenadas durante nove meses em sacos de polipropileno, em condições ambientais com controle técnico operacional.

3.2.2.3 Avaliações

As análises foram todas realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, DCTA-FAEM-UFPEL. Foram analisados os conteúdos de umidade, peso volumétrico, desempenho industrial, parâmetros de cocção e atributos sensoriais de acordo com a metodologia oficial.

3.2.2.3.1 Umidade

O grau de umidade foi estabelecido através do método de estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, com circulação natural de ar, por 24 horas, de acordo com o método oficial de análises de sementes preconizado pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992).

3.2.2.3.2 Massa específica

Determinado utilizando-se balança de peso hectolitro Dalle Molle com capacidade de $\frac{1}{4}$ de litro, sendo necessária transformação para kg.m^{-3} e balança eletrônica digital com precisão de 0,01 g. Os resultados são a média de cinco repetições expressos em kg.m^{-3} .

3.2.2.3.3 Operações de Beneficiamento Industrial

As amostras de arroz em casca foram coletadas após a secagem, ao 3º, 6º e 9º meses de armazenamento, sendo submetidas aos processos de beneficiamento convencional (branco polido) e de parboilização, no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, usando metodologia desenvolvida no próprio laboratório (ELIAS, 1998).

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, na qual foram retiradas as impurezas e materiais estranhos que prejudicam o fluxo do produto no processo, danificando os equipamentos e reduzindo a qualidade do produto final.

3.2.2.3.3.1 Processo Convencional

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).

- Descascamento

Após a limpeza, os grãos foram desprovidos das glumelas (lema e pálea), na operação denominada de descascamento, realizada em engenho de provas Zaccaria, de acordo com as recomendações prescritas no manual de operações fornecido pelo fabricante. Os grãos que não tivessem sua casca removida na primeira passagem, denominados marinheiros, foram separados manualmente, pesados e descontados da amostra original.

- Polimento

O polimento também foi realizado no engenho de provas Zaccaria, onde as amostras permaneceram por um minuto e quinze segundos no brunidor, tempo determinado de acordo com testes preliminares.

- Separação dos grãos quebrados

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

- Identificação e separação de defeitos

A identificação e a separação dos grãos com defeitos foram realizadas de acordo com os termos, conceitos e caracterização constantes da Portaria n° 269, de 17 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1988).

Os testes foram executados em amostras de grãos polidos em que houve separação prévia daqueles que apresentaram defeitos metabólicos e/ou não metabólicos.

Após estas etapas as amostras estavam prontas para as análises posteriores.

3.2.2.3.3.2 Processo Parboilizado

A parboilização é um processo hidrotérmico que altera a forma do amido de cristalina para amorfa durante a gelatinização, havendo posterior retrogradação. O processo contribui na redução das perdas de industrialização dos grãos, bem como no incremento do valor nutricional, além de aumentar a estabilidade no armazenamento e no transporte (AMATO *et al.*, 2002).

No processo de parboilização do arroz, as operações correspondentes às do beneficiamento convencional são precedidas pelo tratamento hidrotérmico, que em geral consta de quatro etapas: hidratação ou encharcamento, autoclavagem, secagem e temperagem. Após essas etapas, os grãos foram submetidos, de maneira similar ao sistema convencional, às operações de descascamento, polimento, separação de quebrados e de grãos com defeitos. A hidratação tem por finalidade promover a entrada de água no interior do grão, aproveitando a propriedade que tem o amido de absorver cerca de 30% do seu peso em água, tomando o espaço ocupado pelo ar dentro do grão. A temperatura utilizada foi um pouco inferior à temperatura de gelatinização e esse valor é próprio para cada cultivar. Após a hidratação, o arroz é geralmente submetido à autoclavagem, a qual tem por objetivo promover a gelatinização do amido, que é facilitada pelo fato de o grão estar com umidade alta e energia gerada pelo calor da água de hidratação.

De cada tratamento, foi coletada uma amostra de arroz em casca pesando 1,0kg, que após ser parboilizada e processada, serviu para a realização das avaliações posteriores.

- Operação unitária de hidratação ou encharcamento

As amostras de cada tratamento foram acondicionadas em sacos de filó, identificadas e colocadas em latas. Nas latas era adicionada água na proporção grãos/água de 1:1,5; com temperatura (da água) de 2°C acima da temperatura da água dos tanques de encharcamento, onde as latas eram imersas. Esses tanques são dotados de termostatos e resistências elétricas para manter a água na temperatura desejada. Através de testes preliminares foram definidos os parâmetros de tempo e temperatura recomendados, sendo verificado que esse cultivar possui temperatura média de gelatinização de 65±2°C, e encharcamento ideal com tempo de 5 horas e 30 minutos, em água.

- Autoclavagem:

Realizada em autoclave horizontal, modelo FABBE-104C, a $116\pm 1^{\circ}\text{C}$, com pressão de $0,35\pm 0,05\text{kgf.cm}^{-2}$, por 15 minutos, conforme metodologia proposta por Elias (1998).

- Secagem:

Realizada após o escoamento do excesso de água livre das amostras por gravidade. Foi usado secador de amostras de cabine, desenvolvido pelo próprio Laboratório de Grãos, dotado de ventilador axial, com motor monofásico de 1cv de potência, e de resistência elétrica, com 500W de potência, ambos alimentados por tensão de 220V. O equipamento foi regulado para que a temperatura do ar de secagem se mantivesse em $40\pm 5^{\circ}\text{C}$. As amostras permaneceram secando até que os grãos atingissem umidade próxima a 13%.

- Temperagem:

As amostras foram mantidas em repouso, por 72 horas, fora do secador, sem contato com correntes de ar, para minimizar os efeitos dos gradientes térmicos e hídricos dos grãos, antes de submetê-las às demais operações.

3.2.2.3.4 Desempenho Industrial

Segundo a legislação brasileira, arroz beneficiado é o produto maduro que depois de submetido ao processo de beneficiamento acha-se desprovido de sua casca (BRASIL, 1988).

Todas as amostras foram submetidas às operações de limpeza e seleção em protótipos de máquinas de ar e peneiras planas e cilíndricas, na qual são retirados as impurezas e materiais estranhos que prejudicam o fluxo do produto no processo, danificando os equipamentos e reduzindo a qualidade do produto final.

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).

Para a avaliação do índice de grãos inteiros sem defeitos (rendimento), utilizou-se 100 gramas de amostra, com três repetições de cada tratamento.

Após a limpeza, os grãos foram desprovidos das glumelas, numa operação denominada de descascamento, realizada em engenho de provas Zaccaria, de

acordo com as recomendações prescritas no manual de operações fornecido pelo fabricante.

Normalmente, uma determinada quantidade de arroz passa pelo equipamento sem ser descascado, denominados “marinheiros”, estes foram separados manualmente. No brunimento ou polimento realizado no mesmo engenho de provas Zaccaria, as amostras permaneceram um minuto, tempo determinado de acordo com testes preliminares. A passagem do grão esbramado pelo interior do brunidor promove uma abrasão em sua superfície, removendo as camadas periféricas da cariopse (pericarpo, película da semente, nucela, aleurona e parte do endosperma amiláceo), as quais originam o farelo. Na indústria, por sua vez, normalmente o brunimento é realizado por passagens sucessivas dos grãos de arroz por uma série de cones, até ser atingido o grau de polimento desejado, diminuindo assim as quebras durante a operação.

O material descascado e polido ainda passou pela seleção de inteiros e quebrados, realizada em *trieur* (cilindro alveolado) do próprio engenho de provas, que faz a separação dos grãos por comprimento, onde as amostras ficavam por um minuto, sendo complementada manualmente a operação.

A separação de defeitos dos grãos de arroz foi realizada de acordo com os termos, conceitos e caracterização constantes da Portaria n° 269, de 17 de novembro de 1988, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1988).

3.2.2.3.5 Parâmetros de Cocção

Essas características foram avaliadas de acordo com a metodologia proposta por Martinez & Cuevas (1989), com adaptações.

As amostras, cozidas simultaneamente em chapa de ferro aquecida por energia elétrica, em painéis apropriadamente desenvolvidas para tal experimento eram compostas de 30g de arroz, sendo adicionada água com temperatura a 95°C, medida com auxílio de proveta determinando-se as diferentes proporções de água conforme o processo de beneficiamento do arroz (convencional ou parboilizado). Após a adição da água, as painéis foram tampadas, mantendo o controle da temperatura em termômetro. O tempo de cocção foi marcado por cronômetro digital quando a temperatura da água da panela atingisse 80°C, e deixando cozinhar sempre cuidando para que não ocorresse transbordamento.

Foram avaliadas as características de cocção das amostras de arroz nas diferentes relações de intermitência das secagens intermitente, pelos parâmetros de rendimento volumétrico e rendimento gravimétrico, dos grãos inteiros sem defeitos, processados pelos sistemas convencional e parboilizado, após a secagem, aos 3, 6 e 9 meses posteriores.

Para a avaliação do rendimento em volume e da absorção de água na cocção, que corresponde ao rendimento gravimétrico (em peso) foi utilizada metodologia calibrada no Laboratório de Grãos da UFPel, a qual consiste na avaliação de volume dos grãos de arroz antes da cocção e após esta, com medidas dos volumes equivalentes em água. O rendimento volumétrico é obtido através da divisão do volume final, sem compressão dos grãos cozidos, pelo volume inicial do arroz cru.

O rendimento gravimétrico de cocção, que corresponde à absorção de água pelos grãos durante o cozimento, foi calculado pela diferença percentual entre os pesos do arroz cozido e da amostra crua. Testes preliminares foram feitos e trabalhou-se com a proporção de água de 2,0 a 2,2:1, para o processo convencional de industrialização e 2,4 a 2,6:1 para a condição de parboilizado.

3.2.2.3.5.1 Rendimento Volumétrico

As avaliações de volume e rendimento de cocção foram realizadas pelo método utilizado por Cruz (2001), com adaptações. O volume inicial do arroz cru e o volume final do arroz cozido foram determinados através de medição, com paquímetro, das dimensões da massa de grãos contida na panela, sendo aplicada a equação do volume do cilindro, $\pi.r^2.h$, onde π é uma constante matemática igual a 3,14; r o raio do recipiente (panela); e h a altura ocupada pelo arroz nesse recipiente antes (h_i) e após (h_f) o cozimento. Conforme o volume inicial (V_i) e o final (V_f) do arroz foi calculado o rendimento volumétrico, expresso em percentagem (%), de acordo com a equação abaixo.

$$Rv = \left(\frac{V_f}{V_i} \right) . 100$$

em que:

Rv = Rendimento volumétrico (%);

Vf = Volume final - arroz cozido (cm³);

Vi = Volume inicial - arroz cru (cm³).

3.2.2.3.5.2 Rendimento gravimétrico

O rendimento gravimétrico (Rg) foi determinado pelo quociente entre o peso final Pf (arroz cozido) e o inicial Pi (arroz cru), conforme equação abaixo.

$$Rg = \left(\frac{Pf}{Pi} \right) \cdot 100$$

em que:

Rg = Rendimento gravimétrico (%);

Pf = Peso final - arroz cozido (g);

Pi = Peso inicial - arroz cru (g).

3.2.2.3.6 Atributos Sensoriais

A avaliação sensorial foi realizada através do teste com uma escala linear não estruturada de nove centímetros, possuindo em seus extremos termos descritivos, conforme as Figuras 26 e 27. Nesse teste foram utilizados os procedimentos para o monitoramento de qualidade de arroz, os quais detectaram o grau de diferença e a caracterização dos atributos cor, brilho, odor, soltabilidade, firmeza e sabor de cada amostra, utilizando uma equipe de julgadores treinados e experientes, habituados com avaliações diárias de grãos de arroz no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos.

O cozimento das amostras de arroz foi feito da mesma forma utilizada para as avaliações de parâmetros de rendimentos, descrito no item 3.2.2.3.5. O arroz foi servido em temperatura de consumo (65°C) em recipientes de porcelana, de cor branca, codificados com números de três dígitos aleatórios.

Teste de avaliação de atributos, escala não estruturada – PPGCTA/UFPEL
AVALIAÇÃO SENSORIAL DE ARROZ COZIDO

NOME: _____ **DATA** ___/___/___

INSTRUÇÕES: Você vai receber amostras de ARROZ. Avalie da esquerda para a direita as características sensoriais solicitadas, registrando com um traço vertical na escala.

COR

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	branco acinzentado	branco	amarelo claro	amarelo	amarelo forte
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				

BRILHO

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	opaco	ligeiramente opaco	regularmente opaco	moderadamente brilhoso	muito brilhoso
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				

ODOR

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	característico branco	ligeiramente alterado	parboilizado fraco	característico parboilizado	parboilizado forte
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				

Comentários adicionais:

Figura 26 – Ficha para avaliação de cor, brilho e odor do arroz cozido, com escala não estruturada.

Teste de avaliação de atributos, escala não estruturada – PMDCTA/UFPEL

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE ARROZ COZIDO

NOME: _____ DATA ___/___/___

INSTRUÇÕES: Você vai receber amostras de ARROZ. Avalie da esquerda para a direita as características sensoriais solicitadas, registrando com um traço vertical na escala.

SOLTABILIDADE

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	grãos bem separados	parcialmente separados	regularmente soltos	grudados	grãos pastosos
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				

FIRMEZA

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	grãos em massa mole	grãos moles	grãos macios firmes	grãos firmes mastigáveis	grãos com centro duro
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				

SABOR

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	característico branco	ligeiramente alterado	parboilizado fraco	característico parboilizado	parboilizado forte
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				
_____	_____				

Comentários adicionais:

Figura 27 – Ficha para avaliação de soltabilidade, firmeza e sabor do arroz cozido, com escala não estruturada.

3.2.3 Resultados e Discussão

3.1.3.1 Umidade

Na Tabela 05 são apresentadas as condições psicrométricas ambientais, de junho de 2006 a fevereiro de 2007, durante o armazenamento na região e no armazém onde ocorreu o experimento.

Tabela 5 – Condições psicrométricas ambientais da região de Pelotas e do armazém, durante o armazenamento dos grãos de arroz em casca, de junho de 2006 a fevereiro de 2007

Mês	Condições da região			Condições do armazém	
	Temp. mínima(°C)	Temp. máxima(°C)	UR(%)	Temp. média(°C)	UR(%)
Junho	0	30,8	86,7	17	75
Julho	3,2	28,8	84,0	17	75
Agosto	-0,4	31,0	82,5	17	75
Setembro	0,2	32,2	81,6	17	75
Outubro	7,0	34,4	80,5	17	75
Novembro	8,0	33,2	76,1	18	70
Dezembro	13,6	35,6	79,9	18	70
Janeiro	11,4	35,6	77,2	18	70
Fevereiro	12,6	36,2	77,2	18	70

FONTE: Estação Agroclimatológica de Pelotas. Convênio UFPEL-EMBRAPA.

Na Tabela 06 são apresentadas as percentagens médias de umidade de grãos de arroz em casca, submetidos à secagem intermitente, sob três diferentes relações de intermitência, e armazenados durante nove meses, em sistema convencional, em sacaria de ráfia trançada com controle técnico operacional de temperatura (17°C) e umidade relativa do ar (70%).

Tabela 6 – Umidade (%) dos grãos de arroz em casca, sob três secagens, armazenados em sistema convencional*

Relação de Intermitência	Meses de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	b 12,49 B	a 13,45 A	a 13,22 A	a 12,71 B
1:2	a 12,98 A	a 13,29 A	a 12,88 A	a 12,82 A
1:4	b 12,37 B	a 13,18 A	a 12,82 AB	a 12,78 AB

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Analisando-se os resultados da Tabela 06, verifica-se que a secagem foi eficiente, ficando todos os tratamentos ao redor de 12,5 a 13% de umidade, valor indicado para o armazenamento de grãos em casca pela recomendação oficial para o Sul do Brasil (SOSBAI, 2005).

Observa-se ainda que, os grãos absorveram água durante principalmente os três primeiros meses de armazenamento, um decréscimo de grau de umidade até o sexto mês, e apresentando certa estabilidade hídrica até o final do experimento, confirmando, portanto, a tendência ao equilíbrio higroscópico, cujas velocidades e intensidades dependem da diferença entre o grau de umidade com que os grãos saem do secador e o da umidade em que entram em equilíbrio com o meio onde são armazenados.

O comportamento do grau de umidade, independentemente da relação de intermitência aplicada na secagem, confirma o caráter dinâmico do equilíbrio higroscópico, que provoca nos grãos, mesmo após a estabilidade hídrica ser adquirida, ligeiras variações de umidade, acompanhando as condições ambientais regionais de temperatura e umidade relativa do ar.

A reduzida amplitude de variação entre os valores de grau de umidade verificados é devida ao manejo técnico operacional mantido durante o armazenamento, com controle de temperatura e de pragas (expurgo). Esse fato encontra explicação na literatura (ELIAS, 2002, 2007).

Grãos de arroz, mesmo não tendo boa condutibilidade térmica, mas por serem organismos vivos, com estruturas intra e intergranular porosa e composição química que lhes confere higroscopicidade, estão em constantes trocas de calor e de umidade com o ar ambiente, assim, pelo sistema convencional de

armazenamento, esses grãos são expostos aos efeitos das variações das características psicrométricas do ar ambiente (ELIAS, 2008).

3.2.3.2 Peso volumétrico

Na Tabela 07 estão apresentados os valores de peso volumétrico dos grãos de arroz em casca, submetidos à secagem intermitente, sob três relações de intermitência, e armazenados durante nove meses, em sistema convencional, em sacaria de ráfia trançada e controle técnico operacional.

Tabela 7 – Peso volumétrico (kg.m^{-3}) dos grãos de arroz em casca, sob três secagens, armazenados em sistema convencional*

Relação de Intermitência	Meses de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	a 564,29 A	b 559,65 AB	b 557,53 B	b 552,56 B
1:2	a 562,43 A	a 562,31 A	a 559,29 A	a 555,23 B
1:4	a 563,25 A	a 564,75 A	a 560,25 A	a 557,84 B

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Observando-se os dados da Tabela 07 é possível verificar que as secagens não interferiram significativamente no peso volumétrico dos grãos até o sexto mês de armazenamento nas condições de maior relação de intermitência, havendo redução do peso dos grãos na condição de secagem 1:1. A partir do 6º mês as condições de maiores temperaturas (Tabela 05) aceleraram o metabolismo dos grãos, aumentando o consumo de reservas e reduzindo o peso volumétrico.

3.2.3.3 Desempenho industrial

O estudo de rendimento industrial inclui análises de integridade física, com avaliação de teores de grãos inteiros e quebrados, e de incidência de defeitos.

Os rendimentos ou as percentagens de grãos de arroz inteiros, submetidos à secagem intermitente, sob três relações de intermitência, armazenados durante nove meses pelo sistema convencional, e beneficiados pelos processos convencional e por parboilização, são apresentados, respectivamente, pelas Tabelas 08 e 09.

Tabela 8 – Grãos inteiros (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Relação de Intermitência	Meses de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	c 57,55 AB	c 58,67 A	c 57,43 AB	c 56,68 B
1:2	b 59,61 A	b 59,48 A	b 59,04 A	b 58,87 A
1:4	a 61,64 A	a 61,81 A	a 61,52 A	a 61,34 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Tabela 9 – Grãos inteiros (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Relação de Intermitência	Meses de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	b 68,1 A	b 68,4 A	b 68,3 A	b 67,3 A
1:2	a 69,4 A	a 69,7 A	a 69,6 A	a 68,3 A
1:4	a 69,6 A	a 69,5 A	a 69,2 A	a 68,5 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Pelos dados da Tabela 08 verifica-se que, para o beneficiamento convencional, a secagem com relação de intermitência de 1:4 oferece as maiores percentagens de grãos inteiros ao longo de todo o período avaliado, sendo que a secagem com relação de intermitência de 1:2, apresenta o segundo maior índice. Já a secagem com relação de intermitência de 1:1, apresenta, em todas as avaliações desse processo de beneficiamento, os menores índices de inteiros. Elias et al. (2007), relatam que os principais danos causados aos grãos de arroz durante a secagem com grandes remoções de pontos percentuais horários de umidade são o trincamento, a formação da crosta periférica, a alteração de coloração, a desestruturação do amido e a morte do próprio grão, que provoca, reduções no rendimento industrial e no valor comercial.

No caso dos grãos beneficiados pelo processo de parboilização (Tabela 09), os resultados não apresentam diferenças significativas entre as secagens com maiores relações de intermitência, as quais são significativamente maiores do que nos grãos secados com relação de intermitência 1:1.

A parboilização reduziu as diferenças de integridade física entre as amostras secadas em diferentes relações de intermitência. O comportamento é similar aos relatados por Rombaldi et al. (1998) e Amato et al. (2002), que demonstraram ser o beneficiamento dos grãos de arroz por parboilização capaz de reduzir a percentagem de grãos quebrados.

Os defeitos totais em grãos de arroz, submetidos à secagem intermitente, sob três condições de relação de intermitência, armazenados durante nove meses pelo sistema convencional, e beneficiados pelos processos convencional e parboilizado, são apresentados, respectivamente, pelas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Defeitos totais (%), em grãos de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Relação de Intermitência	Meses de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	a 1,27 B	a 1,38 B	a 1,57 AB	a 1,75 A
1:2	a 1,07 B	a 1,30 AB	a 1,36 AB	a 1,54 A
1:4	a 1,11 B	a 1,40 AB	a 1,36 AB	a 1,64 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Tabela 11 – Defeitos totais (%), em grãos de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Relação de Intermitência	Meses de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	a 2,17 B	a 2,40 AB	a 2,51 AB	a 2,81 A
1:2	a 2,19 A	a 2,23 A	a 2,30 A	ab 2,36 A
1:4	a 2,17 A	a 2,16 A	a 2,19 A	b 2,28 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Os dados das Tabelas 10 e 11 demonstraram que entre os tratamentos com maiores relação de intermitência não há diferença significativa, mas a relação de intermitência 1:1 predispõe mais os grãos a quebra (Tabela 08) e a incidência de defeitos (Tabela 10 e 11). Os grãos beneficiados pelo processo convencional (tabela 10) apresentam os menores índices de defeitos totais, os quais se intensificam com a parboilização (Tabela 11).

A incidência de defeitos gerais é maior em secagens muito rápidas as quais favorecem as atividades metabólicas dos grãos, elevando a ocorrência de defeitos imediatos e latentes. Barbosa (2006) relata que as condições de secagem a que os grãos foram submetidos influenciam, de maneira significativa, as percentagens de defeitos de origem biológica.

Observa-se que independentemente do manejo de secagem, a incidência de defeitos totais (Tabela 10 e 11) aumenta ao longo do tempo de armazenamento, acompanhando o comportamento da incidência de defeitos de origem metabólica. Elias (2007) afirma que os defeitos de origem metabólica se intensificam com a presença de umidade e calor, durante o armazenamento.

Nos grãos parboilizados, normalmente, os resultados não apresentam variações significativas, exceto para a condição de relação de intermitência 1:1, no nono mês de armazenamento onde apresentou o maior índice. A parboilização, em média, aumenta os defeitos de origem metabólica, entretanto, reduz alguns de natureza não metabólica, principalmente no que diz respeito à recuperação de grãos gessados, que após gelatinização do seu amido e eliminação do ar ocluso em seu interior, apresentam-se translúcidos. Rombaldi et al. (1998) afirmam que a

parboilização permite atenuar o trincamento e a desestruturação do amido do grão, entretanto, intensifica o aparecimento de defeitos gerais e graves.

Os rendimentos ou as percentagens de grãos de arroz inteiros sem defeitos, submetidos à secagem intermitente, sob três diferentes relações de intermitência, e armazenados durante nove meses pelo sistema convencional, e beneficiados pelos processos convencional e parboilizado, são apresentados, respectivamente, pelas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Grãos inteiros sem defeitos (%), de arroz, sob três secagens, armazenados, beneficiados por processo convencional*

Relação de Intermitência	Meses de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	c 56,28 AB	b 57,29 A	b 55,91 AB	c 54,91 B
1:2	b 58,54 A	b 58,18 A	b 57,68 A	b 57,33 A
1:4	a 60,53 A	a 60,41 A	a 60,15 A	a 59,70 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Tabela 13 – Grãos inteiros sem defeitos (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados por processo parboilizado*

Relação de Intermitência	Meses de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	a 65,93 A	a 66,00 A	a 65,79 A	a 64,49 A
1:2	a 67,21 A	a 67,34 A	a 67,01 A	a 65,94 A
1:4	a 67,43 A	a 67,47 A	a 67,30 A	a 66,22 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Analisando-se os dados das Tabelas 12 e 13 verifica-se que, para o beneficiamento convencional e por parboilização, a secagem com relação de intermitência de 1:4 oferece as maiores percentagens de grãos inteiros sem defeitos ao longo de todo o período avaliado, sendo que a secagem com relação de intermitência de 1:2, apresenta o segundo maior índice. Já a secagem com relação de intermitência de 1:1 apresenta, em todas as avaliações desse processo de beneficiamento, os menores índices de inteiros sem defeitos. Cnossen e Siebenmorgen (2000), Aquerreta (2007), relatam que as trocas descontroladas de

estado, devido ao uso de temperaturas superiores à temperatura de transição vítrea do arroz, são responsáveis pelo aumento de trincados e quebrados na secagem do grão em casca. Elias et al. (2006) afirmam ser a redução do rendimento industrial um dos principais danos causados aos grãos de arroz durante a secagem com altas temperaturas.

Observa-se que o tempo de armazenamento interferiu negativamente para os tratamentos analisados, principalmente para a relação de intermitência 1:1, beneficiados pelo processo convencional, devido a essa condição de secagem ser mais favorável às atividades metabólicas.

No caso dos grãos beneficiados pelo processo de parboilização os resultados não apresentam diferenças significativas entre as secagens. Contudo, destaca-se a secagem com uso de relação de intermitência 1:1, que através desse processo aumentou consideravelmente os índices de grãos inteiros sem defeitos, principalmente em relação aos resultados apresentados pelos grãos submetidos a essa mesma condição, porém processados pelo sistema convencional, indicando que a parboilização recupera os grãos quebrados, conforme demonstrado por diversos autores (AMATO e SILVEIRA FILHO, 1991; ROMBALDI et al., 1998; AMATO et al., 2005).

3.2.3.4 Parâmetros de cocção

O estudo dos parâmetros de cocção constam das avaliações de rendimento volumétrico, rendimento gravimétrico e tempo de cocção.

As percentagens do rendimento volumétrico e rendimento gravimétrico, de grãos de arroz cozido, submetidos à secagem intermitente, sob três relações de intermitência, armazenados em sistema convencional, e beneficiados pelos processos convencional e parboilizado, são apresentados, respectivamente, pelas Tabelas 14, 15, 16 e 17.

Tabela 14 – Rendimento volumétrico (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	a 280,18 A	a 281,80 A	a 287,89 A	a 290,57 A
1:2	a 283,71 A	a 282,15 A	a 290,13 A	a 294,76 A
1:4	a 281,03 A	a 284,15 A	a 290,51 A	a 291,77 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Tabela 15 – Rendimento volumétrico (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	a 288,24 A	a 292,55 A	a 295,60 A	a 299,47 A
1:2	a 291,11 A	a 290,51 A	a 293,21 A	a 298,68 A
1:4	a 289,51 A	a 295,24 A	a 295,79 A	a 295,30 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Tabela 16 - Rendimento gravimétrico (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	a 388,18 A	a 381,80 A	a 387,89 A	a 390,57 A
1:2	a 383,71 A	a 382,15 A	a 390,13 A	a 394,76 A
1:4	a 381,03 A	a 384,15 A	a 390,51 A	a 391,77 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Tabela 17 - Rendimento gravimétrico (%), de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	a 384,20 A	a 392,55 A	a 395,60 A	a 399,47 A
1:2	a 391,11 A	a 390,51 A	a 393,21 A	a 398,68 A
1:4	a 389,51 A	a 395,24 A	a 395,79 A	a 397,30 A

* Médias aritméticas simples, de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$);

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 14 e 16, verifica-se não haver interferências entre os efeitos das relações de intermitência na secagem sobre o rendimento volumétrico e gravimétrico na cocção do arroz branco polido. Comportamento semelhante ocorreu na cocção do arroz parboilizado (Tabela 15 e 17). Os resultados obtidos estão compatíveis com os relatados por Gularte (2004) e Morás (2005).

Os tempos de cocção em minutos, de grãos de arroz cozido, submetidos à secagem intermitente, sob três relações de intermitência, armazenados em sistema convencional, e beneficiados pelos processos convencional e parboilizado, são apresentados, respectivamente, pelas Figuras 28 e 29.

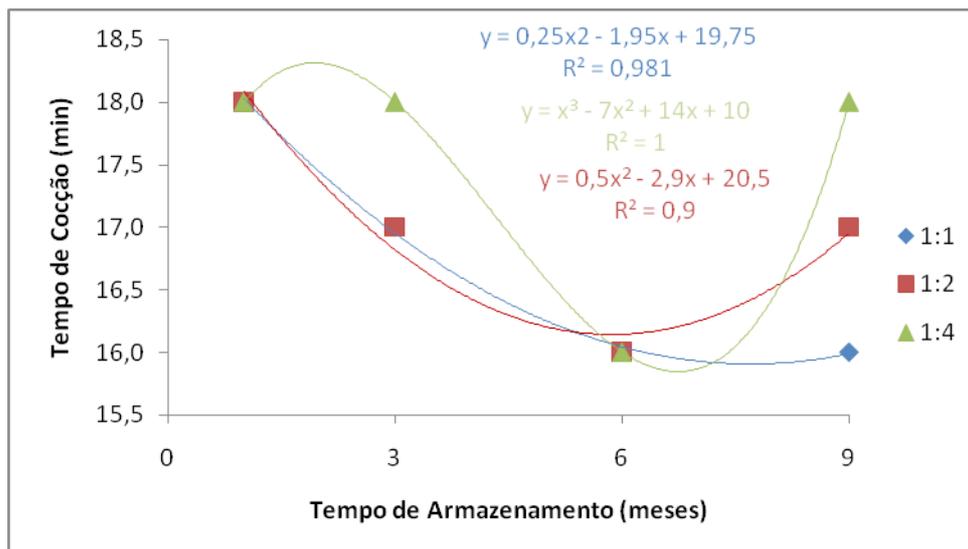


Figura 28 – Tempo de cocção de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional

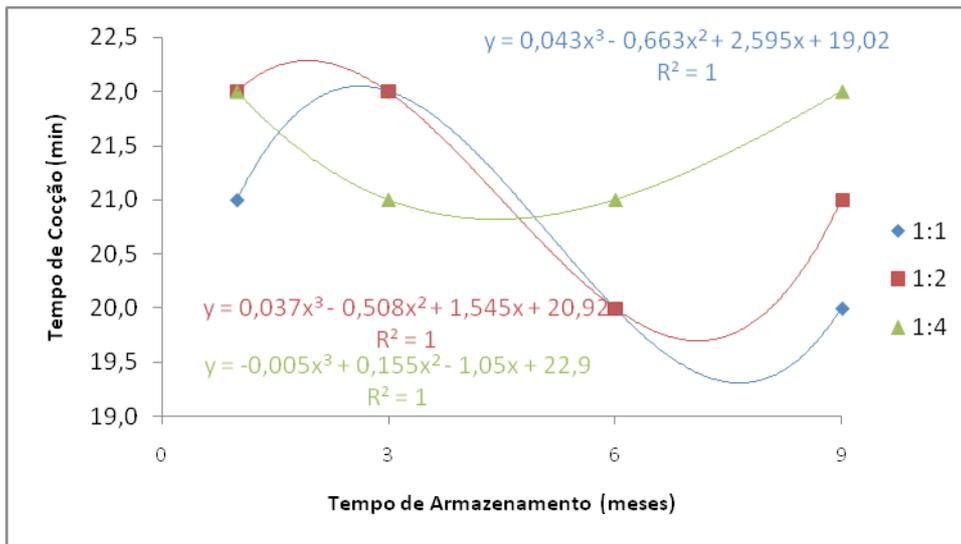


Figura 29 – Tempo de cocção de arroz, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado

Verifica-se nas Figuras 28 e 29 que os valores de tempo de cocção, permanecem na faixa 16 a 18 minutos para o processo convencional e de 20 a 22 minutos para o processo parboilizado, não havendo diferença técnica operacional no tempo de cocção entre os tratamentos.

Analisando-se os comportamentos exibidos pela análise de regressão polinomial, observa-se que o processo de parboilização aumentou consideravelmente o tempo de cocção, em relação ao processo convencional. Já o tempo de armazenamento avaliado não interferiu nos resultados apresentados pelos grãos parboilizados. A gelatinização, decorrente do processo de parboilização, promove a expansão dos grânulos de amido, ocupando os espaços intragranulares e as áreas de ruptura da região interna dos grãos, uniformizando o tempo de cocção, ao contrário dos resultados mostrados pelo processo convencional, que possui uma tendência de reduzir o tempo de cocção conforme aumenta o tempo de armazenamento.

3.2.3.5 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial constou da análise dos atributos cor, brilho, odor, soltabilidade, firmeza e sabor do arroz polido cozido, obtidos pelo teste de avaliação de atributos com escala sensorial não estruturada de 9cm, submetidos à secagem intermitente, sob três diferentes relações de intermitência, armazenados em sistema

convencional, e beneficiados pelos processos convencional e parboilizado, são apresentados, pelas Tabelas 18 a 27.

Tabela 18 – Cor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	branco acinzentado	branco acinzentado	branco acinzentado	branco acinzentado
1:2	branco típico	branco típico	branco típico	branco típico
1:4	branco típico	branco típico	branco típico	branco típico

Tabela 19 – Cor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	creme	creme	creme	creme
1:2	creme	creme	creme	Creme
1:4	creme	creme	creme	creme

Tabela 20 – Brilho do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	moderadamente opaco	moderadamente opaco	moderadamente opaco	moderadamente opaco
1:2	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco
1:4	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco

Tabela 21 – Brilho do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco
1:2	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco
1:4	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco	ligeiramente opaco

Tabela 22 – Odor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	odor neutro	odor neutro	odor neutro	odor neutro
1:2	odor neutro	odor neutro	odor neutro	odor neutro
1:4	odor neutro	odor neutro	odor neutro	odor neutro

Tabela 23 – Odor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico
1:2	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico
1:4	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico

Tabela 24 – Soltabilidade do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	moderadamente soltos	moderadamente soltos	moderadamente soltos	moderadamente soltos
1:2	moderadamente soltos	moderadamente soltos	moderadamente soltos	moderadamente soltos
1:4	moderadamente soltos	moderadamente soltos	moderadamente soltos	moderadamente soltos

Tabela 25 – Soltabilidade do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	soltos	soltos	soltos	Soltos
1:2	soltos	soltos	soltos	Soltos
1:4	soltos	soltos	soltos	Soltos

Tabela 26 – Sabor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo convencional*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	sabor neutro	sabor neutro	sabor neutro	sabor neutro
1:2	sabor neutro	sabor neutro	sabor neutro	sabor neutro
1:4	sabor neutro	sabor neutro	sabor neutro	sabor neutro

Tabela 27 – Sabor do arroz cozido, sob três secagens, armazenados e beneficiados pelo processo parboilizado*

Condições de secagens	Mês de armazenamento			
	1º	3º	6º	9º
1:1	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico
1:2	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico
1:4	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico	parboilizado típico

Pelas Tabelas 18 a 27 verifica-se que, para cada atributo e em cada processo de beneficiamento, os resultados demonstram não haver diferenças sensoriais intensas entre os tratamentos, nem ao longo do período de armazenamento avaliado. No entanto os grãos submetidos à secagem com menor relação de intermitência, beneficiados pelo processo convencional, apresentam resultados sensoriais com tendência a alterações de cor e brilho, demonstrando que o uso de secagem mais drástica no arroz prejudica suas características sensoriais. Brooker et al. (1992); Elias (1998); Luangmalawa (2008) confirmam que o uso de temperaturas elevadas na secagem de grãos, entre outros danos, causam alterações na cor dos grãos.

Os grãos beneficiados pelo processo de parboilização apresentam resultados mais uniformes, sem diferenças expressivas entre os tratamentos, demonstrando que a parboilização acaba alterando as características sensoriais do arroz convencional, promovendo escurecimento, menor brilho, sabor e odor característicos a esse processo e grãos mais separados (AMATO e ELIAS, 2005).

Amato et al. (2002) relatam que o processo de parboilização tende a acentuar a cor dos grãos de arroz, tornando-os amarelo claro ou âmbar, sendo que esse é um escurecimento não enzimático devido às Reações de Maillard, tendo como fatores

determinantes o tratamento térmico e a concentração relativamente alta de açúcares redutores e aminoácidos, intensificado pelo aumento da temperatura e do tempo de encharcamento, bem como o tratamento com vapor.

3.2.4 Conclusões

a) As oscilações do teor de água são mais dependentes das condições ambientais e do tempo de armazenamento do que da relação de intermitência utilizada na secagem;

b) As relações de intermitência na secagem influenciam na integridade física, na incidência de defeitos e nas propriedades sensoriais, mas não interferem no peso volumétrico durante o armazenamento e nem nos parâmetros de cocção;

c) A parboilização e o aumento do tempo de armazenamento provocam intensificação de defeitos, de coloração e de odor no arroz independentemente da relação de intermitência utilizada na secagem dos grãos;

d) Para os mesmos tempos de armazenamento, o aumento da relação de intermitência reduz a incidência de grãos quebrados e de defeitos nos grãos.

REFERÊNCIAS

- ABUD-ARCHILA, M., COURTOIS, F. BONNAZI, C., BIMBENET, J. J. Processing quality of rough rice during drying. **Journal of Food Engineering**, v.45, n.3, p.161-179, 2000.
- AFONSO JUNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n.3, p.349-353, 1999.
- AFONSO JUNIOR, Paulo César. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 373f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- AKPINAR, E.K; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.99-104, 2003.
- AMATO, G.W.; CARVALHO, J.L.V.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Editora Ricardo Lenz, 2002. 240p.
- AMATO, G.W.; ELIAS, M.C. **A Parboilização do Arroz**. Porto Alegre: Editora Ricardo Lenz, 2005. 160p.
- AMATO, G.W.; SILVEIRA FILHO, S. **Parboilização de arroz no Brasil**. Porto Alegre: CIENTEC, 1991. 91p.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ 2007**. Editora Gazeta Santa Cruz: 2007. 128p.
- AOSANI, Elvio. **Efeitos da temperatura do ar de secagem e das condições de armazenamento sobre a conservabilidade de grãos de soja**. 2007. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- AQUERRETA, J.; IGUAZ, A.; ARROQUI, C.; VÍRSEDA, P. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. **Journal of food engineering**, v.80, p. 611-618, 2007.
- BAKKER-ARKEMA, F.W. High temperature grains drying. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE GRÃOS – SECAGEM E ARMAZENAMENTO. Outubro, 1993, Canela, R.S. **Anais...** Porto Alegre: CESA, p.163-176, 1994.
- BARBOSA, F. F.; ELIAS, M. C.; FAGUNDES, C. A. A.; PEREIRA, F. M.; RADÜNZ, L. L.. Efeitos das secagens estacionária e intermitente e do tempo de armazenamento

no desempenho industrial de grãos de arroz. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.30, n.1, p.83-90, 2005.

BARBOSA, F. F.; MILMAN, M. J. M.; FAGUNDES, C. A.; MARTINS, I. G.; SCHOWNKE, O. N.; NETO, A.C.C.; PETER, M. Z.; ELIAS, M.C. Effect of Stationary and Intermittent Drying on Latent Damages in Rice Grains Stored. In: 9TH INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED PRODUCT PROTECTION, 2006, Campinas. **Proceedings...** ABRAPÓS, 2006.

BARBOSA, Fabrizio da Fonseca. **Avaliação do tempo de residência no campo e da temperatura do ar de secagem sobre o teor e sobre a composição química do óleo essencial de erva-cidreira (*Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown)**. 2005. 76f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BARROZO, M.A.S.; MURATA, V.V. Modelagem e simulação da secagem de sementes de soja em leito deslizante com escoamentos concorrentes e contracorrentes. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 1996, Uberlândia, **Anais**.

BASUNIA, M.A.; ABE, T. Moisture desorption isotherms of médium grain rough rice. **Journal of Stored Products Research**, v.37, p.205-219, 2001.

BOEMEKE, Luiz Roberto da Silva. **Desempenho energético e qualidade de grãos nas secagens estacionária e intermitente de arroz**. 2000. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 1992. 365p.

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. p. 68-91.

CANEPPELE, C. et al. Simulação de secagem de arroz (*Oryza sativa* L) em secadores por convecção natural. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 17, n.1, p.10-19, 1992.

CARLESSO, V.O.; BERBERT, P.A.; SILVA, R.F.; VIANNA, A.P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R.G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n.3, p.444-448, dez.2005.

CHEN, C.; WU, P.C. Thin-layer drying model for rough rice with high moisture content. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 80, n.1, p.45-52, 2001.

CIHAN, A.; KAHVECI, K.; HACIHAFIZOGLU, O. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. **Journal of Food Engineering**, Article in press, 2006.

CNOSSSEN, A.G. & SIEBENMORGEN, T.J. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering: effect on milling quality. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, Michigan: ASAE – Paper 4306, 1661, 2000.

CNOSSSEN, A. G.; JIMÉNEZ, M.J.; SIEBENMORGEN, T.J. Rice Fissuring response to high drying and tempering temperatures. **Journal of food engineering**, v.59, p. 61-69, 2003.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: www.conab.org.br. Acesso em: Junho de 2008.

CRUZ, L.H.M.P. **Ácidos orgânicos e tratamentos hidrotérmicos na conservação do arroz**. Pelotas: UFPEL, 2001. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

DAHLBERG, B.. Seed drying and Conditioning. In: First Annual Conference presented by, Seed Science Center, ISU. 21-22 August,1978, Ames, Iowa. **Anais...Ames: J.S.Burris 1978. p. 25-32.**

DENARDIN, C.C.; WALTER, M.; SILVA, L.P. Influência do beneficiamento na composição nutricional em farelo de arroz. II SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE QUALIDADE DE ARROZ. **Anais...Pelotas: Abrapós, 2005, 660p.**

DOYMAZ, I. Drying behavior of green beans. **Journal of Food Engineering**, v.69, p.161-165, 2005.

ELETROBRÁS. **PROCEL – Programa de combate ao desperdício de energia elétrica**. Ministério das Minas e Energia. Brasília, 2008. 70p.

ELIAS, M.C. & ROMBALDI, C.V. Efeito de duas condições de secagem intermitente na renda e rendimento de engenho de grãos de arroz (*Oryza sativa*, L.), irrigado, variedades Bluebelle e BR-IRGA 409. In: REUNIÃO TÉCNICA DO ARROZ IRRIGADO, 18. Porto Alegre, 1989. **Anais... Porto Alegre, IRGA, 1989.**

ELIAS, M.C. **Efeitos da espera para secagem e do tempo de armazenamento na qualidade das sementes e grãos do arroz irrigado**. Pelotas, 1998. 164f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ELIAS, M.C. **Secagem e armazenamento de grãos, em média e pequena escala**. 1 ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2000.156p.

ELIAS, M.C. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade**. 1 ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2007.422p.

ELIAS, M.C. Tecnologias para armazenamento e conservação de grãos, em médias e pequenas escalas. 3ª Ed. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 2002. 218p.

ELIAS, M.C.; BARBOSA, F. F.; KROLOW, W.S.; NEVES, F.M.; CELLA, G.; GULARTE, M.A. Grain quality and energy consumption by evaluation intermittent methods of rice drying. In: 9TH INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED PRODUCT PROTECTION, 2006, Campinas. **Proceedings: ABRAPÓS, 2006.**

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v.63, p.349-359, 2004.

FAGUNDES, C. A. A.; ELIAS, M. C.; BARBOSA, F. F. Desempenho industrial de arroz secado com ar aquecido por queima de lenha e de GLP. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.30, n.1, p.8-15, 2005.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://fao.org>. Acesso em: Junho de 2008.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Balance Sheet. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical**

Databases (FAOSTAT), FAOSTAT Agriculture Data, 2004. Disponível em: <http://fao.org>. Acesso em: Junho de 2008.

FARONI, L. R. D. **Determinação do rendimento do arroz (cultivar Ir 841) após a secagem às temperaturas de 50, 60 e 70°C, para períodos de repouso de 30, 60, 120 e 180 minutos.** 1983. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FERREIRA, Alisson Luis Bach. **Desenvolvimento de um secador intermitente de fluxos concorrentes-contracorrentes para arroz parboilizado.** 2003. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FONTANA, C. **Propriedades físicas e térmicas do arroz.** Edições UFSM. (Caderno didático). 1986. 68p.

GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação. 2004. 899p.

GONÇALVES, P.R.; ELIAS, M.C.; RODRIGUES, M.R.A.; CHAGAS, C.D.; BRISOLARA, G.F.; ZIEMERMAN, M.A. Perfil cromatográfico dos ácidos graxos em arroz. II SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE QUALIDADE DE ARROZ, 2005, Pelotas, **Anais...** Abrapós, 2005.

GONELLI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; RESENDE, O; RIBEIRO, D.M. Equilíbrio higroscópico do arroz em casca. II **Congresso Brasileiro da Cadeia Produtiva de Arroz e VIII Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz - RENAPA:** Anais, 2006. 1 CD ROM.

GUIMARÃES, E.P. **Reunião Técnica do Arroz Irrigado, 7.** 22-25 Agosto, 1989, Campinas, SP. Anais... Campinas: UNICAMP, 1989.

GULARTE, M.A. **Metodologia analítica e características tecnológicas e de consumo na qualidade do arroz.** 2005. 95f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2005.

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.

HARRINGTON, J.F. Seed storage and longevity. **Seed Science & Technologie.**, v.1, n.2, p. 453-61, 1973.

HELBIG, E. **Efeitos da amilose e do processamento na formação e estabilidade do amido resistente em arroz.** 2007. 135f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

HOSENEY, R.C. **Princípios de ciencia y tecnología de los cereales.** Editoria Acribia, S.A.. Zaragoza. España, 1991. 320p.

IGUAZ, A.; VÍRSEDA, P. Moisture desorption isotherms of rough rice at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, Article in press, 2006.

- IRGA – Instituto Riograndense do Arroz. Disponível em: <http://irga.rs.gov.br>. Acesso em: Junho de 2008.
- KUNZE, O. R.; CALDERWOOD, D. L., **Systems of drying of rice**. In: HALL, C.W. Drying and storage of agricultural crops. Westport: Connecticut, 1980. p.68-91.
- LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J.T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, v.61, p.173-179, 2004.
- LAMBERTS, L.; BIE, E.D.; VANDEPUTTE, G.E.; VERAVERBEKE, W.S.; DERYCKE, V.; MAN, W.D.; DELCOUR, J.A. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. **Food Chemistry**. Article in press, 2006.
- LASSERAN, J. C. Princípios gerais da secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**. v.1, N.3, p.17-46, 1978.
- LUANGMALAWAT, P.; PRACHAYAWARAKORN, S; NATHAKARANAKULE, A.; Somchart SOPONRONNARIT, S. Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. **LWT**. v.41, p.716-723, 2008.
- LUZ, M.L.G.S.; ELIAS, M.C.; LUZ, C.A.S. **Avaliação do tempo de temperagem para arroz parboilizado**. Lavoura Arrozeira. Porto Alegre: IRGA, v.46, n.409, p.3-7, 1993.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996.
- MARTINEZ, C. Y CUEVAS, F. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. **Guia de estudo**. Cali: CIAT, 1989, 75p.
- MENEGHETTI, V.L.; CELLA, G.; NETTO, A.C.C.; PEREIRA, F.M.; GELAIN, J.; ELIAS, M.C. Consumo energético em secagens estacionária e intermitente, e conservabilidade de grãos de arroz. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO E XXVI REUNIÃO DA CULTUA DO ARROZ IRRIGADO. **Anais ...** Santa Maria: SOSBAI, 2005.
- MILMAN, M.J. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 2002. 206p.
- MILMAN, Mário José. **Manejo da relação de intermitência e da temperatura do ar na secagem industrial do arroz**. 2001. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial)- Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MOHAPATRA, D. RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of food engineering**, v.66, p. 513-518, 2005.
- MORÁS, A. **Terra de diatomácea no controle de pragas de arroz armazenado e seu efeito nas características de consumo**. 2005. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial)- Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- 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, p.1019-1025, 1999(suplemento).
- MÜNCHOW, R. **Fluxo de ar, consumo de energia e qualidade de grãos na secagem estacionária de arroz**. 2005. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência e

Tecnologia Agroindustrial)-Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

NEVES, E. G. C. **Eletrotécnica Geral**. Pelotas. UFPel, 1999. 208p.

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.

PRACHAYAWARAKORN, S.; POOMSA-AD,N.; SOPONRONNARIT, S. Quality maintenance and economy with high-temperature paddy-drying processes. **Journal of food engineering**, v.41, p. 333-351, 2005.

RESENDE,O.; CORRÊA, P.C.; GONELLI, A.L.D.; MARTINAZZO, A.P.; RIBEIRO, R.M. Contração Volumétrica na Difusão Líquida Durante o Processo de Secagem de Arroz em Casca . **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 30, n.2, p.163-171, 2005.

RESENDE,Osvaldo. **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2006. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ROMBALDI, César Valmor. **Condições de secagem e tempo de armazenamento na qualidade industrial do arroz (*Oryza sativa* L.)**. 1988. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SANTOS, Geverson Lessa. **Manejo térmico no tempo de secagem, na eficiência energética e nas características industriais e de consumo do arroz**. 2004. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

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.

SILVA, J. S.; DONZELES, S. M. L.; AFONSO, A.. D. L. Qualidade dos grãos. In: SILVA, J. S., **Pré-Processamento de Produtos Agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995.

SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L.; LOPES, R.P., Energia no pré-processamento de produtos agrícolas. In: SILVA, J.S., **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Editora Aprenda Fácil, Viçosa, MG. 2000. CD ROM.

VIANNA, V.A.; PEIXOTO A.; CUNHA , J.D.C. Efeito de maceração sobre o rendimento e o tempo de cocção de sete cultivares de arroz. In: Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 10. **Anais...** Porto Alegre, p.196-197, 1980.

WEDZICHA, B.L. & VAKALIS, N. Kinetics of the sulphitinhibited Maillard reaction: the effect of the sulphite ion. **Food Chemistry**. v.18, p.230-236, 1988.

ZANÃO, C.F.P., CANNIATTI-BRAZACA, S.G.C.; PIVA, C.P.; ARTHUR,V.; SARMENTO, S.B.S. Avaliação das características nutricionais do arroz comum (*Oryza Sativa* L.) Irradiado. II CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA

DE ARROZ E VIII REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 2006, Brasília.
Anais... Brasília: - RENAPA, 2006. 1 CD ROM.