

Universidade Federal de Pelotas
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos



Dissertação

**Efeitos do tempo de espera, temperatura de secagem e tempo de
armazenamento sobre propriedades tecnológicas e compostos fenólicos
de grãos de arroz com pericarpo vermelho**

Bruno Artur Rockenbach

Pelotas, 2018

Bruno Artur Rockenbach

Efeitos do tempo de espera, temperatura de secagem e tempo de armazenamento sobre propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de grãos de arroz com pericarpo vermelho

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Maurício de Oliveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Pelotas, 2018

Aos meus pais João e Marijane, a meus
irmãos Jonas e Igor e, a minha amada
Angela.

Agradecimentos

A Deus que, por Sua imensa bondade, colocou em meu caminho oportunidades, dando-me saúde e força para atingir meus objetivos.

Aos meus queridos pais, João Sérgio e Marijane Teresa Rockenbach, que sempre se preocuparam com a educação dos seus filhos, fontes de minha inspiração, por todo amor, carinho, apoio, oportunidades e compressão. Amo-os.

Aos meus bons irmãos Jonas Luis e Igor Armino Rockenbach, amigos inseparáveis, companheiros de todas as horas, por todo apoio, conselhos e zelo. Amo-os.

À minha amada namorada Angela Maria Kolesny, que em todos os momentos esteve ao meu lado, compartilhando momentos de alegria e ajudando-me a ultrapassar as dificuldades, por todo amor, carinho, apoio e compressão. Amo-te.

Ao amigo e orientador, Professor Dr. Maurício de Oliveira, pessoa admirável, que abriu as portas do LABGRÃOS para meu crescimento profissional e pessoal, pelas oportunidades, amizade, ensinamentos e orientação.

Aos meus amigos e co-orientadores Professor Dr. Moacir Cardoso Elias e Professor Dr. Nathan Levier Vanier pela acolhida, amizade, orientação, ensinamentos e oportunidades.

A todos os integrantes do Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, pela amizade, convivência e ensinamentos.

"Se eu enxerguei um pouco mais longe,
foi por me apoiar nos ombros de
gigantes."

Isaac Newton

Resumo

ROCKENBACH, Bruno Artur. **Efeitos do tempo de espera, temperatura de secagem e tempo de armazenamento sobre propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de grãos de arroz com pericarpo vermelho.** 2018. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas.

O arroz é um dos principais cereais produzidos e consumidos no Brasil e no mundo. A maior parcela do grão cultivado pertence ao arroz de pericarpo marrom, porém nos últimos anos tem crescido a procura dos consumidores a grãos que apresentem o pericarpo pigmentado devido principalmente aos benefícios proporcionados pelos mesmos a saúde. O arroz é colhido com umidade elevada sendo a secagem uma etapa fundamental para a manutenção da qualidade e do valor nutritivo do produto. Objetivou-se, no primeiro estudo, avaliar os efeitos imediatos e latentes provocados pelo tempo de espera para a secagem (imediata, 3 e 6 dias), bem como a temperatura de acondicionamento do material durante o período de espera (15° e 25°C) sobre os principais indicadores da qualidade do produto armazenado durante 12 meses. Os resultados deste primeiro estudo, mostram que o perfil colorimétrico dos grãos sofre alterações significativas como consequência das variações provocadas pelo tempo de espera para a secagem em compostos fenólicos e proantocianidinas. As propriedades químicas, físicas, industriais e de cocção dos grãos também são alteradas negativamente em função do tempo de espera, porém o arrefecimento da massa atenua os seus efeitos. Um segundo estudo teve por objetivo avaliar os efeitos imediatos e latentes da temperatura (40°, 60°, 80° e 100°C) empregada na secagem, realizada em secador de leito-fixo, bem como avaliar os efeitos da secagem natural, ao sol e, da secagem intermitente em escala industrial, sobre os principais parâmetros de avaliação da qualidade desses grãos durante 12 meses de armazenamento. Os resultados obtidos no segundo estudo indicam que a utilização de altas temperaturas na secagem provocam distúrbios fisiológicos e causam alterações negativas nos parâmetros químicos, físicos, industriais e de cocção dos grãos. Os compostos bioativos são afetados negativamente nos grãos submetidos a secagem na temperatura de 100°C. A utilização de temperaturas iguais ou inferiores a 60°C melhor preservaram o valor nutritivo e as qualidades industriais e de cocção dos grãos.

Palavras-Chaves: arroz de pericarpo vermelho; tempo de espera; temperatura de secagem; propriedades tecnológicas; compostos bioativos.

Abstract

ROCKENBACH, Bruno Artur. Effects of waiting time and drying temperature on technological properties and phenolic compounds of red rice grains. 2018. 121p. Dissertation (Master's Degree in Food Science and Technology) - Post-Graduate Program in Food Science and Technology. Federal University of Pelotas.

Rice is one of the main cereals produced and consumed in Brazil and the world. Most of the grain grown belongs to the brown pericarp rice, but in the last years the demand of the consumers has been increased to the grains that present the pigmented pericarp due mainly to the health benefits provided by them. The rice is harvested with high humidity and drying is a key step in maintaining the quality and nutritional value of the product. The objective of this study was to evaluate the immediate and latent effects caused by the waiting time for drying (immediate, 3 and 6 days), as well as the material storage temperature during the waiting period (15 ° and 25 ° C) on the main indicators of product quality stored for 12 months. The results of this first study show that the colorimetric profile of the grains undergoes significant changes as a consequence of the variations caused by the waiting time for drying in phenolic compounds and proanthocyanidins. The chemical, physical, industrial and cooking properties of the grains are also negatively altered due to the waiting time, but the cooling of the mass attenuates its effects. A second study aimed at evaluating the immediate and latent effects of temperature (40 °, 60 °, 80 ° and 100 ° C) used in drying in a bed-fixed dryer, as well as to evaluate the effects of natural drying, sun and intermittent drying on an industrial scale on the main parameters of evaluation of the quality of these grains during 12 months of storage. The results obtained in the second study indicate that the use of high temperatures in drying causes physiological disturbances and causes negative changes in the chemical, physical, industrial and cooking parameters of the grains. The bioactive compounds are adversely affected in the beans subjected to drying at a temperature of 100 ° C. The use of temperatures equal to or less than 60 ° C better preserved the nutritional value and the industrial and cooking qualities of the grains.

Keywords: red rice; waiting time; drying temperature; technological properties; bioactive compounds.

Listas de Figuras

Figura 1 – Distribuição geográfica espacial da produção brasileira de arroz safra 2016/2017	19
Figura 2 - Tendência de consumo de alimentos no Brasil.....	21
Figura 3 - Produtos que despertam desejo do consumidor quando são lançados no Brasil.	21
Figura 4 - Anel benzênico, característica estrutural apresentada pelos ácidos fenólicos	22
Figura 5 – Estrutura básica de alguns ácidos fenólicos	23
Figura 6 – O Flavan-3-ol caracteriza-se pela presença de um grupo hidroxila na posição 3.....	24
Figura 7 – Epicatequina, catequina e estrutura química de uma proantocianidina.....	25
Figura 8 – Exemplos de armazenamento convencional, semi-hermético e hermético.....	35
Figura 9 – Secador de leite fixo em escala laboratorial, protótipo LABGRAOS	39
Figura 10 – Curva padrão de ácido gálico.....	45
Figura 11 – Teor de umidade (%) de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e temperaturas de acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	47
Figura 12 – Solubilidade da proteína de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	51
Figura 13 – Efeitos do tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem sobre a massa de mil grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses	55
Figura 14 – Defeitos metabólicos totais em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	59
Figura 15 – Tempo de Cocção de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	60
Figura 16 – Velocidade de hidratação de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	61
Figura 17 – Fenóis totais em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	65

Figura 18 – Proantocianidinas* totais em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	66
Figura 19 – Dinâmica de secagem de grãos de arroz de pericarpo vermelho secados em secador de leito fixo com temperaturas do ar de entrada de 40°C, 60°C, 80°C e 100°C	79
Figura 20 – Temperatura da massa de grãos de arroz de pericarpo vermelho secados em secador de leito fixo com temperaturas do ar de entrada de 40°C, 60°C, 80°C e 100°C	80
Figura 21 – Umidade (bu) de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses	80
Figura 22 – Percentual de germinação de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens	82
Figura 23 – Proteína solúvel* de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses	85
Figura 24 – pH de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.....	87
Figura 25 – Massa de mil grãos de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.....	89
Figura 26 – Rendimento de grãos inteiros, segundo a IN N°06 de 2009 do MAPA, de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.....	92
Figura 27 - Velocidade de hidratação de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.....	96
Figura 28 – Imagem dos grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens, aos 12 meses de armazenamento, após a cocção	99
Figura 29 – Fenóis totais* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens	101

Listas de Tabelas

Tabela 1 - Potenciais efeitos benéficos a saúde, promovidos pela ingestão de proantocianidinas e monômeros de Flavan-3-ol.....	26
Tabela 2 - Tipificação de arroz em casca natural - Limites máximos de tolerância expressos em %/peso para enquadramento de tipo.....	29
Tabela 3 - Processos, sistemas e métodos de secagem de grãos	31
Tabela 4 – Delineamento experimental: Efeitos do tempo de espera para secagem sobre as propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho.....	46
Tabela 5 - Composição química de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e temperaturas de acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	47
Tabela 6 - Efeitos do tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem sobre o valor L* de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses.....	49
Tabela 7- Efeitos do tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) sobre o valor a* de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses.....	50
Tabela 8 - Efeitos do tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) sobre o valor b* de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses.....	50
Tabela 9 – Condutividade elétrica* de grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	53
Tabela 10 - pH de grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem	54
Tabela 11 - Grãos inteiros integrais* em grãos arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	56
Tabela 12 – Rendimento de inteiros polidos* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem	57
Tabela 13 – Defeitos totais* em grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	58
Tabela 14 – Tipificação* de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	60
Tabela 15 – Dureza* após a cocção de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem.....	62

Tabela 16 - Compostos fenólicos solúveis* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem	63
Tabela 17 - Compostos fenólicos insolúveis* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem	64
Tabela 18 - Delineamento experimental: Efeitos da temperatura de secagem sobre as propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho.....	78
Tabela 19 – Composição Química de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens.....	81
Tabela 20 – Valor L* de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens	83
Tabela 21 – Valor a* de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens	84
Tabela 22 – Valor b* de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens	85
Tabela 23 – Condutividade elétrica* de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses	88
Tabela 24 – Inteiros* (%) após descascamento em grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses ...	91
Tabela 25 - Defeitos Totais* (%) de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.....	93
Tabela 26 – Tipificação* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens	94
Tabela 27 - Tempo cocção* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.....	95
Tabela 28 – Dureza* após a cocção de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.....	97
Tabela 29 – Grãos íntegros (%) após o processo de cocção, de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.....	98
Tabela 30 - Compostos Fenólicos solúveis* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens	99
Tabela 31 – Compostos Fenólicos insolúveis* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens ...	100
Tabela 32 – Proantocianidinas* totais em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens.....	103

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivos:	17
1.1.1. Objetivos gerais	17
1.1.2. Objetivos específicos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2. 1. Importância sócio econômica do arroz.....	18
2. 2. O arroz pigmentado	19
2. 3. Arroz de pericarpo vermelho	23
2. 4. Espera para secagem	27
2. 5. Secagem	30
2. 6. Armazenamento	34
3. CAPITULO 1: EFEITOS DO TEMPO DE ESPERA PARA SECAGEM SOBRE AS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE ARROZ DE PERICARPO VERMELHO	37
3.1. Introdução	37
3.2. Materiais e Métodos.....	39
3.2.1. Material	39
3.2.2. Métodos.....	40
3.2.2.1. Composição química.....	40
3.2.2.2. Perfil colorimétrico.....	40
3.2.2.3. Proteína solúvel	40
3.2.2.4. Condutividade elétrica.....	41
3.2.2.5. pH dos grãos	41
3.2.2.6. Peso de mil grãos.....	41
3.2.2.7. Rendimento de inteiros integrais após o descascamento	41
3.2.2.8. Rendimento de inteiros IN MAPA 6/2009	42
3.2.2.9. Defeitos totais.....	42
3.2.2.10. Defeitos metabólicos	42
3.2.2.11. Tipificação	42
3.2.2.12. Tempo de cocção.....	42
3.2.2.13. Velocidade de hidratação	43
3.2.2.14. Dureza após a cocção	43
3.2.2.15. Compostos fenólicos	43

3.2.2.15.1. Obtenção do extrato para fenólicos solúveis	43
3.2.2.15.2. Obtenção do extrato fenólicos insolúveis	44
3.2.2.15.3. Quantificação de compostos solúveis e insolúveis totais	44
3.2.2.16. Proantocianidinas.....	45
3.2.2.17. Estatística.....	45
3.2.3. Delineamento experimental	46
3.3. Resultados e Discussões.....	47
3.4. Conclusão.....	68
4. CAPITULO 2 : EFEITOS DA TEMPERATURA DE SECAGEM SOBRE AS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE ARROZ DE PERICARPO VERMELHO	69
4.1. INTRODUÇÃO	69
4.2. Materiais e Métodos.....	71
4.2.1. Material.....	71
4.2.2. Métodos.....	71
4.2.2.1. Composição química:	71
4.2.2.2. Germinação:	72
4.2.2.3. Perfil colorimétrico:	72
4.2.2.4. Proteína solúvel:	72
4.2.2.5. Condutividade elétrica:	73
4.2.2.6. pH dos grãos:	73
4.2.2.7. Peso de mil grãos	73
4.2.2.8. Rendimento de inteiros após o descascamento	73
4.2.2.9. Rendimento de inteiros IN MAPA 6/2009	74
4.2.2.10. Defeitos totais	74
4.2.2.11. Tipificação	74
4.2.2.12. Tempo de cocção.....	74
4.2.2.13. Velocidade de hidratação	74
4.2.2.14. Dureza.....	75
4.2.2.15. Integridade dos grãos após a cocção	75
4.2.2.16. Compostos fenólicos	75
4.2.2.16.1. Obtenção do extrato para fenólicos solúveis:	75
4.2.2.16.2. Obtenção do extrato fenólicos insolúveis:	76
4.2.2.16.3. Quantificação de compostos solúveis e insolúveis totais:	76

4.2.2.17. Proantocianidinas:	77
4.2.2.18. Estatística:	77
4.2.3. Delineamento experimental	78
4.3. Resultados e Discussões.....	79
4.4 Conclusão.....	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

1. Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos principais cereais cultivados no mundo. No continente asiático concentram-se os maiores produtores desse cereal, que juntos colheram no ano 2017 cerca de 646,9 milhões de toneladas, isto significa 89,1% do total produzido no mundo (USDA, 2017). Fora do continente asiático o Brasil é o principal produtor, produzindo 12.327,8 milhões de toneladas na safra 2016/2017 (CONAB, 2017).

Mais de 85% do arroz consumido no mundo são poucos pigmentados, conhecidos como: “arroz branco” (OKI et al., 2002). Hoje em dia, diversas variedades que apresentam o pericarpo pigmentado, como o arroz de pericarpo vermelho, tem recebido grande atenção por parte dos consumidores, devido principalmente, aos compostos bioativos presentes nesses grãos e os seus benefícios a saúde (FINOCCHIARO et al., 2007; FINOCCHIARO et al., 2010).

Fisiologicamente os grãos de arroz atingem o ponto colheita com umidade elevada e neste estágio os grãos apresentam o máximo de matéria seca acumulada e a permanência por período prolongado o expõe a deiscência natural, ações climáticas e alta pressão de insetos, fungos e ácaros, que contribuem para depreciação quantitativa e qualitativa do produto. Logo conclui-se que é fundamental que a colheita seja iniciada assim que grão apresente umidade adequada para a operação. A colheita do arroz é realizada quando os grãos apresentam teor de água entre 19 e 24% (VILLELA e PESKE, 1998).

Uma vez que os grãos são geralmente colhidos com umidade elevada, a secagem imediata constitui uma das operações de primordial importância entre as técnicas envolvidas na conservação da qualidade e na manutenção do valor nutritivo do produto.

Porém, muitas vezes, por questões de infraestrutura e logística, os grãos precisam aguardar para a secagem, sendo que o tempo decorrido entre a colheita e a secagem, e a temperatura do ambiente em que ocorre a espera apresentam grande influência sobre a conservabilidade dos grãos e sua qualidade, pois a demora para iniciar a secagem intensifica a incidência de danos imediatos e latentes (ELIAS et al., 2012b).

Problemas encontrados no processo de secagem de arroz com casca são similares aos de outros cereais, porém o arroz exige operação mais controlada, em razão da sua suscetibilidade a altas temperaturas de secagem e aos choques térmicos, devendo os mesmos ser controlados dentro de certos limites para evitar possíveis danos físico-químicos e biológicos às cariopses (ELIAS, 2002). Visto que o arroz é sensível a temperatura do ar de secagem, a ação de altas temperaturas pode ocasionar a degradação da qualidade desse alimento, tais como cor, substâncias nutricionais, capacidade de reidratação e microestrutura (AGUILERA, 2005; ATTANASIO et al., 2004; ÁVILA et al., 1999; BELLO et al., 2006; LEELAYUTHSOONTORN, et al. 2006).

Existem muitos trabalhos sobre arroz de pericarpo vermelho, porém poucos trabalhos abordam os efeitos do período de espera e da temperatura utilizada na secagem sobre os parâmetros de qualidade desses grãos.

Assim o objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos do tempo de espera para secagem e temperaturas do ar de secagem sobre os principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade dos grãos de arroz vermelho.

1.1. Objetivos:

1.1.1. Objetivos gerais

Avaliar os efeitos imediatos e latentes promovidos pela espera para secagem e pela temperatura de secagem sobre propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de grãos de arroz de pericarpo vermelho.

1.1.2. Objetivos específicos

1.1.2.1. Avaliar efeitos do tempo de espera para secagem antes e após o armazenamento sobre as propriedades tecnológicas e os compostos fenólicos do arroz de pericarpo vermelho.

1.1.2.2. Avaliar efeitos da temperatura de acondicionamento pré-secagem sobre as propriedades tecnológicas e os compostos fenólicos do arroz de pericarpo vermelho.

1.1.2.3. Avaliar efeitos da temperatura de secagem antes e após o armazenamento sobre as propriedades tecnológicas e os compostos fenólicos do arroz de pericarpo vermelho.

2. Revisão Bibliográfica

2. 1. Importância sócio econômica do arroz

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas (SOSBAI, 2012). É o terceiro cereal mais cultivado no mundo, ocupando área de 160,8 milhões de hectares, atingindo a marca de 726 milhões de toneladas produzidas em 2017 segundo USDA.

No mundo o consumo médio de arroz é de $60 \text{ kg.pessoa}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo que nos países asiáticos, onde são produzidos 90% desse cereal, apresentam as médias mais elevadas, situadas entre 100 e $150 \text{ kg.pessoa}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Na América Latina, são consumidos, em média, $30 \text{ kg.pessoa}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (SOSBAI, 2012).

Atualmente, o arroz é a cultura com maior potencial de aumento de produção e responde pelo suprimento de 20% das calorias consumidas na alimentação de pessoas no mundo. Em decorrência, desempenha papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar. Apesar do grande volume produzido, o arroz é um produto com pequeno comércio internacional. Os 10 países maiores produtores são, em ordem decrescente: China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Burma (Myanmar), Filipinas, Brasil e Japão (USDA, 2017).

O Brasil, produziu na safra 2016/2017 12.327,8 milhões de toneladas, participando de 82% da produção do Mercosul (CONAB, 2017). Destaca-se também como grande consumidor, $45 \text{ kg de arroz.pessoa}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (SOSBAI, 2012).

A figura 1 ilustra a distribuição geográfica espacial da produção brasileira de arroz na safra 2016/2017.

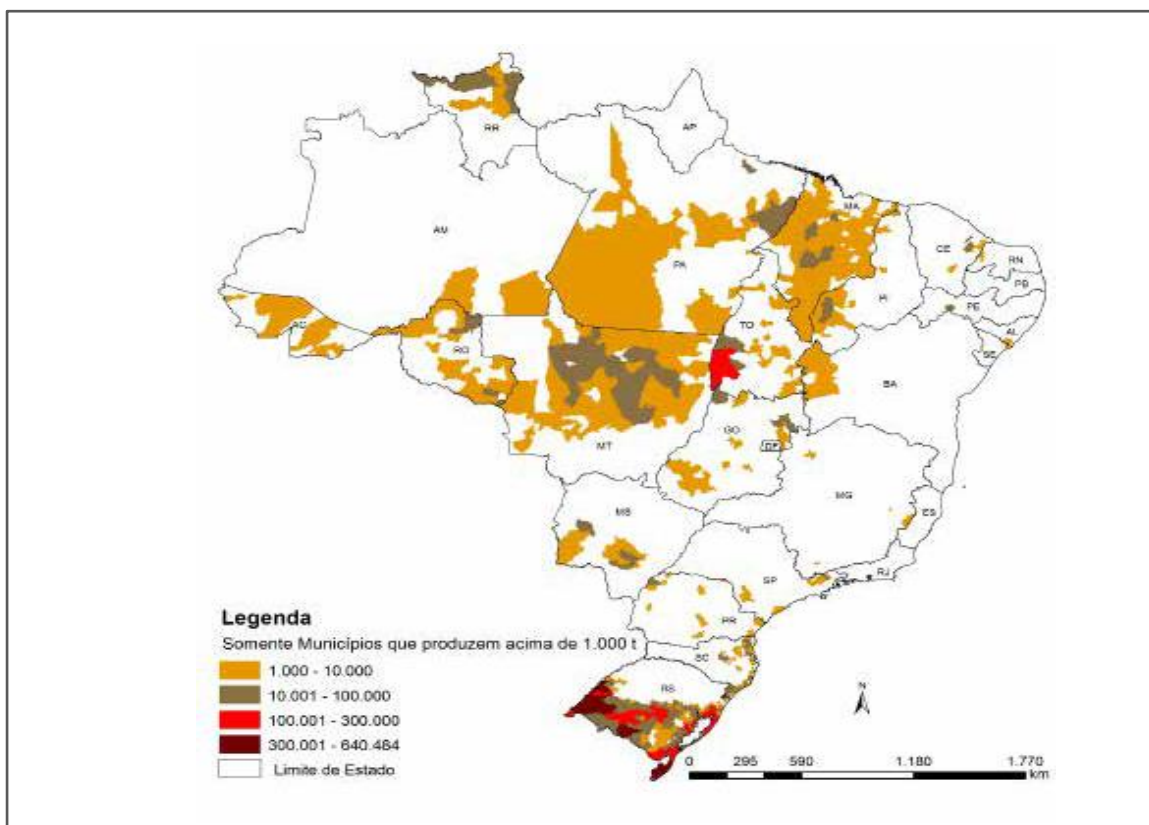


Figura 1 – Distribuição geográfica espacial da produção brasileira de arroz safra 2016/2017
Fonte: CONAB 2017

2. 2. O arroz pigmentado

Famoso pela sua parceria com o feijão, o arroz está presente na alimentação de 84% da população brasileira, segundo dados do IBGE (2009).

No Brasil, o arroz é consumido especialmente na forma de grãos inteiros, sendo conhecidos, em função da forma de processamento pós-colheita, como arroz polido, arroz integral e, arroz parboilizado, polido ou integral (VIEIRA et al., 2006).

A preferência nacional de consumo é pelo arroz branco, da classe longo fino, comercialmente conhecido como “arroz-agulhinha”, que é translúcido e apresenta a característica de ser mais solto, macio e firme após o cozimento (BARATA, 2005). O maior consumo, pouco mais de 70% do total, ainda é de arroz branco polido, seguido pelo arroz branco parboilizado (25%), ficando o arroz branco integral com 3 a 4% do que é consumido no país (ELIAS et al, 2012a).

A quantidade e a qualidade são aspectos importantes na produção, comercialização e consumo do arroz. Se antes o foco dos atores que atuam

nesta cadeia produtiva concentrava-se quase que exclusivamente na produção, hoje segue um caminho inverso, atentando-se no desejo dos consumidores para balizar as estratégias a serem seguidas pelo setor produtivo.

Neste sentido compete aos pesquisadores a geração de novas cultivares e variedades, bem como o desenvolvimento de tecnologias capazes de proporcionar altas produtividades com elevada qualidade, e ao produtor cabe conduzir a cultura com responsabilidade seguindo as orientações técnicas.

A qualidade abrange vários aspectos, desde a padronização e classificação do produto, até as características de aparência, textura e sabor, relacionadas com a preferência do mercado consumidor (GULARTE, 2012).

Vanier (2017), segmenta a qualidade do arroz em três níveis, visando atender diferentes nichos de mercado: 1) Ausência de defeitos metabólicos e não metabólicos nos grãos e ausência de adulterações. Neste nível estão os mercados menos exigentes; 2) Ausência de defeitos e adulterações, propriedades nutricionais e sensoriais específicas, compreendendo mercados um pouco mais exigentes; 3) Ausência de defeitos, propriedades nutricionais e sensoriais específicas e arroz com característica única e diferenciada, atendendo mercados com o mais alto nível de exigência.

Buscando atender as diferentes oportunidades de mercados e segmentos, pesquisadores têm selecionado linhagens de arroz pigmentado que apresentam requisitos para o padrão de aceitabilidade nacional e internacional.

O consumo do arroz pigmentado no Brasil situa-se em torno de 1-2% do arroz produzido, porém nos últimos anos observa-se uma crescente procura por alimentos que propiciam “sensorialidade e prazer” e “saúde e bem-estar” (Figura 2), sendo o arroz um dos produtos que mais despertam o interesse dos consumidores (Figura 3).

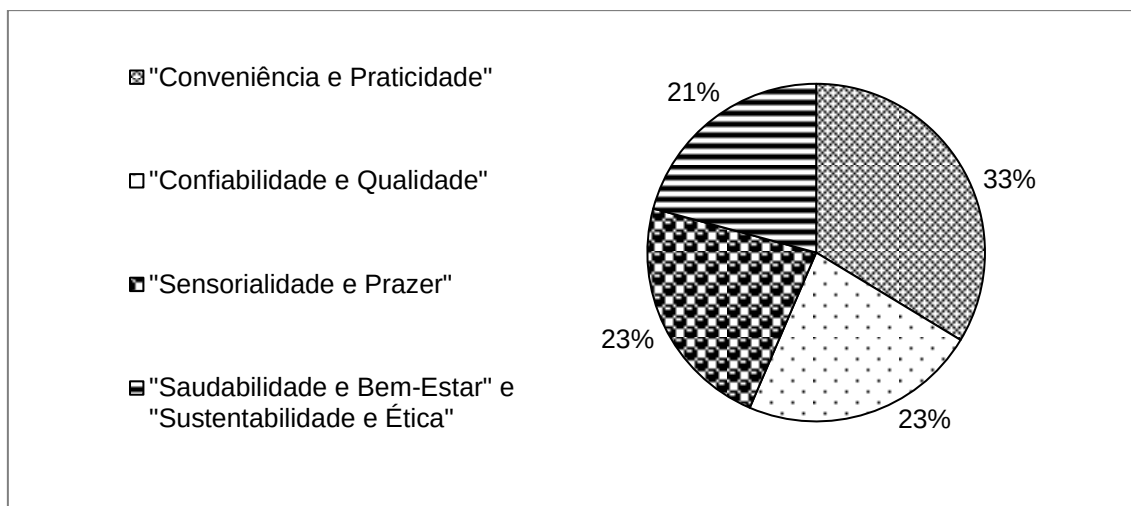


Figura 2 - Tendência de consumo de alimentos no Brasil
Fonte: FIESP/IBOPE 2010

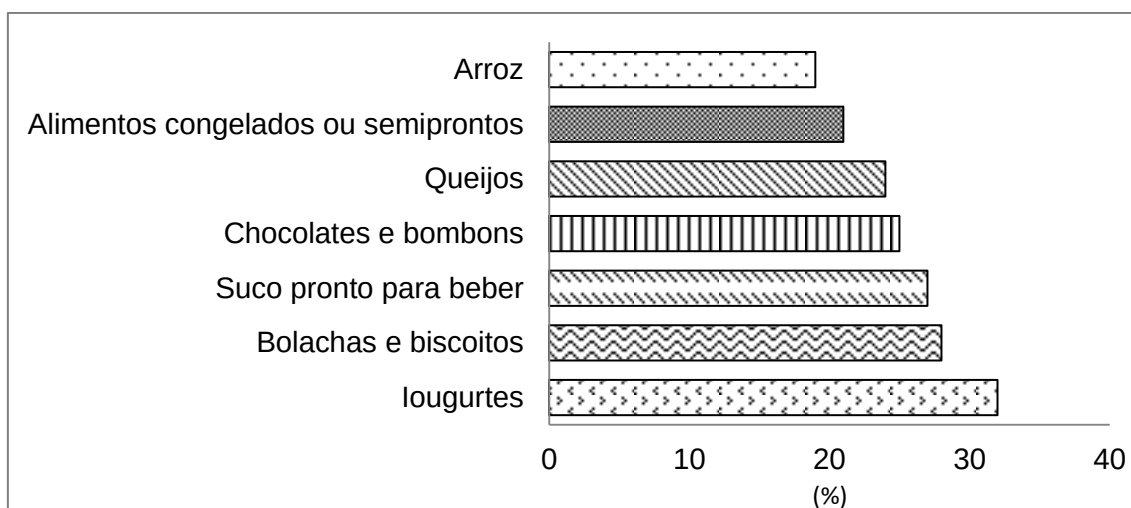


Figura 3 - Produtos que despertam desejo do consumidor quando são lançados no Brasil.
Fonte: FIESP/IBOPE 2010

As variedades de arroz pigmentado atraem o interesse do consumidor principalmente devido aos compostos bioativos presentes nesses grãos e os seus benefícios a saúde (FINOCCHIARO et al., 2007; FINOCCHIARO et al., 2010).

Genótipos de arroz pigmentados (preto e vermelho) apresentam teores de compostos fenólicos (livres e complexados) aproximadamente seis vezes superiores aos apresentados por genótipos não pigmentados (arroz branco) (MIRA et al., 2008).

Os ácidos fenólicos são caracterizados estruturalmente por apresentar um anel benzênico (Figura 4), sendo a diversidade dos grupamentos unidos a

este anel o diferencial entre variedades de ácidos fenólicos encontrados na natureza (ROBBINS, 2003). Quimicamente estes compostos podem ser mono ou policíclicos e mono ou polihidroxilados. (MIN et. al., 2012; NACZK et al., 2014; RONDINI et. al., 2004).

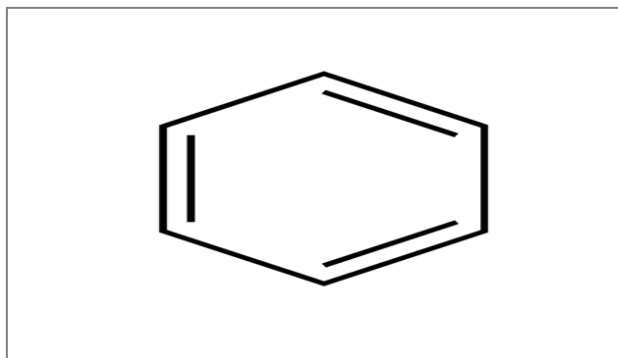


Figura 4 - Anel benzênico, característica estrutural apresentada pelos ácidos fenólicos

Em grãos de arroz, os ácidos fenólicos são encontrados principalmente no farelo, com poucos vestígios presentes no endosperma e podem estar presentes na forma solúvel (livres ou conjugados), extraídos por solventes polares, ou na forma insolúvel (ligados), que necessitam de uma hidrólise enzimática e alcalina para que a extração seja eficiente. (ALVES et al., 2016; SHAO et al. 2014b).

Na forma solúvel, os fenóis encontram-se nos grãos principalmente compartimentalizados dentro dos vacúolos celulares (BECKMAN, 2000). Já os compostos fenólicos ligados, estão unidos a estruturas da parede celular, tais como celulose, lignina, hemicelulose, pectina e proteínas estruturais (ADOM et al., 2002; WONG, 2006).

Entre estas frações fenólicas, os ligados são os mais abundantes, seguidos pelos conjugados, sendo os livres com menores participação (PARK et al., 2012; SHAO, et al. 2014a).

Os compostos fenólicos solúveis são absorvidos mais facilmente no estômago e no intestino delgado, sendo posteriormente distribuídos por todo o corpo, já os complexados são liberados de forma parcial no trato gastrointestinal, através de ação enzimática oriunda da micoflora existente no meio (ACOSTA-ESTRADA et al., 2014; CHANDRASEKARA et al., 2011).

A figura 5 apresenta a estrutura básica de alguns ácidos fenólicos.

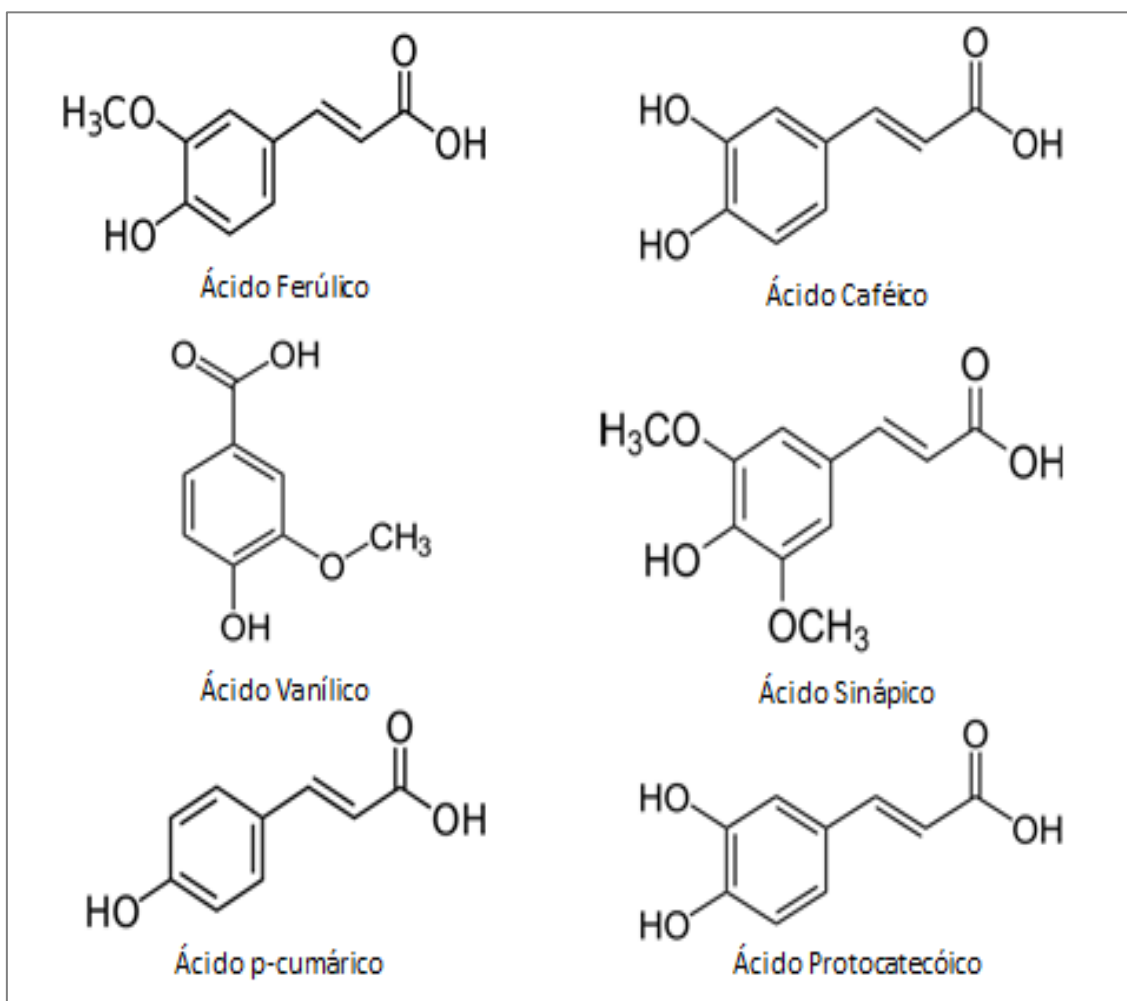


Figura 5 – Estrutura básica de alguns ácidos fenólicos

2. 3. Arroz de pericarpo vermelho

Também conhecido no Brasil como arroz-da terra, o arroz de pericarpo vermelho teve historicamente o seu cultivo restrito a pequenas áreas do semi-árido nordestino, sendo cultivado predominantemente por agricultores de base familiar, e se sobressaindo em relação ao arroz polido em conteúdos de ferro, zinco e compostos fenólicos (PEREIRA et al., 2009).

Lamentavelmente, por muitos, o arroz de pericarpo vermelho é ainda visto como uma planta invasora no cultivo de arroz branco e tem como principal limitante para a produção: a baixa produtividade. Em muitos casos os produtores utilizam sementes salvas, sem melhoramento e seleção, com alta segregação e variabilidade de características dos grãos (VANIÉR, 2017; SWEENEY et al., 2006).

Nos últimos anos pesquisadores têm despendido esforços no desenvolvimento de cultivares de arroz de pericarpo vermelho sendo lançadas para atender esse seguimento as cultivares SCS 119 Rubi, da EPAGRI, e BRS 901 e BRS 902, da Embrapa (VANIÉR, 2017).

As variedades de arroz de pericarpo vermelho são constituídas principalmente por proantocianidinas, também conhecidas como taninos condensados, que após oxidadas, são responsáveis pela coloração avermelhada dos grãos e, são considerados os antioxidantes mais eficazes presente na natureza (FINOCCHIARO et al., 2007; GOUFO et al, 2014; MIN et al. 2012; CHEN et al. 2012; MOHANLAL et al. 2013; GUNARATNE et al. 2013; QIU et al., 2010).

As proantocianidinas são dímeros, trímeros ou cadeias maiores de polímeros de flavan-3-ol (FOGAÇA, 2012). O flavan-3-ol (Figura 6) é composto por dois anéis aromáticos polihidroxilados (B e C), ligados a um anel pirano central (A).

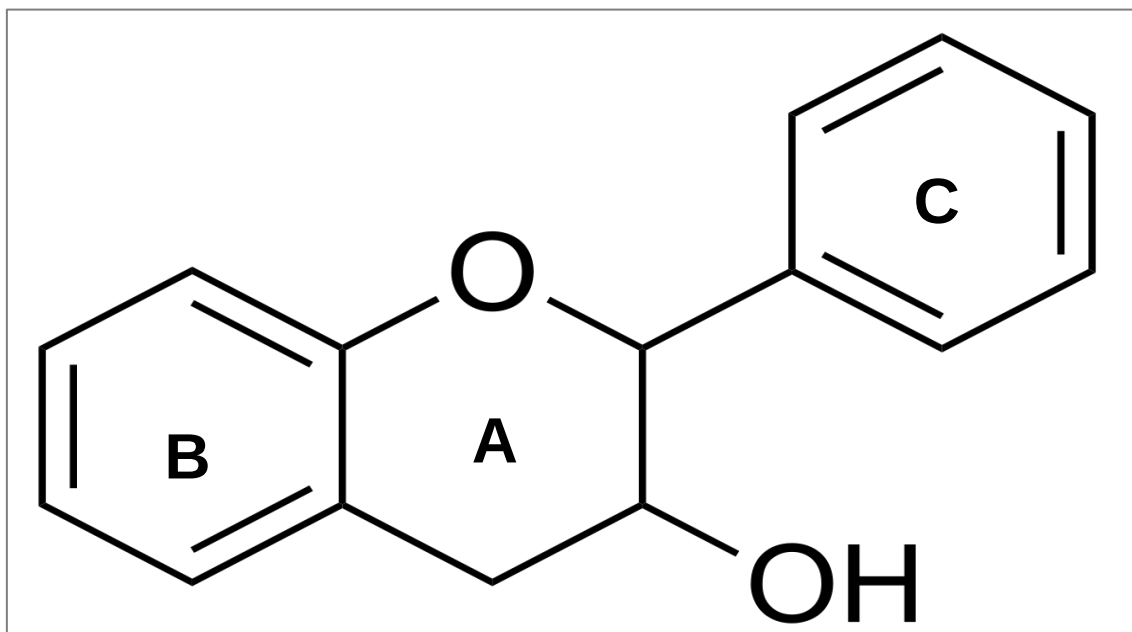


Figura 6 – O Flavan-3-ol caracteriza-se pela presença de um grupo hidroxila na posição 3

A estrutura de uma proantocianidina (Figura 7) varia de acordo com a natureza das unidades flavan-3-ol (estereoquímica e padrão de hidroxilação), posição e estrutura química das unidades ligadas a eles, o seu grau de

polimerização e a presença ou ausência de modificações como a esterificação no grupo 3-hidroxilo (DIXON et al., 2004).

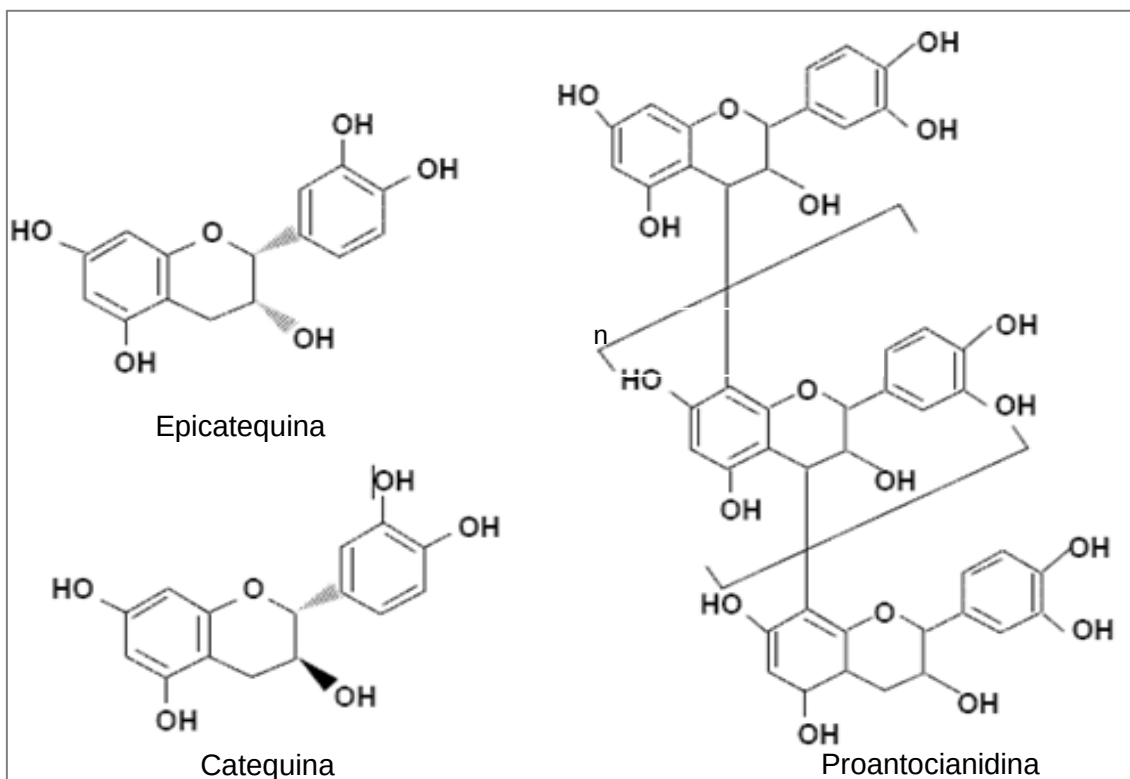


Figura 7 – Epicatequina, catequina e estrutura química de uma proantocianidina

Os monômeros a trímeros de proantocianidinas compõe 38% do total presente nos grãos de arroz de pericarpo vermelho, sendo os dímeros dominantes (CHEN et al., 2012; GUNARATNE et al., 2013).

As proantocianidinas, os flavan-3-ol monoméricos e seus derivados estão presentes nas frutas, cascas, folhas e sementes de muitas plantas, onde sua principal função é fornecer proteção contra patógenos microbianos, pragas de insetos e herbívoros maiores (DIXON et al., 2004).

A camada periférica das sementes de várias espécies são exemplos clássicos de barreira protetora à ação de patógenos causadores de doenças. Variedades de café suscetíveis ao fungo *Hemileia vastatrix*, agente causal da ferrugem do cafeeiro, contém níveis mais baixos de proantocianidinas. A fração de proantocianidina presente na polpa ou das folhas de café, presente em maior concentração em alguns genótipos, inibem a germinação de uredósporos

de *Hemileia vastatrix* in vitro (AMORIM, et al. 2011; DIXON et al., 2004; COLMENARES et al., 1998; KIMATI, et al., 2005).

As proantocianidinas também atuam na primeira linha de defesa contra insetos predadores, com vários relatórios documentando a sua presença em tricomas glandulares (DIXON et. al., 2004; LI et al., 1996; AZIS et al., 2005). Em amendoim, os níveis de proantocianidinas presentes nos pecíolos das folhas de alguns genótipos, mostraram-se inversamente proporcional à fecundidade de pulgões (DIXON et al., 2004; GRAYER et al., 1992).

A ingestão de proantocianidinas através da alimentação ou suplementação trazem grandes benefícios à saúde humana (Tabela 1).

Tabela 1 - Potenciais efeitos benéficos a saúde, promovidos pela ingestão de proantocianidinas e monômeros de Flavan-3-ol

Efeito	Fonte	Constituição Química	Referência
Anticâncer	Chá-verde	EGCG	Ahmad <i>et al.</i> (2000)
Anticâncer	Mirtilo-vermelho	C, EC, GC2, EGC2, oligômeros	Kandil <i>et al.</i> (2002)
Antioxidante	Semente de uva	GSPE	Bagchi <i>et al.</i> (2000)
Antioxidante	Chocolate	EC	Serafini <i>et al.</i> (2003)
Inibição da adesão bacteriana ao trato urinário	Mirtilo-vermelho	ProA	Foo <i>et al.</i> (2000)
Imunomodulador	<i>Urceola micrantha</i>	ProA	Lin <i>et al.</i> (2002)
Promoção da recuperação cardíaca após isquemia	Semente de uva	Proantocianidina bruta	Pataki <i>et al.</i> (2002)
Inibição da biossíntese de prostaglandinas	Cravo- da-Índia	C, GC, ProA	Noreen <i>et al.</i> (1998)
Proteção contra insuficiência renal	Uva	ProBP1	Avramovic <i>et al.</i> (1999)
Analgésico, anti-inflamatório	<i>Polypodium feei</i>	Proanthocianidina shellegueain A	Subarnas & Wagner (2000)
Prevenção da aterosclerose	Semente de uva	GSPE	Vinson <i>et al.</i> (2002)
Antimutagênico		Proantocianidinas	Dauer <i>et al.</i> (2003)
Proteção à pele	Castanha	Proantocianidinas	Deters <i>et al.</i> (2001)
Inibição da síntese de colesterol ruim	Chá-verde	EGCG	Abe <i>et al.</i> (2000)
Proteção contra hemorragia	Amendoim	Proantocianidina tipo-A	Lou <i>et al.</i> (1999)

EGCG, galato de epigallocatequina; C, catequina; CE, epicatequina; GC2, dicionário de galocatequina; EGC2, dímero de epigallocatequina; GSPE, semente de uva extrato rico em proantocianidina; ProA, tipo A, proantocianidina; Pro3-5, trímeros-pentâmeros de proantocianidina; ProG3-5, galatos de proantocianidina trímeros para pentâmeros.

Fonte: Adaptado de Dixon et al. (2004).

Nos últimos anos aumentou consideravelmente o número de pesquisas com esse composto, e grande parte da literatura aponta que compostos de unidades flavan-3-ol são bioativas e exibem propriedades benéficas (CHEN et

al., 2012; ITANI et al., 2002; HAYASHI, et al., 2015; MIN et al., 2012; OKI et al., 2002).

A mais de 20 anos o arroz de pericarpo vermelho é reconhecido pela sua capacidade antioxidante, quando Terahara et al., (1994) demonstrou que componentes presentes no arroz vermelho possuíam esse poder.

De lá pra cá os estudos com variedades de arroz de pericarpo vermelho e associação à saúde aumentou. Entre os anos 2000 e 2013 mais de 1000 artigos foram publicados relacionando variedades de arroz a saudabilidade e bem-estar e esse interesse deve crescer no futuro com a Europa, América do Sul e África interessados com os potenciais antioxidantes promovidos pela ingestão de variedades de arroz pigmentada (GOUFO et al., 2014).

Além do potencial antioxidante, a ingestão de arroz com pericarpo vermelho está relacionada com combate ao câncer. Pintha, et al. (2014 e 2015) atribuiu ao extrato de arroz vermelho a redução da invasão de células cancerígenas através da atividade e expressão reduzida de metaloproteinases de matrizes e associou a proantocianidina de arroz vermelho com a inibição a invasão e motilidade de células de câncer de mama.

Estudos recentes indicam que o arroz de pericarpo vermelho tem o potencial de controlar o diabetes, tanto pela remoção de glicose no sangue da corrente sanguínea quanto nos adipócitos e pela inibição da conversão de amido em glicose no trato intestinal (BOUE, et al., 2016).

Portanto o arroz de pericarpo vermelho atende perfeitamente o mercado consumidor que busca um alimento saudável, benéfico e diferenciado. A preservação da qualidade industrial, de cocção e principalmente de compostos fenólicos, em especial as proantocianidinas, são fundamentais para atender esse mercado emergente, exigente em características sensoriais diferenciadas e com foco na saúde dos consumidores.

2. 4. Espera para secagem

Fisiologicamente os grãos de arroz atingem o ponto colheita com umidade elevada, em torno de 32%, neste estágio os grãos apresentam o máximo de matéria seca acumulada e a permanência por período prolongado

os expõe a deiscência natural, ações climáticas e alta pressão de insetos, fungos e ácaros, que contribuem para depreciação quantitativa e qualitativa do produto. Logo conclui-se que é fundamental que a colheita seja iniciada assim que os grãos apresentem umidade adequada para a operação, desta forma, o produtor deve estar com o maquinário, secador e armazém preparados e prontos para entrar em ação.

No atual cenário agrícola brasileiro a colheita em quase sua totalidade é realizada com colheitadeiras automotrizes e, a velocidade de colheita, bem como as regulagens do molinete, plataforma de corte, abertura entre o côncavo e o cilindro, entre outros detalhes operacionais constituem fatores decisivos para o adequado funcionamento da operação.

A colheita do arroz deve ser realizada quando os grãos apresentam teor de água entre 19 e 24% (SOSBAI, 2012). Colhido na umidade recomendada, o arroz deve ser submetido a secagem visando a diminuição da umidade no menor tempo possível.

O tempo decorrido entre a colheita e a secagem e, a temperatura do ambiente em que ocorre a espera, apresenta grande influência sobre a conservabilidade dos grãos e sua qualidade, pois a demora para iniciar a secagem intensifica a incidência de danos imediatos e latentes, que se expressam durante o armazenamento (ELIAS et al., 2012b).

A realização imediata da secagem reduz perdas, mas exige grandes investimentos nas estruturas de transporte, recepção, limpeza e secagem.

O fato se agrava sob o ponto de vista econômico, pois estas estruturas são utilizadas apenas no período de colheita dos grãos, na maioria das vezes, durante algumas semanas do ano, configurando um dos mais perversos custos do sistema produtivo que é a ociosidade (ELIAS, et al., 2010).

A indústria tem utilizado de diversas estratégias para assegurar a qualidade do arroz industrializado com fim alimentício quando a possibilidade de secagem até a faixa adequada para o armazenamento não pode ser realizada imediatamente. As principais alternativas que se apresentam são: (1) arrefecimento da massa de grãos por meio de aeração controlada enquanto esperam para secagem; (2) secagem parcial, até cerca de 16% de umidade, e

arrefecimento da massa de grãos, mantendo nessa condição até secagem para os 12 a 13% usuais, para comercialização ou industrialização.

Para o arroz pigmentado outro problema específico é encontrado, pois a maioria das unidades que realizam a secagem, o armazenamento e a industrialização desses grãos, trabalham e possuem o arroz branco como principal fonte de renda, existindo incompatibilidade técnica de receber os dois produtos na mesma linha de trabalho.

A presença de arroz pigmentado acima de certos limites, no arroz branco, acarreta em queda de tipo e conseqüentemente perda de valor do produto (vide rajados, Tabela 2) e vice e versa. Portanto a secagem imediata do arroz pigmentado torna-se uns dos gargalos dessa cadeia produtiva.

Tabela 2 - Tipificação de arroz em casca natural - Limites máximos de tolerância expressos em %/peso para enquadramento de tipo

Tipo	Ardidos	Picados ou Manchados	Gessados e Verdes	Rajados	Amarelos
1	0,15	1,75	2,00	1,00	0,50
2	0,30	3,00	4,00	1,50	1,00
3	0,50	4,50	6,00	2,00	2,00
4	1,00	6,00	8,00	3,00	3,00
5	1,50	8,00	10,00	4,00	5,00

Fonte: Adaptado Instrução N°06 de 2009 do MAPA

Enquanto ainda não estão secos, o ritmo metabólico dos grãos é elevado, o que ativa os micro-organismos associados, intensificando a dinâmica metabólica já nessa fase (ELIAS et al., 2010).

O resfriamento artificial surge como alternativa para os grãos que esperam para secagem, mostrando resultados práticos animadores na redução do metabolismo dos grãos e dos organismos associados, atuando na redução da velocidade das reações químicas e enzimáticas (ELIAS et al., 2010; PARK et al., 2012).

Existem alguns trabalhos avaliando o acondicionamento e tempo decorrido entre a colheita e a secagem sobre grãos de arroz branco, mas são escassos os estudos sobre arroz pigmentado e os efeitos provocados em suas propriedades tecnológicas e compostos fenólicos provocados por esse tratamento.

2. 5. Secagem

Os grãos são seres vivos, permanecendo fisiologicamente ativos durante o período de armazenamento, isto é, a respiração e outros processos metabólicos continuam a ser realizados durante este período. A redução da umidade através da secagem é a forma comercial mais utilizada no armazenamento de grãos para prolongar o tempo de conservação minimizando a atividade metabólica dos grãos.

Na safra 2015/2016 a região sul do estado do Rio Grande Sul, colheu arroz em um período de alta pressão pluvial, motivada pelo fenômeno La Niña, sendo, então, os grãos colhidos com umidades relativamente altas, muitas vezes superiores a 25%. Tais condições de colheita tornam a secagem uma etapa indispensável na pós-colheita dos grãos, e o principal sistema de secagem utilizado para realização desta operação em fazendas, cooperativas e empresas do setor é o convencional, em secador de fluxo contínuo ou intermitente.

Os grãos de arroz que chegam sujos e úmidos às unidades de armazenamento devem ser submetidos à secagem após passar pelo processo de pré-limpeza que tem por finalidade separar as impurezas e matérias estranhas com dimensões, formatos e densidade diferentes dos grãos de arroz.

Tecnicamente a secagem dos grãos pode ser realizada por processos naturais, adaptados ou tecnificados (Tabela 3). Os dois primeiros são utilizados para quantidades pequenas, na própria propriedade dos produtores, já os tecnificados são utilizados para médias e grandes quantidades de grãos (ELIAS, et al., 2012b).

Os métodos de secagem naturais são métodos totalmente dependentes das condições ambientais, não existindo controle técnico sobre a operação. A dependência de condição climática favorável, a lentidão do processo e a pequena quantidade de grãos secados são as principais limitações desse sistema, que apresenta como características positivas a simplicidade, o baixo custo e a eficiência (OLIVEIRA, et al, 2012).

Tabela 3 - Processos, sistemas e métodos de secagem de grãos

Processos	Sistemas	Métodos
Naturais	Primitivos	Na própria planta Sobre lonas Em terreiros ou eiras
Adaptados	Estruturas adaptadas	Em caixas aeradas Em tulhas
	Estacionários	Silos-secadores
Tecnificados	Convencionais	Intermitentes Contínuos
	Mistos	Seca-aeração

Fonte: Adaptado de Elias et al. 2012b

Dentro os métodos naturais, a secagem sobre lonas apresenta algumas vantagens. Além de não permitir a infiltração de umidade do solo, o fato de possibilitar o fechamento completo da lona, na forma de bolsa, desde duas horas antes de o sol se pôr, até cerca de duas horas após o aparecimento do sol do dia seguinte, determina "suadouros" nos grãos, o que uniformiza e intensifica a secagem (ELIAS et al., 2015a).

Nos métodos tecnificados destacam-se para a secagem do arroz os sistemas estacionário, intermitente e contínuo.

Os métodos do sistema estacionário são os únicos dentre os tecnificados que permitem a secagem com a utilização de ar natural, embora neste sistema predominem a secagem com a utilização de ar aquecido, em geral entre 25° a 45°C. Neste sistema os grãos permanecem parados enquanto o ar é movimentado durante a secagem, apresentado como principais vantagens os baixos investimentos em estrutura operacional e a pouca danificação mecânica e as principais limitações são a pouca rapidez e a desuniformidade de secagem (ELIAS et. al. 2012b).

Embora seja bastante utilizada nas propriedades rurais, a secagem estacionária praticamente não é utilizada em médias e grandes unidades de armazenamento e industrialização por não apresentar rapidez suficiente que atenda o fluxo operacional (OLIVEIRA et. al., 2012).

Diferente do que ocorre no sistema estacionário, onde apenas o ar é movimentado, nos sistemas convencionais tanto o ar como os grãos são movimentados durante a secagem.

A secagem intermitente caracteriza-se por não apresentar operações de carga e descarga simultâneas e o contato entre ar e grãos é descontínuo, só havendo contato dos grãos com o ar aquecido na câmara de secagem, deixando de haver esse contato durante a passagem dos grãos na descarga, no elevador e na câmara de equalização. A passagem dos grãos por essa câmara objetiva a ocorrência de difusão de água do interior do grão para a periferia. Na secagem intermitente são utilizadas temperaturas do ar de secagem de 70° C a 120° C apresentando como principais limitações o risco de dano mecânico, devido a sucessivas movimentações dos grãos no interior do secador e como principais vantagens, a velocidade da operação e a uniformidade de secagem (VANIER et al., 2017).

A quase totalidade dos engenhos de arroz utiliza secagem intermitente, que apresenta boa uniformidade, é rápida e não se caracteriza por causar danos ou choques térmicos, ainda que provoque danos mecânicos (ELIAS et al., 2015a)

No método contínuo, as operações de carga e descarga são simultâneas e os contatos entre ar e grãos são ininterruptos, em toda a operação, havendo entrada de ar aquecido na câmara de secagem e de ar ambiente, sem aquecimento, na câmara de arrefecimento. Durante a operação, sempre há grãos úmidos entrando no secador, grãos passando nas câmaras de secagem e de arrefecimento, e grãos secos e resfriados saindo do secador. Grandes riscos de danos e choques térmicos são as características mais indesejáveis desse sistema, que tem a rapidez como característica mais positiva. (OLIVEIRA et al., 2012).

O processo de secagem, independente do sistema utilizado, é composto por duas etapas hidrotérmicas distintas e complementares, que incluem difusão da água do interior do grão para a periferia e evaporação da água da periferia, sendo a primeira endotérmica e a segunda isoentálpica (ELIAS, 2002).

Problemas encontrados no processo de secagem de arroz com casca são similares aos de outros cereais, porém o arroz exige operação mais controlada, em razão da sua suscetibilidade a altas temperaturas de secagem e aos choques térmicos, devendo os mesmos ser controlados dentro de certos limites para evitar possíveis danos físico-químicos e biológicos às cariopses (ELIAS, 2002; VANIER et al., 2017).

O aquecimento do ar na secagem, cujas finalidades são diminuir sua umidade relativa e aumentar sua entalpia e sua capacidade evaporativa, deve ser controlado dentro de limites determinados, em virtude dos danos físicos, químicos e biológicos que podem causar aos grãos. Os principais danos causados aos grãos de arroz durante a secagem com ar aquecido são trincamento, formação de crosta periférica, alteração de coloração, desestruturação do amido e 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 consumo (FRANCO et al., 2006).

A temperatura do ar utilizada na secagem e o tempo de exposição também podem depreciar a quantidade de compostos fenólicos e proantocianidinas, pois, segundo Nicolli et al., (1999) a degradação oxidativa de compostos fenólicos é acelerada na presença de temperatura, oxigênio e umidade.

Min (2014) estudando arroz de pericarpo vermelho concluiu que o tratamento térmico provocou perdas quantitativas no teor de proantocianidinas. Da mesma forma Awika (2003) observou reduções significativas e mudanças no tamanho molecular de proantocinidinas em grãos sorgo em função do tratamento térmico utilizado.

Na literatura encontram-se numerosos trabalhos que investigam o processo de secagem sobre a qualidade do arroz, porém poucos trabalhos investigaram a influencia de temperatura de secagem sobre a qualidade tecnologica e de compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho.

2. 6. Armazenamento

Os grãos possuem características próprias que lhe conferem propriedades específicas, as quais interferem tanto nos seus processos conservativos quanto nos tecnológicos e ao ser armazenados ficam sujeitos a ação de diversos fatores como calor, umidade, oxigênio, organismos associados, atividade enzimática entre outros, que atuam singularmente ou em conjunto depreciando a sua qualidade.

Por tratar-se de um grão amiláceo, os grãos arroz devem ser armazenados com um teor de água próximo a 13%, objetivando manter as características que possuem imediatamente após o pré-armazenamento, tais como a viabilidade dos grãos, a qualidade industrial e as propriedades nutritivas (ELIAS, et al. 2012a; ELIAS, et al., 2012b; VANIER et al., 2017).

As frações que compõem os grãos podem sofrer alterações ao longo do período de armazenamento (ELIAS, 2002).

Dos macro constituintes dos grãos os lipídios são os mais suscetíveis a deterioração durante o armazenamento, seguidos pelas proteínas e carboidratos. Quando armazenados inadequadamente, os lipídios sofrem rancificação originando ácidos graxos livres, já as proteínas podem sofrer desaminização e complexação com outros componentes e os carboidratos estão sujeitos a processos fermentivos (VANIER, et al. 2012).

O conteúdo mineral, representado pelo teor de cinzas, é, dos constituintes químicos dos grãos, a fração que apresenta as menores variações quantitativas durante o armazenamento (ELIAS, et al., 2015a).

A integridade física dos grãos também é um fator importante no armazenamento. Pequenas proporções de grãos quebrados possibilitam melhores índices de conservação, enquanto elevados teores de grãos quebrados ou mesmo trincados a comprometem (OLIVEIRA, et al, 2012).

As propriedades de cocção também sofrem influências do tempo armazenamento. De acordo com Sowbhagya et al., (2001) as mudanças no tempo de cocção são perceptíveis somente no longo prazo pois a reorganização estrutural durante períodos de repouso desempenha influencia na capacidade de hidratação dos grânulos de amido.

Alterações no perfil de ácidos fenólicos, também são observadas durante o armazenamento, ocorrendo consideráveis reduções no conteúdo dos insolúveis e aumento no conteúdo dos solúveis, resultante da ação enzimática e não enzimática, com degradação de fenólicos insolúveis e fenólicos solúveis (ZHOU et al., 2004).

O arroz pode ser armazenado em três métodos: 1)Convencional (em sacaria); 2)Semi-hermético (silos ou armazéns) e; 3)Hermético (silos ou bombonas).

Na figura 8 são apresentados os principais métodos de armazenamento de grãos arroz.



Figura 8 – Exemplos de armazenamento convencional, semi-hermético e hermético

O método convencional, se bem realizado apresenta eficiência na conservação e permite o armazenamento de diferentes espécies de grãos na mesma instalação. Já os métodos semi-herméticos e herméticos, dispensam o uso de embalagens, aproveitando melhor o espaço disponível e dispondo de menor dependência de mão de obra (ELIAS et al.,2015a).

Nos métodos convencionais e semi-herméticos, ocorrem trocas de ar entre a massa de grãos e o ambiente externo, assim, os grãos tendem entrar em equilíbrio higroscópico, com o ambiente de armazenamento. No armazenamento hermético, a redução da disponibilidade de oxigênio e a ausência de trocas ar caracterizam o sistema, limitando o desenvolvimento de

insetos e microorganismos, e podendo diminuir a taxa respiratória dos grãos (ELIAS, et al. 2015a).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, atualmente o Brasil possui capacidade estática para armazenar 163,2 milhões de toneladas de grãos, sendo destes, 142 milhões de toneladas armazenadas no sistema a granel, a maior parte pelo método semi-hermético em silos metálicos ou armazéns graneleiros ou granelizados (CONAB, 2018).

Alguns pesquisadores já estudaram os efeitos do tempo e das condições de armazenamento sobre arroz de pericarpo vermelho, porém não existem trabalhos avaliando os efeitos latentes provocados pelo tempo de espera e temperatura de secagem sobre o arroz de pericarpo vermelho armazenado por 12 meses.

3. Capítulo 1: Efeitos do tempo de espera para secagem sobre as propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho

3.1. Introdução

O arroz é um dos principais cereais produzidos no mundo, e mais de 85% do que é consumido são pouco pigmentados, conhecidos como: “arroz branco” (OKI et al., 2002). Hoje em dia, diversas cultivares que apresentam o pericarpo pigmentado, como o arroz vermelho, têm recebido grande atenção por parte dos consumidores, devido, principalmente, aos compostos bioativos presentes nesses grãos e os seus benefícios a saúde (FINOCCHIARO et al., 2007), os quais muitas vezes podem ser degradados pelas operações de pós-colheita.

Fisiologicamente os grãos de arroz atingem o ponto colheita com umidade elevada, em torno de 32% e a permanência por período prolongado submete-os a ações bióticas e abióticas que contribuem para depreciação quantitativa e qualitativa do produto. Logo conclui-se que é fundamental que a colheita seja iniciada assim que os grãos apresentem umidade adequada para a operação. A colheita do arroz deve ser realizada quando os grãos apresentam teor de água entre 19 e 24% (VILLELA e PESKE, 1998).

Uma vez que os grãos são geralmente colhidos com umidade elevada, a secagem imediata constitui uma das operações de primordial importância entre as técnicas envolvidas na conservação da qualidade e na manutenção do valor nutritivo do produto, porém exige muitos investimentos nas estruturas de pré-armazenamento. Sob o ponto de vista econômico, as estruturas que preparam os grãos para o armazenamento só são utilizadas no período de colheita dos grãos, por poucas semanas, configurando um dos mais perversos custos do sistema produtivo que é a ociosidade (ELIAS et al., 2010).

Enquanto ainda não estão secos, o ritmo metabólico dos grãos é elevado, o que ativa os microrganismos associados, intensificando a dinâmica metabólica já nessa fase. Uma alternativa que tem mostrado resultados práticos animadores é o resfriamento do arroz enquanto espera para secagem,

na expectativa de reduzir a dinâmica metabólica dos grãos (ELIAS et al., 2010; PARK et al., 2012).

O trabalho objetivou avaliar os efeitos do tempo de espera e do acondicionamento, em temperaturas de 15° e 25°C, para secagem de grãos de pericarpo vermelho e os efeitos provocados nas principais propriedades tecnológicas e compostos fenólicos.

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Material

Foram utilizados grãos de arroz de pericarpo vermelho, “classe médio”, produzidos no ano de 2016 no município de Jaguarão, estado do Rio Grande do Sul, Brasil, latitude S 32°33'57”, longitude W 53°22'33” e altitude de 26 metros. Os grãos foram colhidos mecanicamente com umidade de 20% e transportados até o Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, da Universidade Federal de Pelotas, onde foi conduzido o experimento.

No momento da chegada foi realizada operação de pré-limpeza, com objetivo de retirar impurezas e matérias estranhas. Os grãos foram secos (amostras de 1000 gramas), em triplicata, em secador estacionário de leito fixo (Figura 9) até a obtenção da umidade de 13%, com temperatura do ar de secagem de 40°C, monitorando a temperatura da massa de grãos ($\leq 37^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar de secagem de $1,2\text{ m.s}^{-1}$.

Parte da amostra foi seca imediatamente e parte acondicionada em câmara de armazenamento, por 3 e 6 dias, em temperaturas de 15°e 25°C.

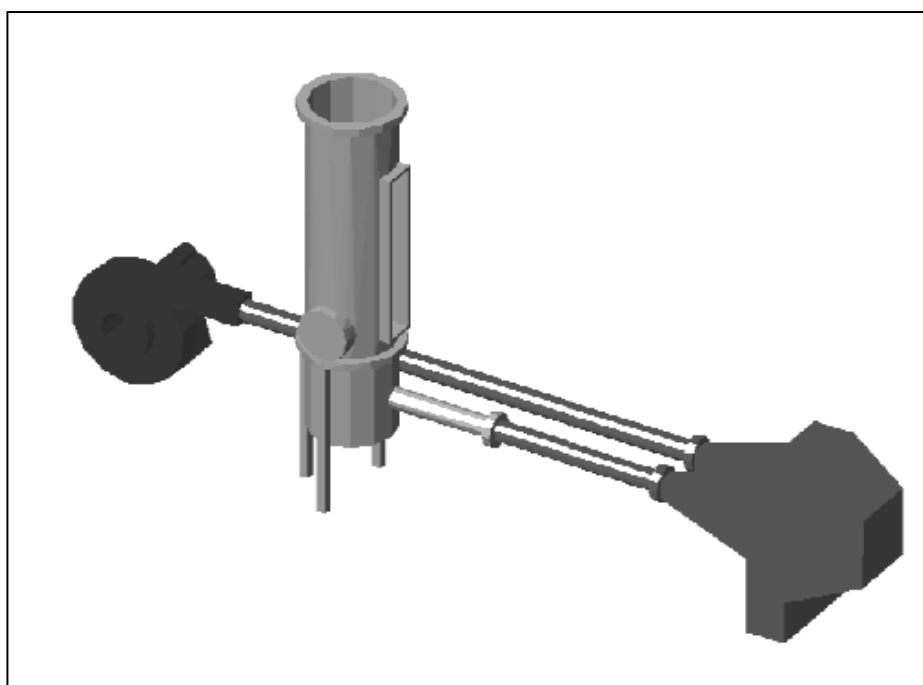


Figura 9 – Secador de leito fixo em escala laboratorial, protótipo LABGRAOS

Após a obtenção da umidade desejada, foi realizado expurgo e os grãos foram colocados em sacos de polietileno de 0,2 mm de espessura de filme plástico com capacidade de 0,9 Kg e armazenados por 12 meses, a 25°C em câmara de armazenamento, sendo que as análises iniciais começaram após o sétimo dia visando à equalização da umidade.

3.2.2. Métodos

3.2.2.1. Composição química: O teor de umidade dos grãos de arroz de pericarpo vermelho foi determinado em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, com circulação natural de ar por 24 horas, de acordo com o método recomendado pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2000). O teor de nitrogênio foi determinado de acordo com o método AACC 46-13 (AACC, 1995), e o conteúdo de proteína foi obtido utilizando o fator de conversão de nitrogênio para proteína de 5,95. O teor de lipídios foi determinado de acordo com o método 30-20 da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995). O teor de cinzas foi determinado de acordo com AACC método 08-01 (AACC, 1995). Os resultados foram expressos em percentagem.

3.2.2.2. Perfil colorimétrico: O perfil colorimétrico foi avaliado em colorímetro (Minolta, modelo CR-310, Osaka, Japão), que faz a leitura de cores num sistema tridimensional, avaliando a cor em três eixos, onde o eixo L^* avalia a amostra do preto ao branco, o eixo a^* da cor verde ao vermelho e o eixo b^* da cor azul ao amarelo.

3.2.2.3. Proteína solúvel: O teor de proteína solúvel foi determinado segundo método descrito por Liu et al. (1992), com modificações. Em cada amostra de 2g foram adicionados 50ml de água destilada, sendo as amostras e a água misturadas com o auxílio de agitador magnético durante 1 hora, após foram centrifugadas a 5300g durante 20min. em 24°C de temperatura em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*. Uma alíquota de 2mL do sobrenadante foi coletada e a determinação do teor de proteína solúvel foi feita pelo método

descrito pela AACC (1995), o mesmo utilizado para avaliação do teor de proteína bruta. Os resultados foram expressos em percentagem.

3.2.2.4. Condutividade elétrica: A condutividade elétrica da água de hidratação foi determinada segundo metodologia do International Seed Testing Association - ISTA (2008). Foram pesadas três repetições de 10g, e imersas em 75mL de água deionizada (em becker de 250mL), colocadas em germinador regulado para a temperatura constante de 20°C, posteriormente, incubados durante 24 horas. As soluções foram agitadas suavemente e a condutividade elétrica foi determinada com condutivímetro sem filtragem da solução. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$.

3.2.2.5. pH dos grãos: O pH foi determinado segundo método proposto por Rehman et al. (2002). Um filtrado de 2g de amostra moída (35 mesh) foi imerso em 20mL de água destilada, e o pH foi determinado utilizando-se um eletrodo de vidro pHmetro (Pye Unicam, Inglaterra).

3.2.2.6. Peso de mil grãos: O peso de mil grãos foi realizado segundo Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009b), com contagem de quatro repetições de 250 grãos para cada e pesagem em balança de precisão. Os resultados foram expressos em gramas.

3.2.2.7. Rendimento de inteiros integrais após o descascamento: Para a avaliação do rendimento de grãos inteiros, utilizou-se 105 gramas de amostra, com três repetições de cada tratamento que foram descascadas em engenho de provas marca Zaccaria, modelo DTAZ1. Os grãos foram classificados como “médios” conforme os conceitos constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a). Portanto, foi considerado inteiro o grão que apresentou comprimento após o descascamento comprimento igual ou superior a 3,75 mm. Os resultados foram expressos em percentagens de grãos inteiros integrais.

3.2.2.8. Rendimento de inteiros IN MAPA 6/2009: Seguiu os conceitos propostos pela Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a). para grãos natural em casca. Os grãos foram classificados como “médios” conforme os conceitos constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a). Portanto, foi considerado inteiro o grão que após o polimento apresentou comprimento igual ou superior a 3,75 mm. O resultado foi expresso em porcentagens de grãos inteiros após o polimento.

3.2.2.9. Defeitos totais: A identificação e a separação dos grãos com defeito seguiu os conceitos e caracterização constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a). E os resultados foram expressos em porcentagens de grãos com defeitos.

3.2.2.10. Defeitos metabólicos: A identificação e a separação dos grãos com defeitos metabólicos (ardidos, amarelos, manchados e picados) seguiu os conceitos e caracterização constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a). Os resultados foram expressos em porcentagens de grãos com defeitos metabólicos.

3.2.2.11. Tipificação: Seguiu os conceitos e caracterização constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a).

3.2.2.12. Tempo de cocção: A avaliação do tempo de cocção foi realizada de acordo com o teste Ranghino (JULIANO et al., 1985). O tempo de cocção foi determinado colocando-se em um Becker de volume 250 mL contendo 150 mL de água destilada em chapa de ferro aquecida por energia elétrica, ao atingir $98\pm 2^{\circ}\text{C}$, uma colher de sopa rasa de arroz foi adicionada e o Becker tampado, iniciando-se a contagem do tempo de cocção. Após 20 minutos de cocção, a cada minuto foi verificado 10 grãos amassando-os em placas de vidro, quando 90 % dos grãos não apresentar mais o hilo branco no centro do grão a amostra foi considerada cozida.

3.2.2.13. Velocidade de hidratação: A velocidade de hidratação foi avaliada conforme Cao et al. (2016) com algumas alterações. Cinco gramas (5 g) da amostra foram imersas em 150 mL de água destilada, a 100 °C, por 10 minutos. Após, o excesso de água superficial foi removido, deixando as amostras sobre um papel toalha por 60 segundos, sendo posteriormente pesadas. A velocidade de hidratação (VH) foi quantificada como: $VH = (\text{amostra hidratada}/\text{amostra seca}) * 100$.

3.2.2.14. Dureza após a cocção: O cozimento das amostras foi realizado conforme descrito por Juliano et al. (1985). As amostras de arroz para cozimento foram preparadas em becker de 250mL com 200mL de água destilada à temperatura de $98 \pm 1^\circ\text{C}$, onde foi colocado 10 g de amostras e deixado no tempo previamente determinado para cocção com constante agitação, removendo-se no final toda a água da cocção, e mantendo os grãos no interior do becker para o teste, enquanto ainda estarão quentes. A dureza dos grãos cozidos foi determinado utilizando-se equipamento marca *Stable Micro Systems Texture Analysers*, modelo TA.XTplus, com uma célula de carga de 5 kg com uma compressão de dois ciclos (PARK et al., 2001). Uma força de compressão de dois ciclos de tempo versus programa será utilizada para comprimir as amostras até 90% da espessura original de grão cozido, retornar à sua posição original e novamente comprimir. A dureza é definida como a força máxima requerida para comprimir a amostra numa dada percentagem pré-estabelecida, em Newton, conforme descrito por Bourne (1978), Dez determinações, em triplicata, foram realizadas por tratamento e o resultado foi expresso pela média das determinações.

3.2.2.15. Compostos fenólicos

3.2.2.15.1. Obtenção do extrato para fenólicos solúveis: A obtenção do extrato foi realizada conforme método proposto por Alves et al. (2016), com alterações. Foram pesadas 1g de amostra em tubos de falcon de 50mL, ao abrigo de luz, e adicionados 10mL de acetona 70%, em seguida os tubos foram agitados a 160rpm durante 1 hora., seguido de centrifugação a 4000rpm, a

20°C, durante 5min. em centrífuga Eppendorf Centrifuge 5430R, o sobrenadante foi coletado. Foi realizado mais duas extrações, na mesma amostra, com 10mL (10mL + 10 mL) de acetona 70% respectivamente, seguindo as mesmas operações descritas acima. Ao final das três extrações, serão juntados e armazenados os sobrenadantes a 4°C até o momento da quantificação.

3.2.2.15.2. Obtenção do extrato fenólicos insolúveis: A obtenção do extrato foi realizada conforme método proposto por Alves, et al. (2016) com algumas modificações. No resíduo da extração dos compostos fenólicos livres contidos em tubos de falcons de 50mL, primeiramente foi realizado uma hidrólise enzimática com α amilase, seguida de reação alcalina com 40mL de NaOH 4M por 4 horas em banho a temperatura de 40°C, sendo após ajustado o pH para 1,5 a 2,0 com adição de HCl 6N. Após, foi realizado três lavagens com 20mL de acetato de etila a cada lavagem, com centrifugação a 4000 rpm por 5min. a 20°C entre as lavagens, realizado em centrífuga Eppendorf Centrifuge 5430R, sendo coletado o sobrenadante de cada lavagem e os mesmos juntados. Posteriormente a fração de acetato de etila contendo os compostos fenólicos insolúveis, foram rotaevaporadas em rotaevaporador (Marca Heidolph, modelo Larorata 4000), na temperatura de 35°C a 150rpm até seca, o resíduo foi dissolvido em 20ml de acetona 70% e armazenado em tubo de Falcon a 4°C ao abrigo da luz até o momento da determinação.

3.2.2.15.3. Quantificação de compostos solúveis e insolúveis totais: O teor de compostos fenólicos solúveis e insolúveis foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme citado por Zielinski, et al. (2000). Foram adicionados 100 μ L de extrato em tubo de falcon de 15mL e completado o volume para 400 μ L com água destilada. Foram adicionados 250 μ L de reagente Folin-Ciocalteu 1N e aguardado 8 minutos para redução dos compostos fenólicos com o reagente Folin-Ciocalteu. Após será adicionado 1,25mL da solução de carbonato de sódio (7,5%) ao tubo de falcon, agitado e colocado em ambiente ao abrigo da luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a

725nm após 2 horas. Os teores de compostos fenólicos solúveis foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico.g⁻¹ de amostra, através de curva realizada com padrão de ácido gálico (Figura 10).

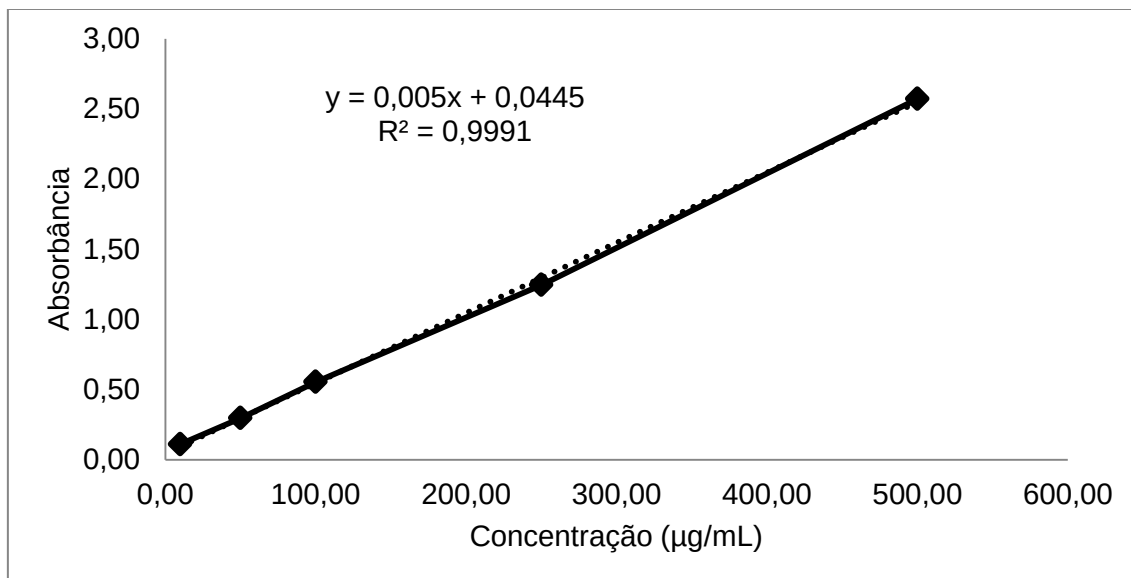


Figura 10 – Curva padrão de ácido gálico

3.2.2.16. Proantocianidinas: A determinação do conteúdo de proantocianidinas foi determinado segundo Alves, et al. (2016). Foram pipetados 1 mL do extrato (mesmo extrato utilizado para a quantificação de compostos fenólicos solúveis) em tubos de vidro, em seguida foram adicionados 6,0 mL de butanol acidificado (butanol:HCl, 95mL:5mL) e 100 µL de reagente férrico. A mistura foi levada a banho fervente (97-100°C), por 50 minutos. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 550 nm e os resultados expressos em mg de catequina por 100 g de amostra.

3.2.2.17. Estatística: Para comparação dos resultados foi aplicado teste de Tukey a 5% de probabilidade através de um teste de variância ANOVA.

3.2.3. Delineamento experimental

Na tabela 4 é apresentado o delineamento experimental para o estudo: Efeitos do tempo de espera para secagem sobre as propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho.

Tabela 4 – Delineamento experimental: Efeitos do tempo de espera para secagem sobre as propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho

Variáveis independentes				Variáveis dependentes
Tratamentos	Tempo de espera para secagem (dias)	Temperatura de espera (°C)	Tempo de armazenamento (meses)	
				Propriedades Tecnológicas
1	Secagem imediata	15	Inicial	Composição química*
2				Perfil colorimétrico
3				Solubilidade proteica
...	3	25	6	Condutividade elétrica
...				pH dos grãos
...				Massa de mil grãos
	6		12	Grãos inteiros integrais
				Rendimento de inteiros
				Defeitos totais
				Defeitos metabólicos
				Tipificação
				Tempo de cocção
				Velocidade de hidratação
				Dureza após a cocção
				Compostos fenólicos
				Compostos Fenólicos Solúveis
				Compostos Fenólicos Insolúveis
				Compostos Fenólicos Totais
				Proantocianidinas totais

15

*Inicial e aos 12 meses

3.3. Resultados e Discussões

A umidade dos grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes tempos de espera para secagem e diferentes acondicionamentos manteve-se durante todo o período de armazenamento na faixa pré-estabelecida para o estudo (Figura 11).

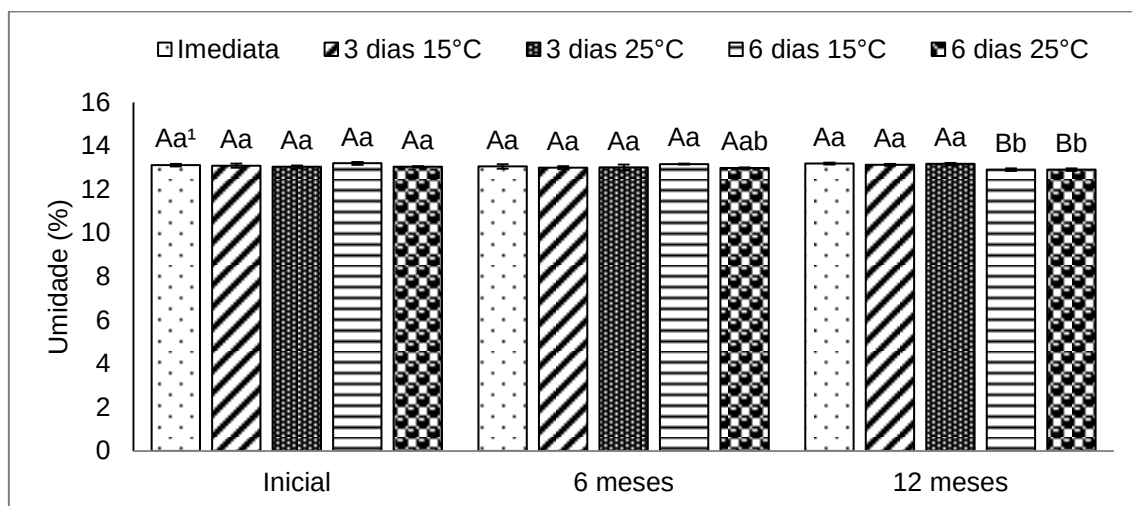


Figura 11 – Teor de umidade (%) de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e temperaturas de acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Na tabela 5 estão apresentados os resultados da composição química dos grãos de arroz de pericarpo vermelho que esperaram para a secagem, submetidos a diferentes temperaturas de acondicionamento.

Tabela 5 - Composição química de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e temperaturas de acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	T°	Proteína Bruta (%)		Lipídios (%)		Cinzas (%)	
		Inicial	12 meses	Inicial	12 meses	Inicial	12 meses
	Imediata	10,09 Aa ¹	10,07 Aa	4,26 Aa	4,24 Aa	1,47 Aa	1,50 Aa
03	15°C	10,15 Aa	09,86 Aa	4,16 Aa	4,30 Aa	1,48 Aa	1,51 Aa
03	25°C	10,18 Aa	10,27 Aa	4,29 Aa	4,25 Aa	1,48 Aa	1,51 Aa
06	15°C	10,20 Aa	10,10 Aa	4,23 Aa	4,31 Aa	1,46 Aa	1,54 Aa
06	25°C	10,15 Aa	10,18 Aa	4,24 Aa	4,24 Aa	1,45 Aa	1,53 Aa

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento na mesma linha, em função tempo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Os resultados indicam pequenas alterações nos parâmetros nutricionais dos grãos, sendo essas alterações, não significativas ($p \leq 0,05$), atribuídas à atividade metabólica dos grãos que consomem a matéria orgânica.

Para proteína bruta os resultados encontrados são superiores aos encontrados por Paiva et al. (2014), que relatou conteúdo de proteína bruta no arroz de pericarpo vermelho de 8,11%, essa diferença deve estar associada a fatores edafocimáticos e ao manejo durante cultivo. Não ocorreram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para proteína bruta, entre os tratamentos, ao longo do armazenamento.

O teor de lipídios obtidos neste estudo são similares aos relatados por Alves et al. (2016) que encontrou concentrações de lipídios em arroz de pericarpo vermelho de 4,7%. Durante o armazenamento não foram observadas alterações significativas ($p \geq 0,05$) no conteúdo de lipídios, independente da secagem e do tempo de armazenamento.

O conteúdo de cinzas encontrados neste estudo estão de acordo com o relatado por Ziegler et al., (2017) que relatou concentrações de cinzas de 1,50% para arroz de pericarpo vermelho. Não foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para este parâmetro entre os diferentes tratamentos e ao longo do armazenamento.

Resultados semelhantes, sem alterações na composição centesimal, foram observados por Ziegler et al., (2017) que não constatou alterações significativas no teor de proteína bruta, lipídios e cinzas de grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 180 dias em temperaturas de 16°, 24°, 32° e 40°C.

Na tabela 6 são apresentados os resultados obtidos para o Valor L* de grãos de arroz de pericarpo vermelho que esperaram para a secagem, submetidos a diferentes temperaturas de acondicionamento.

O Valor L*, expressa a luminosidade da amostra, que varia de 0 (preto) a 100 (branco). O tempo de espera para a secagem bem como a temperatura de acondicionamento influenciaram nesses parâmetros.

Tabela 6 - Efeitos do tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem sobre o valor L* de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	47,61 ± 3,66 Aa ¹	42,95 ± 2,08 Ab	42,92 ± 3,28 Ab
03	15°C	39,32 ± 4,53 Ba	40,44 ± 2,88 Ba	39,69 ± 2,14 Ba
03	25°C	41,07 ± 3,86 Ba	39,80 ± 2,94 BCa	39,88 ± 2,32 Ba
06	15°C	40,14 ± 4,63 Ba	38,63 ± 2,95 BCa	38,31 ± 1,19 BCa
06	25°C	38,32 ± 3,57 Ba	38,29 ± 2,27 Ca	37,74 ± 2,71 Ca

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento na mesma linha em função do tempo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*L: Preto (0), Branco (100);

Inicialmente o valor L* reduziu ($p \leq 0,05$) nos tratamentos com tempo de espera para secagem, encontrando-se os valores dentro da amplitude de 38,32 e 47,61 balizadas pelos grãos que esperaram por 6 dias a 25°C e os secos imediatamente, respectivamente. Aos 6 meses de armazenamento observa-se reduções ($p \leq 0,05$) do valor L* no material que foi seco imediatamente.

Nasar-Abbas et al. (2009) associou o escurecimento de favas (*Vicia faba*) a reduções nas proantocianidinas. Da mesma forma outros autores associaram a formação de pigmentos escuros com redução de compostos fenólicos (MARLES, et al., 2008; MAYER, 2006).

É improvável que um novo pigmento tenha sido produzido pelos grãos de arroz de pericarpo vermelho durante a espera para a secagem e ao longo do período de armazenamento, sendo que o escurecimento deve estar associado com a diminuição de compostos fenólicos totais e proantocianidinas (Figuras 17 e 18).

O valor a* também alterou em função do tratamento aplicado, e os resultados obtidos são apresentados na tabela 7.

Para grãos de pericarpo vermelho o parâmetro de maior importância é o valor a*, que descreve a tonalidade vermelha. A coloração avermelhada, característica dos grãos de arroz com o pericarpo vermelho, é atribuída a presença de proantocianidinas, um potente antioxidante que se encontram em maior concentração na extremidade dos grãos (GUNARATNE et al., 2013), e tem sua presença e coloração influenciadas por fatores ambientais e fisiológicos dos grãos, como a temperatura, pH e composição atmosférica (FENNEMA, et al., 2011).

Tabela 7- Efeitos do tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) sobre o valor a* de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	10,50 ± 1,22 Ca ¹	10,72 ± 1,15 Ca	10,78 ± 1,52 Ca
03	15°C	11,13 ± 0,94 BCa	11,35 ± 1,24 BCa	11,08 ± 1,00 BCa
03	25°C	11,83 ± 1,09 ABa	11,91 ± 1,14 ABa	11,95 ± 1,23ABa
06	15°C	11,60 ± 1,15 ABa	11,79 ± 1,24 ABa	11,63 ± 1,48ABCa
06	25°C	12,09 ± 1,22 Aa	12,25 ± 1,50 Aa	12,38 ± 1,48 Aa

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento na mesma linha em função do tempo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Valor a: Verde (-), Vermelho (+);

Constata-se um aumento ($p \leq 0,05$) no valor a* com o aumento de espera para a secagem. Os grãos que foram secos imediatamente apresentaram os menores valores para o valor a*, enquanto os grãos que foram secos com 6 dias de espera acondicionados em 25°C obtiveram os maiores valores de a*.

Da mesma forma que o Valor L*, as alterações no parâmetro a* parece estar associado às alterações verificadas nas proantocianidinas e nos compostos fenólicos.

Hayashi et al. (2016) percebeu mudanças na tonalidade de arroz de pericarpo vermelho ao longo armazenamento de laranja claro para vermelho escuro e atribuiu essas alterações à degradação oxidativa de polifenóis e proantocianidinas.

Os valores obtidos para o Valor b* estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Efeitos do tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) sobre o valor b* de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	25,05 ± 1,47 Ab ¹	25,32 ± 1,47 Ab	26,38 ± 1,17 Aa
03	15°C	23,04 ± 1,51 Ba	22,99 ± 1,32 Ba	23,44 ± 1,19 Ba
03	25°C	23,78 ± 1,81 Ba	22,33 ± 1,29 Ba	23,47 ± 2,19 Ba
06	15°C	23,58 ± 2,34 Ba	23,06 ± 1,93 Ba	23,36 ± 1,34 Ba
06	25°C	23,68 ± 1,46 Ba	23,36 ± 1,34 Ba	23,40 ± 1,49 Ba

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento na mesma linha em função do tempo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Valor a: Azul (-), Amarelo (+);

O Valor b* indica a tonalidade da amostra, na qual, valores negativos indicam coloração azul e, positivos coloração amarela.

Logo após a secagem os grãos de arroz com pericarpo vermelho apresentaram Valor b^* de 23,04 a 25,04, e ao final do período de armazenamento (12 meses), os valores ficaram entre 23,84 e 26,38, ocorrendo mudanças significativas ($p \leq 0,05$) em função do tratamento aplicado, com os grãos que esperaram para a secagem apresentando menor valor de b^* , porém não ocorreram alterações ($p > 0,05$) ao longo do período de armazenamento.

Ao que tudo indica as alterações no valor b^* estão associadas aos mecanismos já discutidos e que provocaram alterações nos Valores L^* e a^* .

A reação de maillard também pode ter participado das mudanças de coloração observadas neste estudo. Interações entre açúcares redutores e alguns aminoácidos desencadeiam uma série de reações que culminam com a formação de melanoidinas, composto de coloração escura (CHEN et al., 2015).

Na figura 12 são apresentados os resultados obtidos para solubilidade proteica de grãos de arroz de pericarpo vermelho com espera para a secagem em diferentes temperaturas de acondicionamento.

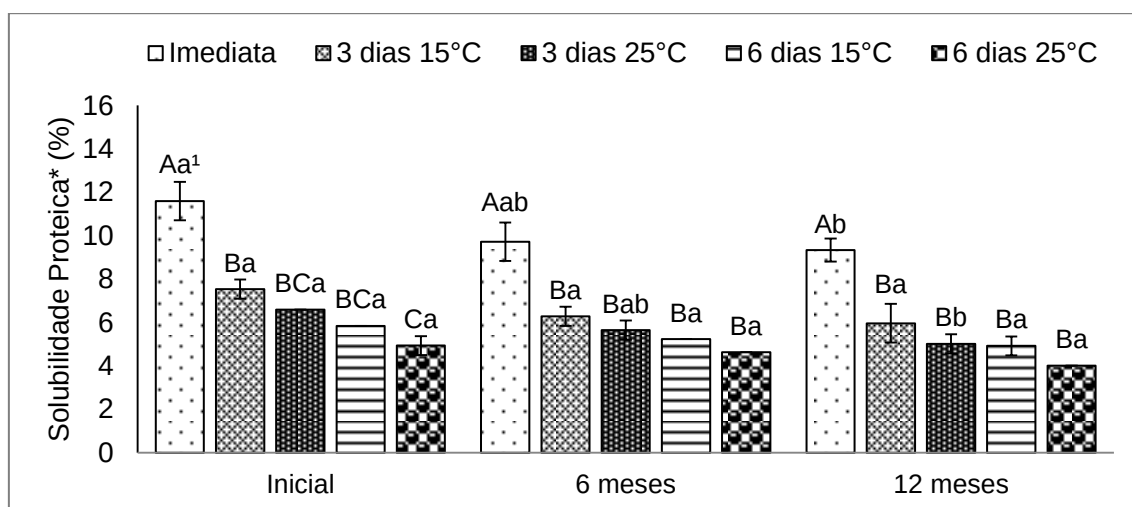


Figura 12 – Solubilidade da proteína de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Segundo Osborne (1909) as proteínas podem ser classificadas quanto a sua solubilidade em albuminas (solúveis em água), globulinas (solúveis em soluções salinas), prolaminas (solúveis em etanol 70%) e glutelinas (solúveis em ácidos ou bases).

Cerca de 80% das proteínas presentes nos grãos de arroz são glutelinas, proteínas solúveis em soluções ácidas e básicas (MARTIN, et al. 2002). Porém, um estudo da solubilidade das albuminas, que são solúveis em água, é importante para avaliar a qualidade e as interações que ocorrem com essas proteínas durante o armazenamento dos grãos (ZIEGLER et al., 2017).

Analisando os resultados obtidos na figura 12, constata-se que a solubilidade proteica diminuiu significativamente ($p \leq 0,05$) com aumento do tempo de espera para secagem. As maiores reduções são observadas no tratamento com espera para secagem de 6 dias em temperatura de 25°C, nas quais verifica-se decréscimos de 57,4%, 52,32% e 57,07%, se comparados aos resultados obtidos no tratamento com secagem imediata no início, aos seis meses e aos 12 meses de armazenamento, respectivamente.

Esse resultado pode ser atribuído a interações das proteínas com o amido e proantocianidinas ocasionando a sua insolubilização (NASAR-ABBAS et al., 2009; SILVA et al. 2014; VANIER et al. 2015).

De acordo com Sirisoontaralak et al., (2007), interações coloidais entre amido e proteína formam uma estrutura física mais estável, insolúvel em água, resultando na redução da solubilidade.

Na cevada a presença de proantocianidinas é indesejada, pois no processamento para a fabricação de cervejas esses polifenóis podem se polimerizar e combinar com proteínas, causando turbidez no produto (DIXON 2004; KEUKELEIRE, 2000).

Os resultados obtidos para a condutividade elétrica são apresentados na tabela 9.

A condutividade elétrica é uma medida indireta da integridade das estruturas celulares dos grãos, e o aumento do seu valor é resultado da lixiviação de íons do interior do grão para a água de hidratação.

Observa-se na tabela 9 que houve alterações significativas ($p \leq 0,05$) para a condutividade elétrica em função do tempo e do tratamento aplicado, constatando-se incrementos na condutividade elétrica com o aumento do tempo de espera para a secagem e com o aumento do tempo armazenamento.

Tabela 9 – Condutividade elétrica* de grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	20,73 ± 0,12 Bc ¹	25,60 ± 0,36 Bb	27,26 ± 0,25 Ba
03	15° C	21,53 ± 0,46 ABb	27,80 ± 0,00 Aa	28,36 ± 0,40 Aa
03	25° C	21,66 ± 0,58 ABb	27,87 ± 0,32 Aa	28,96 ± 0,45 Aa
06	15° C	22,06 ± 0,31 Ab	28,43 ± 0,32 Aa	29,01 ± 0,26 Aa
06	25° C	22,43 ± 0,51 Ac	28,33 ± 0,28 Ab	29,27 ± 0,25 Aa

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo, na mesma linha, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

* $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$

Os grãos que foram secos imediatamente após a colheita apresentaram no início do armazenamento maior resistência a condutividade elétrica que os grãos que esperaram por 6 dias para a secagem. Aos seis e aos 12 meses os grãos que foram secos imediatamente, apresentaram maior resistência a condutividade elétrica que os grãos que esperaram para a secagem por 3 e 6 dias. Esse resultado pode ser atribuído, a danos imediatos e latentes, provocados pelo prolongamento do período de espera para secagem, com os grãos contendo alta umidade (20%), predispondo os mesmos a intensificação das reações químicas e enzimáticas durante o armazenamento, proporcionando uma maior desestruturação celular. Os resultados obtidos para a massa de mil grãos (Figura 13) contribuem para a tese que o metabolismo nestes grãos foi mais acelerado no armazenamento.

Os aumentos obtidos na condutividade elétrica durante o período de armazenamento, estão de acordo com Ziegler et al. (2017) que constatou aumentos significativos ($p \leq 0,05$) de 18,56 para 31,99 $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ em grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenado por 180 dias a 24°C.

Os resultados obtidos para o pH dos grãos de arroz de pericarpo vermelho são apresentados na tabela 10.

Os resultados para o pH estão em consonância com o aumento da condutividade elétrica, pois apresentaram diminuição ao longo do armazenamento.

Tabela 10 - pH de grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	6,82 ± 0,03 Aa ¹	6,70±0,02 Ab	6,69 ± 0,02 Ab
03	15° C	6,77 ± 0,03 Aa	6,68 ± 0,01 ABb	6,53 ± 0,02 BCc
03	25° C	6,78 ± 0,02 Aa	6,65 ± 0,01 Bb	6,47 ± 0,01 Cc
06	15° C	6,77 ± 0,01 Aa	6,67 ± 0,02 ABb	6,55 ± 0,05 Bc
06	25° C	6,77 ± 0,01 Aa	6,64 ± 0,01 Bb	6,49 ± 0,01 Cc

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo, na mesma linha, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Aos 6 meses de armazenamento os grãos que esperaram por 3 dias e 6 dias a 25°C obtiveram menor valor de pH ($p \leq 0,05$) que os grãos que foram secos imediatamente. Ao final do período de armazenamento todos tratamentos que esperaram para secagem apresentaram pH mais baixo ($p \leq 0,05$) em relação aos grãos secos imediatamente.

A redução do pH nos tratamentos com tempo de espera estão associados ao metabolismo mais ativo e consequente diminuição da integridade celular dos grãos.

Ziegler et al. (2017) armazenando arroz de pericarpo vermelho por 6 meses atribuiu a redução do pH dos grãos à lixiviação de íons de hidrogênio do interior das células para a solução, o que representa uma maior desestruturação celular dos grãos e indicam que esses grãos estão mais propensos a reações enzimáticas e químicas.

Na figura 13 são apresentados os resultados para a massa de mil grãos.

Os grãos que esperaram acondicionados a 15°C e por até 3 dias a 25°C não diferiram ($p \leq 0,05$) do material seco imediatamente, porém no tratamento com espera para secagem de 6 dias a 25°C percebe-se uma redução acentuada na massa de mil grãos. Ao final do período de armazenamento todos os tratamentos que aguardaram para secagem apresentaram perdas na massa de mil grãos, este feito é atribuído aos danos latentes que foram intensificados com a espera para a secagem.

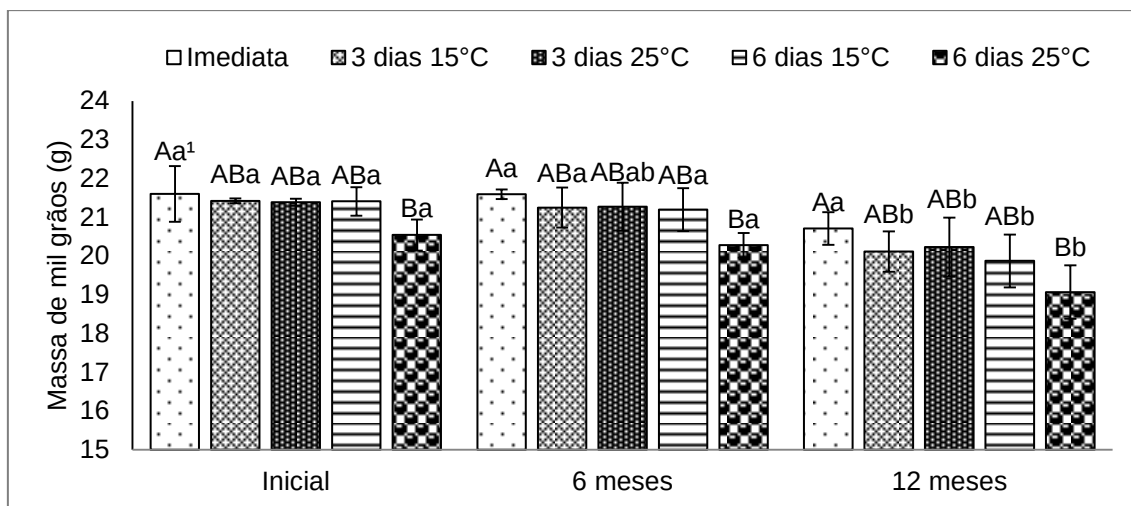


Figura 13 – Efeitos do tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem sobre a massa de mil grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O peso de mil grãos representa o total de energia contida nos grãos e sua redução representa perda física, a qual está diretamente associada a perdas metabólicas e de valor nutritivo (ELIAS et al., 2002).

Barbosa et al. (2005) transcreve que as perdas de massa geralmente acontecem durante o período de armazenamento fruto do gasto metabolismo dos grãos, sendo comumente relatadas na literatura. Porém, os resultados obtidos e apresentados na figura 13 são atribuídos ao metabolismo mais alto dos grãos que esperaram para a secagem com umidade alta (20%) por 6 dias sob temperatura de 25°C.

Segundo Elias et al. (2010), enquanto ainda não são secados, o ritmo metabólico dos grãos é elevado, e a dinâmica metabólica é intensificada já nessa fase.

Na tabela 11 são apresentados os resultados para o percentual de grãos de inteiros, após o descascamento.

O rendimento de grãos inteiros destaca-se com um dos principais parâmetros considerados na avaliação comercial do arroz, sendo os grãos de arroz de pericarpo colorido geralmente comercializados em sua forma integral, após o processo de descascamento, seleção e tipificação.

Tabela 11 - Grãos inteiros integrais* em grãos arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	71,77 ± 0,4 ABb ¹	74,19 ± 0,5 Aa	73,97 ± 0,1 Aa
03	15°C	72,05 ± 0,1 Ac	74,50 ± 0,2 Aa	73,84 ± 0,3 ABb
03	25°C	70,13 ± 0,8 BCb	74,29 ± 0,2 Aa	73,77 ± 0,3 ABa
06	15°C	71,43 ± 1,0 ABCb	74,78 ± 0,3 Aa	73,77 ± 0,1 ABa
06	25°C	70,05 ± 0,3 Cb	73,90 ± 1,3 Aa	73,17 ± 0,5 Ba

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento na mesma linha, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Após o descascamento.

Os resultados apresentados na tabela 11 dão um indicativo da qualidade do material antes do processo seleção. Constata-se que os grãos que esperaram por 6 dias a 25°C obtiveram menor índice de inteiros após o descascamento e que após o período de armazenamento de 6 meses o rendimento aumentou.

A redução ($p \leq 0,05$) nos percentuais de grãos inteiros com espera de 6 dias a 25° C é atribuído ao aumento da atividade metabólica e consequente consumo da matéria orgânica dos grãos (Figura 13) e degradação da qualidade histológica (Tabela 9).

Schiavon (2012), estudando os efeitos da temperatura de armazenamento (8°, 12°, 16°, 20° e 24°C) em grãos de arroz armazenados com 12% de umidade por 12 meses, verificou em seu estudo maiores reduções ($p \leq 0,05$) na massa de mil grãos ao final do armazenamento, nos grãos acondicionados nas temperaturas de 20° e 24°C, como também, percebeu maiores reduções ($p \leq 0,05$) na percentagem de grãos inteiros nos mesmos tratamentos, no mesmo período.

Após o período de 6 meses armazenamento o aumento observado na percentagem de grãos inteiros são atribuídos a uniformização da textura e umidade, equilibrando as tensões e aumentando o rendimento (ELIAS et al., 2015a; OLATUNDE et. al., 2017).

São apresentados na tabela 12 os resultados de grãos inteiros (%) após o polimento.

Tabela 12 – Rendimento de inteiros polidos* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	65,33 ± 0,35 Ab ¹	67,12 ± 0,19 Aa	66,97 ± 0,38 Aa
03	15°C	65,60 ± 0,13 ABb	66,31 ± 0,19 Ba	65,57 ± 0,06 Bb
03	25°C	65,15 ± 0,13 Cc	66,17 ± 0,14 Ba	65,48 ± 0,10 Bb
06	15°C	65,47 ± 0,08 BCb	66,25 ± 0,22 Ba	65,65 ± 0,08 Bb
06	25°C	64,09 ± 0,08 Db	65,05 ± 0,13 Ca	64,01 ± 0,02 Cb

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento na mesma linha, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Porcentagem de grãos inteiros após o polimento, segundo a Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca.

Segundo a Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca, são considerados grãos inteiros os grãos descascados e polidos que apresentarem comprimento superior a $\frac{3}{4}$ da classe pertencente.

Os resultados apresentados na tabela 12 indicam que o tempo de espera para secagem, a temperatura de acondicionamento e o período de armazenamento influenciaram significativamente ($p \leq 0,05$) nos valores obtidos.

As maiores reduções ($p \leq 0,05$) foram observados no tratamento com espera para secagem de 6 dias com os grãos acondicionadas a 25°C, sendo esse resultado atribuído a alto metabolismo desses grãos e aumento da incidência de defeitos (Tabela 13), provocado por danos imediatos e latentes.

Elias et al. (2010), estudando os efeitos do tempo de espera em arroz branco polido, concluiu que pelo menos até um ano de armazenamento, o tempo decorrido entre a colheita e a secagem não altera a suscetibilidade dos grãos à quebra, divergindo dos resultados encontrados neste estudo.

Aos 6 meses de armazenamento observa-se aumento ($p \leq 0,05$) no rendimento de inteiros (%) em todos os tratamentos, reduzindo aos 12 meses de armazenamento nos grãos que esperaram para a secagem.

Esses resultados estão de acordo com Schiavon (2012) e podem ser atribuídas a redistribuição ou acomodação interna dos componentes dos grãos, principalmente os grânulos de amido, após um maior período de repouso subsequente a secagem.

Os resultados obtidos para os defeitos totais (%) de arroz de pericarpo vermelho submetidos a esperas para secagens e armazenados por 12 meses são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 – Defeitos totais* em grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	0,83±0,06 Cb ¹	0,85±0,03 Dab	0,95±0,04 Da
03	15°C	0,87±0,04 BCb	0,91±0,08CDab	1,02±0,05 CDa
03	25°C	0,97±0,01 Bc	1,07±0,04 Bb	1,15±0,03 Ba
06	15°C	0,93±0,04 Bc	0,98±0,01 BCb	1,11±0,01 BCa
06	25°C	1,2±0,03 Ac	1,37±0,04 Ab	1,48±0,04 Aa

¹As letras maiúsculas diferem os diferentes tratamentos na mesma coluna e as letras minúsculas diferem o mesmo tratamento na mesma linha, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Seguindo a Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca.

Os defeitos totais (%) aumentaram ($p \leq 0,05$) com o aumento da espera para secagem e com o tempo de armazenamento.

Os defeitos totais são constituídos pelos defeitos não metabólicos e metabólicos. Os defeitos não metabólicos decorrem de características genéticas da própria cultivar e das condições edafo-climáticas durante o cultivo, não evoluindo durante a pós-colheita, já os metabólitos também podem ter sua origem no campo, mas podem aparecer e ser intensificados em etapas posteriores a colheita dos grãos (OLIVEIRA, et al. 2012).

As diferenças observadas na tabela 13, são atribuídos ao aumento nos defeitos metabólicos (Figura 14), em função da espera para secagem e a evolução dos mesmos ao longo do armazenamento.

Aumentos ($p \leq 0,05$) nos defeitos metabólicos do arroz (ardidos, amarelos, picados e manchados) quando se prolonga o tempo de espera para a secagem são constados na figura 14, porém o resfriamento proporcionou menor incidência de defeitos metabólicos.

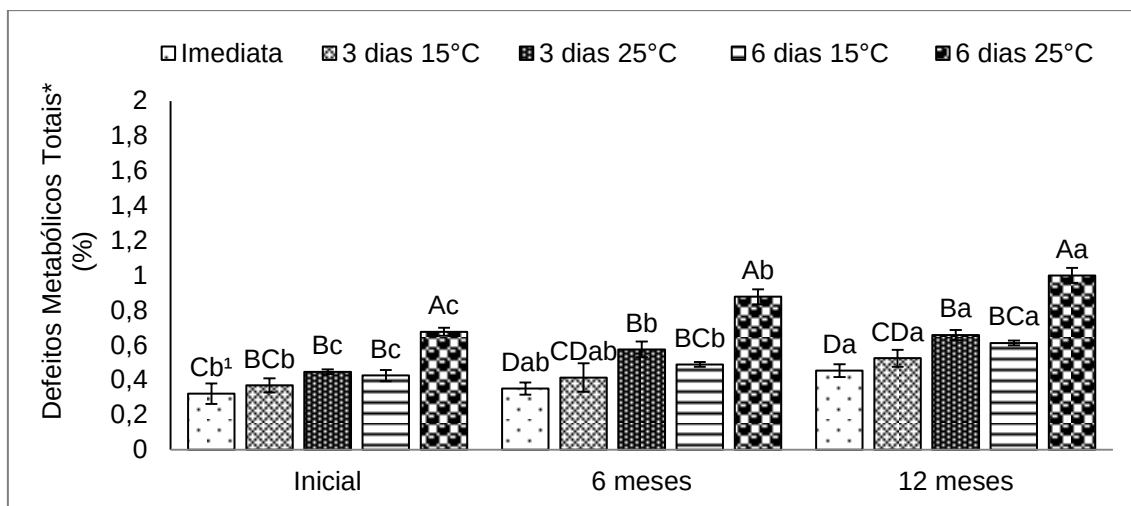


Figura 14 – Defeitos metabólicos totais em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Esses resultados podem ser atribuídos ao aumento do metabolismo e da atividade dos agentes responsáveis pela incidência de defeitos quando os grãos esperaram para a secagem sem refrigeração, refletindo em menores pesos na massa de mil grãos (Figura 13), aumentos na condutividade elétrica (Tabela 9) e diminuição do pH (Tabela 10).

Segundo Barbosa et al. (2009), a demora para a secagem pode ocasionar aumentos na incidência de defeitos de origem metabólica nos grãos, diminuindo sua qualidade.

Elias et al. (2010), constatou aumentos nos percentuais de grãos com defeitos com o aumento do tempo de espera para o armazenamento em arroz de pericarpo branco, mas as intensidades de incidência de grãos com defeitos foram reduzidas com o resfriamento dos grãos.

Na tabela 14 são apresentados os resultados obtidos para a tipificação, seguindo os critérios da instrução normativa Mapa, para grãos de arroz de pericarpo vermelho integral.

Os resultados apresentados na tabela 14 indicam que os diferentes tratamentos foram enquadrados no início do armazenamento como tipo 1, aos seis meses e aos 12 meses apenas o tratamento em que os grãos esperaram por 6 dias à 25°C caíram para tipo 2 em função do aumento observado nos

defeitos metabólicos, mais especificamente, os ardidos que foram ligeiramente superiores ao valor mínimo preconizado na legislação (0,15), seguindo os limites impostos pelo Anexo II da Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca.

Tabela 14 – Tipificação* de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	1	1	1
03	15°C	1	1	1
03	25°C	1	1	1
06	15°C	1	1	1
06	25°C	1	2	2

*Seguindo a Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca.

As regras para a tipificação do produto, segundo o MAPA, seguem uma escala de 1 a 5, sendo que o primeiro indica produto de melhor qualidade. Quando o produto não for enquadrado em nenhum dos tipos, é considerado fora de tipo.

Na figura 15 são apresentados os resultados para o tempo de cocção.

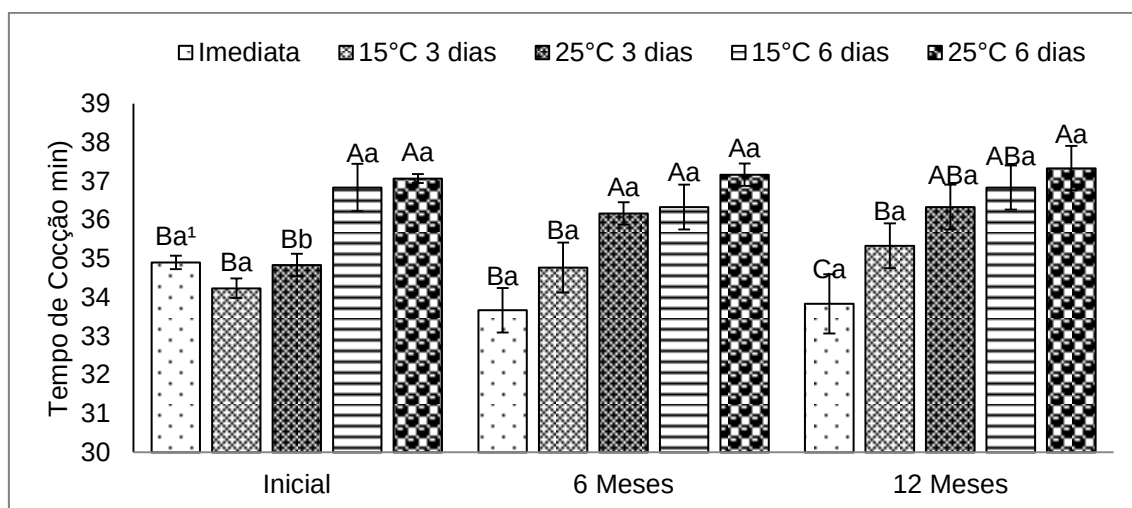


Figura 15 – Tempo de Cocção de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados para velocidade de hidratação apresentados na figura 16, ajudam a responder essa questão.

Os resultados apontam que ocorrem diminuições significativas ($p \leq 0,05$) na velocidade de absorção de água nos tratamentos que esperaram para a secagem.

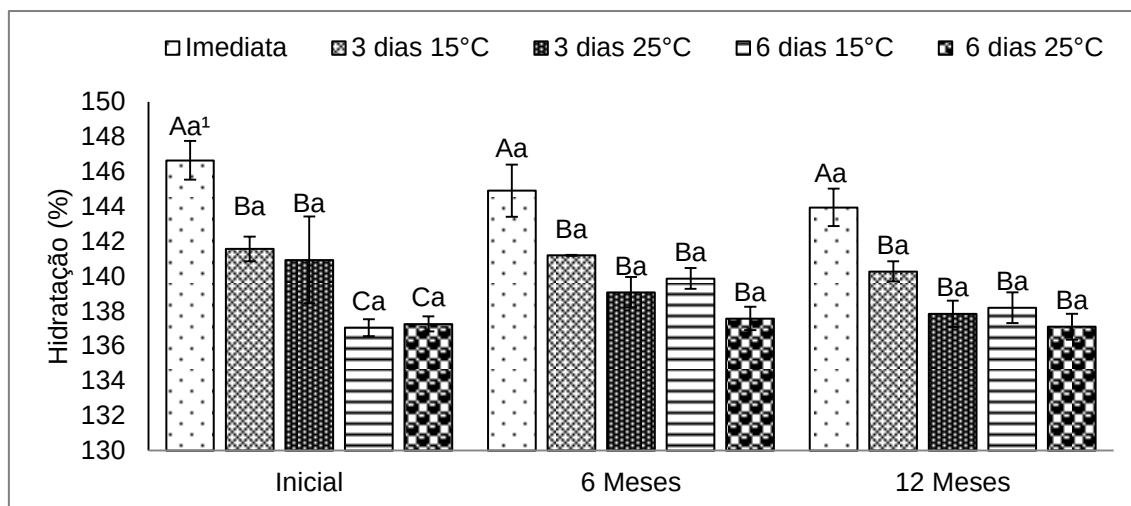


Figura 16 – Velocidade de hidratação de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os grãos que esperaram para a secagem hidrataram mais lentamente que os grãos secos imediatamente. No tratamento com espera para a secagem por 6 dias a 25°C, a hidratação em 10 minutos, correspondeu a 137,26%, 137,57% e 137,10%, respectivamente, no início, aos 6 meses e aos 12 meses de armazenamento. Já nos tratamentos com secagem imediata, a hidratação em 10 minutos, correspondeu a 146,64%, 144,90% e 143,94%, no início, aos seis meses e aos 12 meses de armazenamento.

Esses resultados são atribuídos as interações entre os componentes que se localizam na camada mais periférica das cariopses, como proteínas, compostos fenólicos e proantocianidinas, (Figuras 12, 17 e 18), criando uma barreira e diminuindo, conseqüentemente, a velocidade de absorção de água.

Nassar-Abbas et al. (2008a), estudando os efeitos da temperatura de armazenamento em fava, verificou diminuição na velocidade de hidratação, com o aumento da temperatura de armazenamento, concluindo que a interação

entre taninos e proteínas, e lignificação das paredes celulares formaram uma barreira a hidratação da água.

Na tabela 15 são apresentados os resultados para a dureza de grãos de arroz com o pericarpo vermelho que esperaram para a secagem.

Tabela 15 – Dureza* após a cocção de grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	64,89 ± 06,02 Bb ¹	67,26 ± 05,78 Bab	73,14 ± 11,96 Ba
03	15°C	63,84 ± 06,18 Bc	70,98 ± 10,28 ABb	77,09 ± 08,76 ABa
03	25°C	66,91 ± 08,71 Ab	72,62 ± 12,16 ABb	79,38 ± 08,54 ABa
06	15°C	74,21 ± 08,79 Aa	74,99 ± 07,34 ABa	77,95 ± 10,16 ABa
06	25°C	78,65 ± 09,50 Aa	76,59 ± 12,61 Aa	82,87 ± 09,26 Aa

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos na mesma coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento na linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Em Newtons.

No início do armazenamento, a dureza logo após a cocção encontrou-se na faixa de 64,89 a 78,65 N, aos 6 meses entre 67,26 a 76,59 N e ao final do período de armazenamento, aos 12 meses, a dureza após a cocção encontrava-se dentro da amplitude de 73,14 a 90,69 N. Sendo verificadas mudanças significativas ($p \leq 0,05$) em função da espera para secagem e do tempo de armazenamento.

Os grãos que esperaram para a secagem por 6 dias para a secagem acondicionados em 25°C obtiveram os maiores valores ($p \leq 0,05$) de dureza dos grãos após a cocção. O resultado encontrado está relacionado com a velocidade de absorção de água, capacidade de hidratação e interação dos fenóis e proantocianidinas com outros componentes dos grãos.

Segundo Rozo et al. (1990) existe uma forte correlação entre o aumento da dureza e a diminuição de proantocianidias. Zhou et al. (2007), afirma que aumento da dureza pode ocorrer como resultado de uma diminuição da capacidade de hidratação.

Ziegler et al. (2018) estudando efeitos da temperatura de armazenamento (16°C, 24°C, 32°C e 40°C) em grãos de arroz de pericarpo preto, marrom e vermelho, armazenados por 180 dias, verificando aumentos significativos ($p \leq 0,05$) na dureza após a cocção, nos grãos de pericarpo preto

armazenados nas temperaturas de 24°C, 32°C e 40°C, nos grãos de pericarpo marrom nas temperaturas de 32°C e 40°C e nos grãos de pericarpo vermelho na temperatura 40°C.

Os resultados para o conteúdo de fenólicos solúveis totais de grãos de arroz com pericarpo vermelho estão apresentados na tabela 16.

Tabela 16 - Compostos fenólicos solúveis* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	659,54 ± 7,11 Aa ¹	617,83 ± 5,85 Ab	611,33 ± 0,84 Ab
03	15°C	615,61 ± 1,67 Ba	608,25 ± 5,42 ABa	572,61 ± 1,67 Bb
03	25°C	597,66 ± 6,67 BCa	589,41 ± 7,50 BCa	531,06 ± 0,00 Db
06	15°C	606,97 ± 4,15 BCa	579,12 ± 0,41 Cb	555,07 ± 0,41 Cc
06	25°C	591,92 ± 4,14 Ca	577,58 ± 5,38 Ca	519,62 ± 2,90 Eb

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Equivalente mg de ácido gálico.100g⁻¹de amostra.

No início do armazenamento, os grãos apresentaram valores de compostos fenólicos entre 591,92 a 659,54 mg de ácido gálico.100g⁻¹, sendo os menores valores ($p \leq 0,05$) observados nos materiais que esperaram para a secagem. Ao final do armazenamento os valores situaram-se entre 519,62 a 611,33 mg de ácido gálico.100g⁻¹, observando-se, portanto, uma redução ($p \leq 0,05$) no teor de compostos fenólicos solúveis ao longo do período de armazenamento.

A redução ($p \leq 0,05$) de compostos fenólicos nos grãos que esperaram para a secagem no início do armazenamento e, para todos os tratamentos ao longo do armazenamento, podem ser atribuídas a reações enzimáticas, principalmente polifenoloxidase e peroxidase, ou reações oxidativas. A polifenoloxidase e a peroxidase catalisam reações de hidroxilação e oxidações de fenóis em compostos de coloração escura (MAYER, 2006). O escurecimento, mais acentuado, observado nos grãos que esperaram para a secagem (Valor L*, Tabela 6), contribui para essa teoria. Devido à sua alta atividade antioxidante, a diminuição nos compostos fenólicos solúveis também podem estar associados a proteção contra reações oxidativas.

Os resultados obtidos para os fenólicos solúveis estão condizentes com Alves et al. (2016) que encontrou 694,12 mg.100g⁻¹ de ácido gálico em arroz de pericarpo vermelho extraídos com acetona 70%.

Alves et al. (2017), estudando o comportamento no armazenamento do arroz branco integral cultivados em sistemas orgânico e convencional, constatou reduções significativas nos compostos fenólicos solúveis nos grãos cultivados em sistema orgânico, não observando o mesmo comportamento nos grãos cultivados no sistema convencional, armazenados por 12 meses a 25°C.

Os resultados para o conteúdo de fenólicos insolúveis totais estão apresentados na tabela 17.

Tabela 17 - Compostos fenólicos insolúveis* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

Dias	Temperatura	Tempo de armazenamento		
		Inicial	6 meses	12 meses
	Imediata	284,85 ± 5,52 Aa ¹	277,88 ± 0,67 Aa	275,51 ± 0,00 Aa
03	15°C	277,58 ± 2,33 Aa	263,33 ± 1,83 Cb	272,28 ± 0,17 Aa
03	25°C	276,32 ± 4,00 Aa	273,72 ± 0,00 Ba	272,66 ± 1,17 Aa
06	15°C	285,83 ± 7,46 Aa	280,44 ± 0,50 Aa	274,93 ± 0,33 Aa
06	25°C	275,29 ± 6,13 Aa	277,05 ± 0,66 ABa	263,35 ± 1,49 Ba

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

*Equivalente mg de ácido gálico.100g⁻¹de amostra.

No início do armazenamento, logo após a secagem, os diferentes tratamentos apresentaram conteúdo de fenóis insolúveis entre 275,29 e 284,85 mg de ácido gálico.100g⁻¹. Ao final do período de armazenamento, 12 meses, os teores situaram-se entre 263,35 e 275,51 mg de ácido gálico.100g⁻¹.

Os grãos que esperam por 6 dias acondicionados a 25° C, apresentaram o menor conteúdo (p ≤ 0,05) de compostos fenólicos insolúveis ao final do período de armazenamento, esses resultados são atribuídos a atividade enzimática, proporcionadas pelo metabolismo mais ativo desses grãos (massa de mil grãos, Figura 13), proporcionando maiores reduções nos compostos fenólicos ligados a outros componentes celulares.

Neste estudo a fração insolúvel correspondeu a menor parcela dos fenólicos totais. Alguns estudos relatem a proeminência de compostos fenólicos insolúveis em arroz como Adom et al. (2002;), outros relatam maior

conteúdo de compostos fenólicos solúveis frente aos insolúveis como Alves et al. (2016),

Os resultados para o conteúdo fenólico total em grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a espera para secagens são apresentados na figura 17.

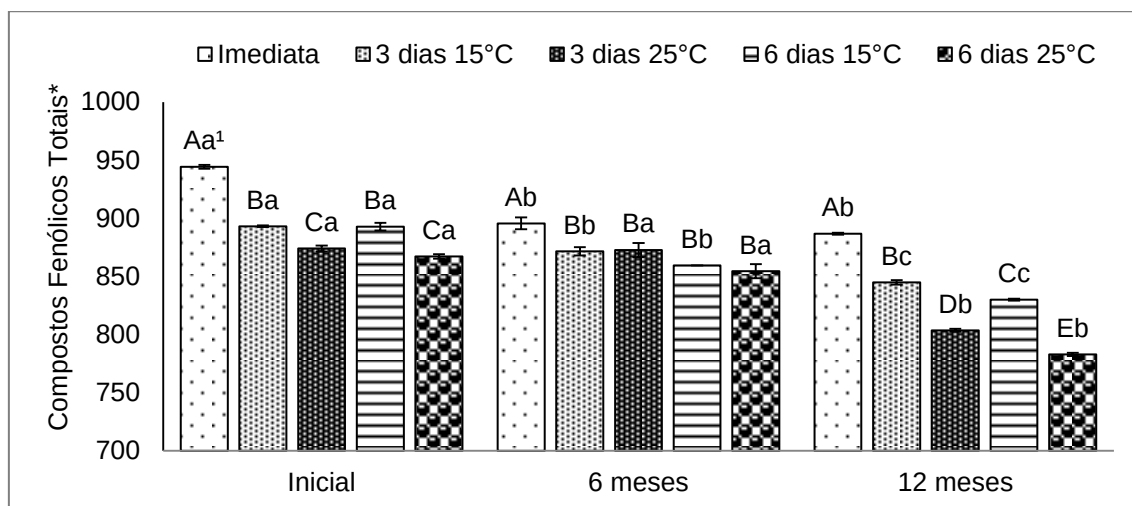


Figura 17 – Fenóis totais em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Equivalente mg de ácido gálico.100g⁻¹ de amostra

O conteúdo fenólico total é o resultado da soma dos fenólicos solúveis com os insolúveis. Após a secagem, no início do armazenamento, os resultados encontraram-se entre 907,98 e 867,21mg de ácido gálico.100g⁻¹ de amostra e ao final do armazenamento entre 866,39 e 782,96 mg de ácido gálico.100g⁻¹ de amostra, sendo esta diminuição de compostos fenólicos totais observada ao longo do armazenamento atribuída a degradação de compostos fenólicos solúveis (Tabela 16).

Os grãos que esperaram para a secagem apresentaram menores teores de compostos fenólicos totais no início e ao longo do armazenamento se comparados aos grãos secos imediatamente. Porém o arrefecimento (15°C) da massa de grãos enquanto os mesmos esperaram para a secagem proporcionou menores reduções ($p \leq 0,05$) nos compostos fenólicos totais no início e aos 12 meses de armazenamento. Evidenciando ao final dos 12 meses

o efeito latente do tempo de espera à 25°C na degradação dos compostos fenólicos totais.

Além da ação enzimática diferentes fenômenos podem contribuir para a diminuição dos compostos fenólicos. O tratamento térmico, as interações de compostos fenólicos com outros componentes, alterações em sua estrutura química, concentração de açúcar e pH podem colaborar com diminuição de compostos fenólicos presentes (ANCOS et al., 2000; JULKUNEN-TIITTO et al. 2001; MARTÍN-CABREJAS et al., 2009; MEIJA-MEZA et al., 2008, QU et al., 2010; YOUSIF, et al. 2000).

Na figura 18 são apresentados os resultados obtidos para proantocianidinas* em grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens.

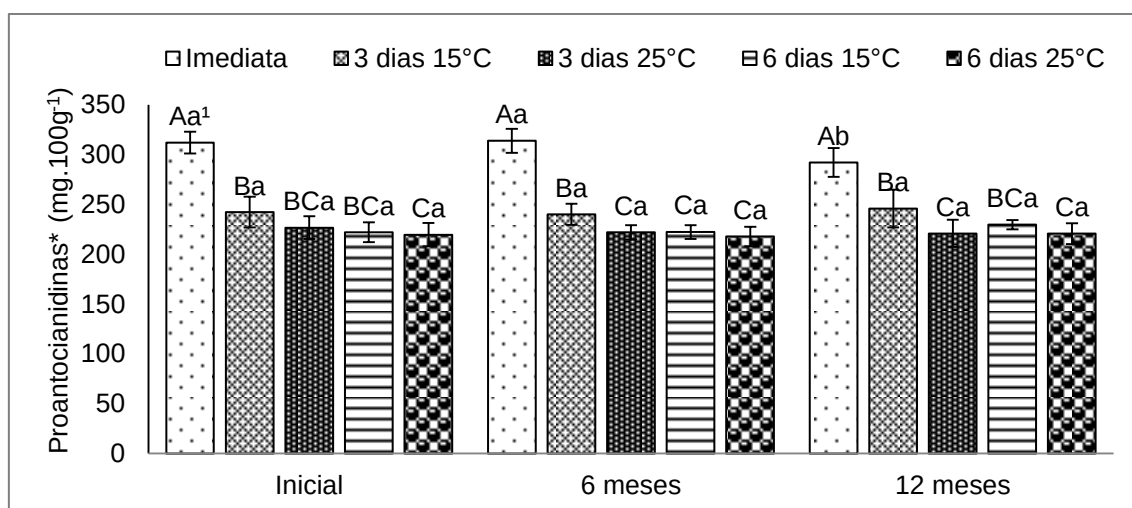


Figura 18 – Proantocianidinas* totais em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a tempo de espera (3 e 6 dias) e acondicionamento (15° e 25°C) para secagem

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Equivalente mg.de catequina

A coloração avermelhada, característica dos grãos de arroz de pericarpo vermelho, é atribuída a presença de proantocinidinas, um potente antioxidante que encontram-se em maior concentração na superfície dos grãos (GUNARATNE et al., 2013), e tem sua presença e coloração influenciadas por

fatores como a temperatura, pH do meio e composição atmosférica (FENNEMA, et al., 2011).

Inicialmente os diferentes tratamentos apresentaram conteúdo proantocianidinas entre 312,02 e 219,65 mg de catequina.100g⁻¹, constatando-se reduções ($p \leq 0,05$) no teor de proantocianidinas nos grãos que esperam para a secagem. Ao final do período de armazenamento, aos 12 meses, os teores encontraram-se entre 292,14 e 220,66 mg de catequina.100g⁻¹, não ocorrendo alterações significativas ($p \leq 0,05$) nas proantocianidinas ao longo do período de armazenamento nos grãos que esperaram para a secagem.

As reduções observadas nos grãos que esperaram para secagem, também devem estar relacionadas com o degradação por via-enzimática e participação em reações oxidativas. As proantocianidinas atuam no sistema de defesa dos grãos e são danificadas por reações oxidativas quando expostas a fatores ambientais desfavoráveis, como a luz, o oxigênio, os radicais livres e os íons metálicos (AMAROWICZ et al., 2004; TROSZYNSKA et al., 2002).

A interação com outros componentes do grão, tornando-as insolúveis, também podem estar associados com as reduções no teor de proantocianidinas. (AWIKIA et al., 2003; e DLAMINI et al., 2009). Nasar-Abbas et al. (2009), estudando armazenamento em fava, verificou diminuição no teor de proantocianidinas, com o aumento da temperatura de armazenamento, e concluiu que a interação entre taninos e proteínas, e lignificação das paredes celulares também podem ter contribuído para redução desses componentes.

3.4. Conclusão

3.4.1. A espera para a secagem altera significativamente o perfil colorimétrico dos grãos como consequência da oxidação de compostos fenólicos e proantocianidinas.

3.4.2. A solubilidade proteica diminui e a condutividade elétrica aumenta nos grãos que esperaram para a secagem.

3.4.3. Os grãos que esperam por 6 dias a 25°C para secagem sofrem perdas na massa de mil grãos, obtém menor rendimento de inteiros e possuem maior incidência de defeitos metabólicos, que os grãos secos imediatamente.

3.4.4. O tempo de cocção e a dureza após a cocção aumentam e a velocidade de hidratação diminui com o aumento no tempo de espera e da temperatura de acondicionamento.

3.4.5. Diminuem o teor compostos fenólicos totais e de proantocianidinas totais em grãos que esperam para a secagem. Porém o arrefecimento atenua as perdas.

3.4.6. O arrefecimento (15° C) da massa de grãos enquanto esperam para a secagem atenua os efeitos negativos provocados nas principais propriedades tecnológicas e compostos fenólicos.

4. Capítulo 2 : Efeitos da temperatura de secagem sobre as propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho

4.1. Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos principais cereais cultivados no mundo. No continente asiático concentram-se os maiores produtores desse cereal, que juntos colheram no ano 2017 cerca de 646,9 milhões de toneladas, isto significa 89,1% do total produzido no mundo (USDA, 2017). Fora do continente asiático, o Brasil é o principal produtor, produzindo 12.327,8 milhões de toneladas na safra 2016/2017 (CONAB, 2017).

Mais de 85% do arroz consumido no mundo são poucos pigmentados, conhecidos como “arroz branco” (OKI et al., 2002). Hoje em dia, diversas variedades que apresentam o pericarpo pigmentado, como o arroz vermelho, têm recebido grande atenção por parte dos consumidores por possuírem elevado teor de compostos bioativos e apresentarem características sensoriais diferenciadas ao “arroz branco”. O grande destaque sob o ponto de vista da composição química é o seu elevado teor de compostos fenólicos, associado à alta capacidade antioxidante (FINOCCHIARO et al., 2007; 2010).

Fisiologicamente os grãos de arroz atingem o ponto colheita com umidade elevada, em torno de 32%, neste estágio os grãos apresentam o máximo de matéria seca acumulada e a permanência por período prolongado o expõe a deiscência natural, ações climáticas e alta pressão de insetos, fungos e ácaros, que contribuem para depreciação quantitativa e qualitativa do produto. Logo conclui-se que é fundamental que a colheita seja iniciada assim que grão apresente umidade adequada para a operação. A colheita do arroz deve ser realizada quando os grãos apresentam teor de água entre 19 e 24%, para assegurar maior quantidade e qualidade do produto, particularmente rendimento de grãos inteiros (SOSBAI, 2012).

Uma vez que os grãos são geralmente colhidos com umidade elevada, a secagem constitui uma das operações de primordial importância entre as

técnicas envolvidas na conservação da qualidade e na manutenção do valor nutritivo do produto.

O processo de secagem pode ser realizado de diversas maneiras, porém, requer cuidados especiais, no que diz respeito às temperaturas. Problemas encontrados no processo de secagem de arroz com casca são similares aos de outros cereais, porém o arroz exige operação mais controlada, em razão da sua suscetibilidade a altas temperaturas de secagem e aos choques térmicos, devendo os mesmos ser controlados dentro de certos limites para evitar possíveis danos físico-químicos e biológicos às cariopses. Tais danos acarretam redução na qualidade física, química e fisiológica dos grãos seja logo após a secagem, denominados de efeitos imediatos, ou durante o armazenamento, denominados de efeitos latentes (ELIAS et al., 2015a).

Existem muitos trabalhos sobre arroz de pericarpo vermelho, porém poucos trabalhos abordam os efeitos da secagem sobre a qualidade física, química, fisiológica e nutricional desses grãos, portanto trabalho foi realizado objetivando avaliar efeitos de diferentes temperaturas do ar secagem sobre propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de grãos de arroz com pericarpo vermelho.

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Material

Foram utilizados grãos de arroz de pericarpo vermelho, “classe médio”, produzidos no ano de 2016 no município de Jaguarão, estado do Rio Grande do Sul, Brasil, latitude S 32°33'57”, longitude W 53°22'33” e altitude de 26 metros. Os grãos foram colhidos mecanicamente com umidade de 20% e transportados até o Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, da Universidade Federal de Pelotas, onde foi conduzido o experimento.

No momento da chegada foi realizada operação de pré-limpeza, com objetivo de retirar impurezas e matérias estranhas. Os grãos foram secos (amostras de 1000 gramas), em triplicata, em secador de leito fixo até a obtenção da umidade de 13%, com temperaturas do ar de secagem: 40°C, 60°C, 80°C e 100°C, monitorando a temperatura da massa de grãos e velocidade do ar de secagem de 1,2 m.s⁻¹. Parte da amostra foi secada ao sol e utilizada como controle.

Também foi objeto de estudo o mesmo material seco em escala industrial com secador intermitente, utilizando temperatura do ar crescente de 70±5°C, 90±5°C e 110±5°C, respectivamente na 1ª, 2ª e da 3ª até a penúltima hora, havendo redução gradual da temperatura do ar na última hora da operação, com relação de secagem 3:1 e manutenção da temperatura da massa grãos ≤ 45°C.

Após a obtenção da umidade desejada, foi realizado expurgo e os grãos foram colocados em sacos de polietileno de 0,2 mm de espessura de filme plástico com capacidade de 0,9 Kg e armazenados, conforme o detalhamento do delineamento experimental, a 25°C em câmara de armazenamento por 12 meses e as análises iniciais iniciaram após o sétimo dia visando a equalização da umidade.

4.2.2. Métodos

4.2.2.1. Composição química: O teor de umidade dos grãos de arroz durante o período de armazenamento foi determinado em estufa a 105 ± 3°C,

com circulação natural de ar por 24 horas, de acordo com o método recomendado pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2000). Conteúdo de umidade foi expresso em percentagem (%). O teor de nitrogênio foi determinado de acordo com o método AACC 46-13 (AACC, 1995), e o conteúdo de proteína foi obtido utilizando o fator de conversão de nitrogênio para proteína de 5,95 e expressa pelo percentual (%) em base seca. O teor de óleo foi determinado de acordo com o método 30-20 da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995). O teor de óleo foi expresso pelo percentual (%) em base seca. O teor de cinzas foi determinado de acordo com AACC método 08-01 (AACC, 1995) e os resultados expressos pelo percentual (%) em base seca.

4.2.2.2. Germinação: Foram realizadas 4 testes de germinação com 50 sementes. As sementes foram colocadas em papel filtro umedecido espaçadas em 5 vezes o seu diâmetro. Após foram acondicionadas em uma incubadora na ausência de luz e com temperaturas do ar de 25°C. O substrato foi mantido umedecido durante todo o teste. A contagem foi realizada após 14 dias. Seguiu-se as instruções contidas no livro Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em percentagens.

4.2.2.3. Perfil colorimétrico: O perfil colorimétrico foi avaliado em colorímetro (Minolta, modelo CR-310, Osaka, Japão), que faz a leitura de cores num sistema tridimensional, avaliando a cor em três eixos, onde o eixo L* avalia a amostra do preto ao branco, o eixo a* da cor verde ao vermelho e o eixo b* da cor azul ao amarelo.

4.2.2.4. Proteína solúvel: O teor de proteína solúvel foi determinado segundo método descrito por Liu, et al. (1992), com modificações. Em cada amostra de 2g foram adicionados 50ml de água destilada, sendo as amostras e a água misturadas com o auxílio de agitador magnético durante 1 hora, após foram centrifugadas a 5300g durante 20min. em 24°C de temperatura em centrífuga *Eppendorf Centrifuge 5430R*. Uma alíquota de 1mL do sobrenadante

foi coletado e a determinação do teor de proteína solúvel foi feita pelo método descrito pela AACC (1995), o mesmo utilizado para avaliação do teor de proteína bruta. Os resultados foram expressos em percentagem de proteína solúvel.

4.2.2.5. Condutividade elétrica: A condutividade elétrica da água de hidratação foi determinada segundo metodologia do International Seed Testing Association - ISTA (2008). Foram pesadas três repetições de 10g, e imersas em 75mL de água deionizada (em Becker de 250mL), colocadas em germinador regulado para a temperatura constante de 20°C, posteriormente, incubados durante 24 horas. As soluções foram agitadas suavemente e a condutividade elétrica foi determinada com condutivímetro sem filtragem da solução. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

4.2.2.6. pH dos grãos: O pH foi determinado segundo método proposto por Rehman et al. (2002). Um filtrado de 2g de amostra moída (35 mesh) em 20mL de água destilada, utilizando um eletrodo de vidro pH metro (Pye Unicam, Inglaterra).

4.2.2.7. Peso de mil grãos: O peso de mil grãos foi realizado segundo Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009b), com contagem de quatro repetições de 250 grãos para cada e pesagem em balança de precisão. Os resultados foram expressos em gramas.

4.2.2.8. Rendimento de inteiros após o descascamento: Para a avaliação do rendimento de grãos inteiros, utilizou-se 105 gramas de amostra, com três repetições de cada tratamento que foram descascadas em engenho de provas marca Zaccaria, modelo DTAZ1. Os grãos foram classificados como “médios” conforme os conceitos constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a). Portanto, foi considerado inteiro o grão que apresentou comprimento após o descascamento igual ou superior a 3,75 mm.

4.2.2.9. Rendimento de inteiros IN MAPA 6/2009: Seguiu os conceitos propostos pela Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009). para grãos natural em casca. Os grãos foram classificados como “médios” conforme os conceitos constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a). Portanto, foi considerado inteiro o grão que após o polimento apresentou comprimento igual ou superior a 3,75 mm.

4.2.2.10. Defeitos totais: A identificação e a separação dos grãos com seguiu os conceitos e caracterização constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a). Os resultados foram expressos em percentagem de grãos com defeitos.

4.2.2.11. Tipificação: Seguiu os conceitos e caracterização constantes na Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009a).

4.2.2.12. Tempo de cocção: A avaliação do tempo de cocção foi realizada de acordo com o teste Ranghino (JULIANO et al., 1985). Foi colocado em um Becker de volume 250 mL, contendo 200 mL de água destilada aquecia a $98^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, uma colher de sopa rasa de arroz. Após o Becker foi tampado e iniciou-se a contagem do tempo de cocção. Após 20 minutos de cocção, a cada minuto foi verificado 10 grãos amassando-os em placas de vidro, quando 90 % dos grãos não apresentar mais o hilo branco no centro do grão a amostra foi considerada cozida.

4.2.2.13. Velocidade de hidratação: A velocidade de hidratação foi avaliada conforme Cao et al. (2016) com algumas alterações. Cinco gramas (5 g) da amostra foram imersas em 150 mL de água destilada, a 100°C , por 10 minutos. Após, o excesso de água superficial foi removido, deixando as amostras sobre um papel toalha por 60 segundos, sendo posteriormente pesadas. A velocidade de hidratação (VH) foi quantificada como: $VH = (\text{amostra hidratada}/\text{amostra seca}) * 100$.

4.2.2.14. Dureza: O cozimento das amostras foi realizado conforme descrito por Juliano et al. (1985). As amostras de arroz para cozimento foram preparadas em becker de 250mL com 200mL de água destilada à temperatura de $98\pm 1^{\circ}\text{C}$, onde foi colocado 10 g de amostras e deixado no tempo previamente determinado para cocção com constante agitação, removendo-se no final toda a água da cocção, e mantendo os grãos no interior do becker para o teste, enquanto ainda estarão quentes. A dureza dos grãos cozidos foi determinado utilizando-se equipamento marca *Stable Micro Systems Texture Analysers*, modelo TA.XTplus, com uma célula de carga de 5 kg com uma compressão de dois ciclos (PARK et al., 2001). Uma força de compressão de dois ciclos de tempo versus programa foi utilizada para comprimir as amostras até 90% da espessura original de grão cozido, retornando à sua posição original e comprimindo novamente. A dureza foi definida como a força máxima requerida para comprimir a amostra numa dada percentagem pré-estabelecida, em Newton, conforme descrito por Bourne (1978), Dez determinações, em triplicata, foram realizadas por tratamento e o resultado foi expresso pela média das determinações.

4.2.2.15. Integridade dos grãos após a cocção: Os grãos foram cozidos em panelas de alumínio adaptadas, nas quais foi colocado 35 g de grãos e adicionaram-se 105 mL de água, com temperatura de $98\pm 1^{\circ}\text{C}$, deixando-se o tempo determinado para cocção. Após a cocção, foram contados 50 grãos aleatoriamente, sendo considerado grão integro aquele que não apresentava deformação considerável, isto é, o endosperma não estava exposto. O teste foi realizado em triplicata.

4.2.2.16. Compostos fenólicos

4.2.2.16.1. Obtenção do extrato para fenólicos solúveis: A obtenção do extrato foi realizada conforme método proposto por Alves et al. (2016), com alterações. Foram pesadas 1g de amostra em tubos de falcon de 50mL, ao abrigo de luz, e adicionados 10mL de acetona 70%, em seguida os tubos foram

agitados a 160rpm durante 1 hora., seguido de centrifugação a 4000rpm, a 20°C, durante 5min. em centrífuga Eppendorf Centrifuge 5430R, o sobrenadante foi coletado. Foi realizado mais duas extrações, na mesma amostra, com 10mL (10mL + 10 mL) de acetona 70% respectivamente, seguindo as mesmas operações descritas acima. Ao final das três extrações, foram juntados e armazenados os sobrenadantes a 4°C até o momento da quantificação.

4.2.2.16.2. Obtenção do extrato fenólicos insolúveis: A obtenção do extrato foi realizada conforme método proposto por Alves, et al. (2016) com algumas modificações. No resíduo da extração dos compostos fenólicos livres contidos em tubos de falcons de 50mL, primeiramente foi realizado uma hidrólise enzimática com α amilase, seguida de reação alcalina com 40mL de NaOH 4M por 4 horas em banho a temperatura de 40°C, sendo após ajustado o pH para 1,5 a 2,0 com adição de HCl 6N. Após, foi realizado três lavagens com 20mL de acetato de etila a cada lavagem, com centrifugação a 4000 rpm por 5min. a 20°C entre as lavagens, realizado em centrífuga Eppendorf Centrifuge 5430R, sendo coletado o sobrenadante de cada lavagem e os mesmos juntados. Posteriormente a fração de acetato de etila contendo os compostos fenólicos insolúveis, foram rotaevaporadas em rotaevaporador (Marca Heidolph, modelo Larorata 4000), na temperatura de 35°C a 150rpm até secura, o resíduo foi dissolvido em 20ml de acetona 70% e armazenado em tubo de Falcon a 4°C ao abrigo da luz até o momento da determinação.

4.2.2.16.3. Quantificação de compostos solúveis e insolúveis totais: O teor de compostos fenólicos solúveis e insolúveis foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme citado por Zielinski, et al. (2000). Foram adicionados 100 μ L de extrato em tubo de falcon de 15mL e completado o volume para 400 μ L com água destilada. Foram adicionados 250 μ L de reagente Folin-Ciocalteu 1N e aguardado 8 minutos para redução dos compostos fenólicos com o reagente Folin-Ciocalteu. Após será adicionado 1,25mL da solução de carbonato de sódio (7,5%) ao tubo de falcon, agitado e colocado em

ambiente ao abrigo da luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 725nm após 2 horas. Os teores de compostos fenólicos solúveis e insolúveis foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico.g⁻¹ de amostra, através de curva realizada com padrão de ácido gálico .

4.2.2.17. Proantocianidinas: A determinação do conteúdo de proantocianidinas foi determinado segundo Alves, et al. (2016). Foram pipetados 1 mL do extrato (mesmo extrato utilizado para a quantificação de compostos fenólicos solúveis) em tubos de vidro, em seguida foram adicionados 6,0 mL de butanol acidificado (butanol:HCl, 95mL:5mL) e 100 µL de reagente férrico. A mistura foi levada a banho fervente (97-100°C), por 50 minutos. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 550 nm e os resultados expressos em mg de catequina por 100 g de amostra.

4.2.2.18. Estatística: Para comparação dos resultados foi aplicado teste de Tukey a 5% de probabilidade através de um teste de variância ANOVA.

4.2.3. Delineamento experimental

Na tabela 18 é apresentado o delineamento experimental para o estudo: Efeitos da temperatura de secagem sobre as propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho.

Tabela 18 - Delineamento experimental: Efeitos da temperatura de secagem sobre as propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de arroz de pericarpo vermelho.

Tratamentos	Variáveis independentes		Variáveis dependentes
	Temperatura do ar (°C)	Tempo de armazenamento (meses)	
1			Propriedades Tecnológicas
2	40		Composição química*
3	60	Inicial	Germinação
4	80	6	Perfil colorimétrico
5	100	12	Solubilidade proteica
...			pH dos grãos
...	Ao sol		Condutividade elétrica
...			Massa de mil grãos
			Grãos inteiros integrais
			Rendimento de inteiros
			Defeitos totais
			Tipificação
	Intermitente		Tempo de cocção
			Velocidade de hidratação
			Dureza após cocção
			Integridade após a cocção
			Compostos fenólicos
			Compostos fenólicos solúveis
			Compostos fenólicos insolúveis
			Compostos fenólicos totais
18			Proantocianidinas totais

*Inicial e aos 12 meses

4.3. Resultados e Discussões

Na figura 19 é apresentada a curva de secagem para os grãos de arroz de pericarpo vermelho que foram secos em secador de leito fixo com temperaturas do ar de entrada de 40°C, 60°C, 80°C e 100°C.

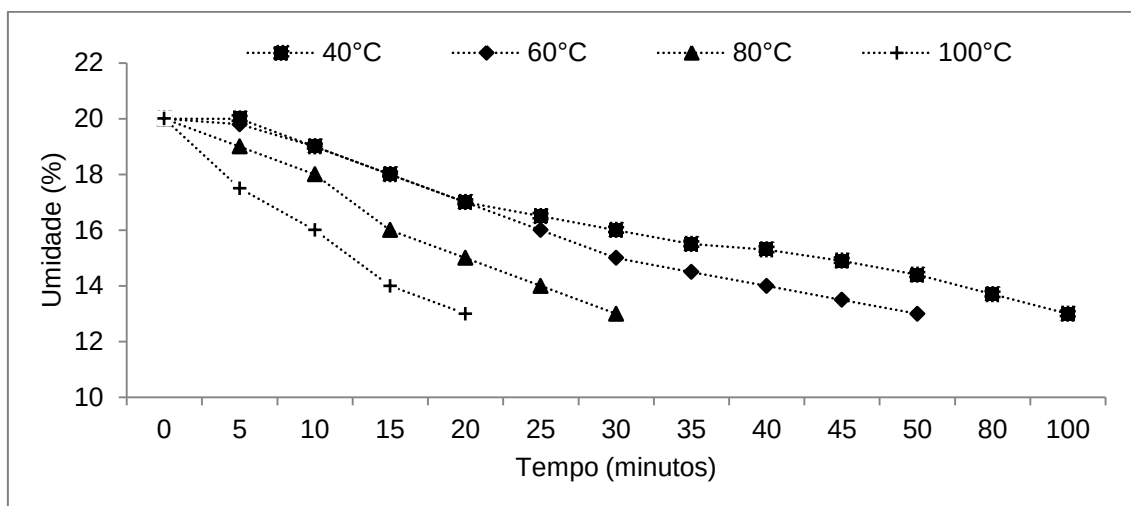


Figura 19 – Dinâmica de secagem de grãos de arroz de pericarpo vermelho secados em secador de leito fixo com temperaturas do ar de entrada de 40°C, 60°C, 80°C e 100°C

A umidade inicial dos grãos era de 20% e todos foram secos à umidade próxima aos 13%, objetivando manter as características que possuem imediatamente após a colheita durante todo o período de armazenamento.

Para a obtenção da umidade desejada os grãos foram expostos durante 100, 50, 30 e 20 minutos as respectivas temperaturas de 40°C, 60°C, 80°C e 100° C.

As temperaturas da massa de grãos atingidas durante a secagem são apresentados na figura 20.

A temperatura máxima da massa grãos para cada tratamento foi atingida próximo ao término de suas respectivas secagens com a obtenção da umidade aproximada de 13%.

Durante a secagem ocorrem trocas de energia entre os grãos e o ar de secagem, na forma de vapor de água e de calor respectivamente, porém o durante o processo, com a evaporação da água na periferia dos grãos e consequente diminuição de umidade, ocorre um desequilíbrio isoentálpico, ocasionando o aquecimento da massa de grãos.

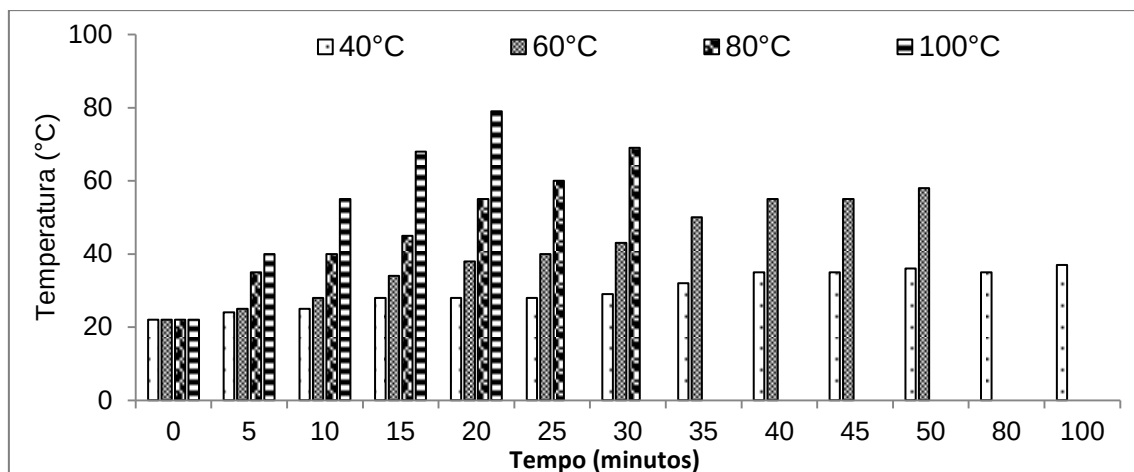


Figura 20 – Temperatura da massa de grãos de arroz de pericarpo vermelho secados em secador de leito fixo com temperaturas do ar de entrada de 40°C, 60°C, 80°C e 100°C

As temperaturas máximas para a massa de grãos foram 37°C, 58°C, 69°C, 79°C para os respectivos tratamentos: 40°C, 60°C, 80°C e 100°C.

Para os grãos que foram secos ao sol, não houve acompanhamento técnico da secagem.

Os grãos que foram secos em secador intermitente, a temperatura do ar utilizada foi crescente de 70°C, 90°C e 110°C, na 1ª, 2ª e da 3ª até a penúltima hora, respectivamente, havendo redução gradual da temperatura do ar na última hora da operação, com relação de secagem 3:1 e manutenção da temperatura da massa grãos abaixo dos 45° C.

A umidade manteve-se durante todo o período de armazenamento na faixa pré-estabelecida para o estudo (Figura 21).

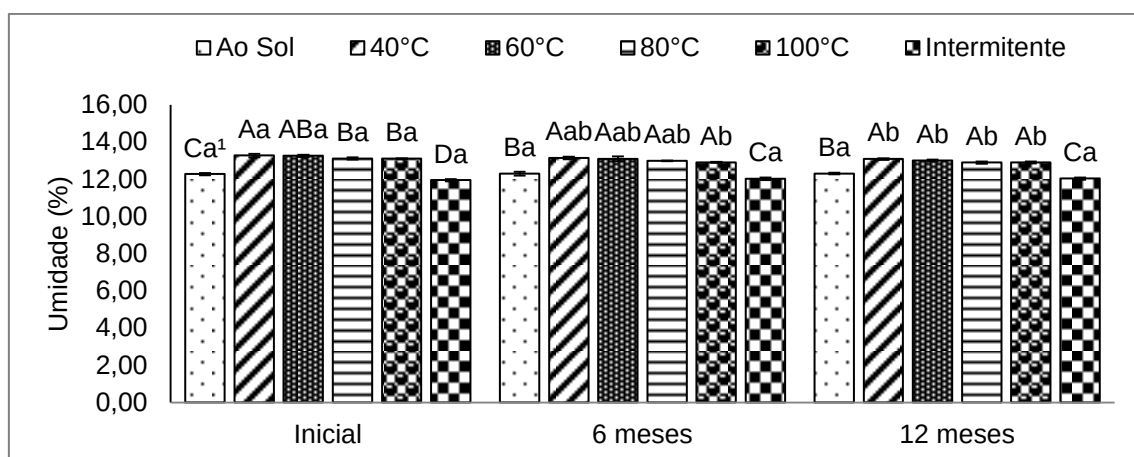


Figura 21 – Umidade (bu) de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos para a composição química dos grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens são apresentados na tabela 19.

Tabela 19 – Composição Química de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

Secagens	Proteína Bruta (%)		Lipídios (%)		Cinzas (%)	
	Inicial	12 meses	Inicial	12 meses	Inicial	12 meses
Ao Sol	10,08 Aa ¹	9,96 Aa	4,32 Aa	4,28 Aa	1,44 Aa	1,51 Aa
40° C	10,09 Aa	10,07 Aa	4,26 Aa	4,24 Aa	1,47 Aa	1,51 Aa
60° C	10,06 Aa	9,77 Aa	4,24 Aa	4,36 Aa	1,47 Aa	1,50 Aa
80° C	10,05 Aa	9,98 Aa	4,12 Aa	4,20 Aa	1,46 Aa	1,55 Aa
100° C	10,24 Aa	9,96 Aa	4,25 Aa	4,14 Aa	1,46 Aa	1,56 Aa
Intermitente	10,03 Aa	9,69 Aa	4,21 Aa	4,33 Aa	1,44 Aa	1,53 Aa

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados encontrados neste estudo para proteína bruta são similares aos encontrados por Ziegler et. al. (2017), que relatou conteúdo de proteína bruta no arroz de pericarpo vermelho de 9,44 %. Não houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para proteína bruta entre os tratamentos ao longo do armazenamento.

O teor de lipídios obtidos neste estudo são ligeiramente superiores aos encontrados por Paiva et al. (2014) que encontrou concentrações de lipídios em arroz de pericarpo vermelho de 3,1%. Durante o armazenamento não foram observadas alterações significativas ($p \geq 0,05$) no conteúdo de lipídios, independente da secagem e do tempo de armazenamento.

O conteúdo de cinzas encontrados neste estudo estão de acordo com o relatado por Alves et. al. (2016) que relatou concentrações de cinzas 1,50% para arroz de pericarpo vermelho. Não foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para o este parâmetro entre os diferentes tratamentos e ao longo do armazenamento.

Resultados semelhantes, sem alterações na composição centesimal, foram observados após a secagem com temperaturas do ar de entrada de 40°C a 120°C em grãos de milho, por Paraginski (2014).

Na figura 22 são apresentados os resultados obtidos para o percentual de germinação de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.

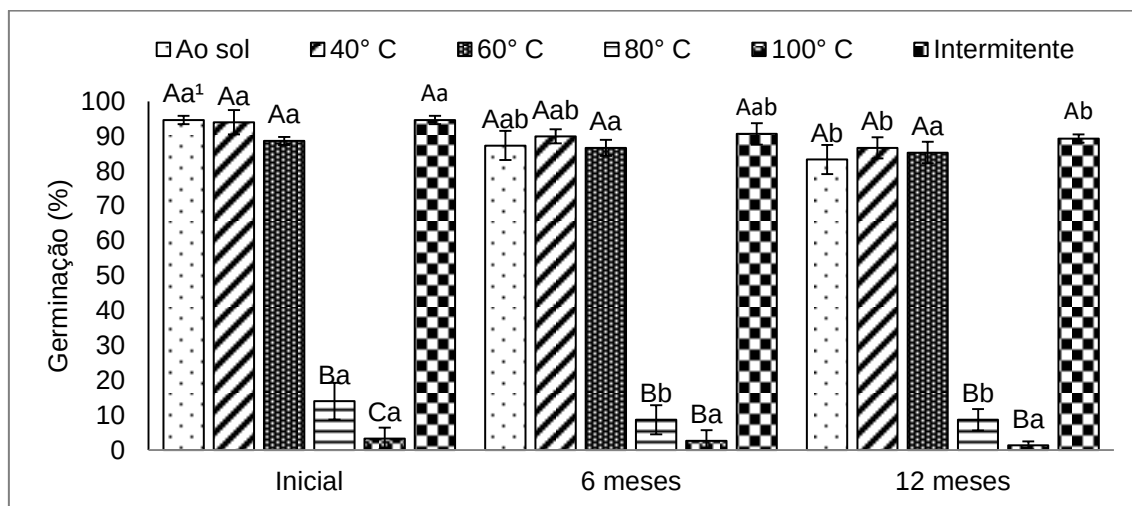


Figura 22 – Percentual de germinação de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os grãos que foram secos ao sol e em temperaturas do ar de entrada 40°C, 60°C e, em secador intermitente apresentaram percentual de germinação superior aos secados com temperatura do ar de entrada de 80°C e 100°C.

A redução no desempenho germinativo do material seco com temperaturas do ar de entrada de 80°C e 100°C está associada à redução da qualidade fisiológica dos grãos ocasionados pela alta temperatura de secagem. Menezes et al. (2012), relata que os aumentos nas temperaturas de secagem resultam em aumentos na percentagens de fissuras, que, associado a outros efeitos proporcionados pela secagem, afetam, negativamente, o percentual de germinação.

Paraginski (2014) não observou reduções no poder germinativo de sementes de milho secadas com temperaturas do ar de 40°C e 60°C, porém não ocorreu germinação nas sementes de milho que foram secas com temperaturas do ar de entrada de 80°C, 100°C e 120°C.

Segundo Wang et al. (2017), aumentos na temperatura de secagem aceleram a remoção da água do interior cariopses, porém o faz de forma

agressiva, ocasionando graves danos, capazes de reduzir o potencial fisiológico da semente de arroz.

Na tabela 20 são apresentados os resultados obtidos para o Valor L* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.

Tabela 20 – Valor L* de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	47,61 ± 5,66 Aa ¹	40,79 ± 2,68 Ab	40,43 ± 3,33 Ab
40° C	47,60 ± 3,66 Aa	42,95 ± 2,08 Ab	42,92 ± 3,28 Ab
60° C	47,71 ± 2,63 Aa	41,62 ± 3,28 Ab	43,16 ± 2,73 Ab
80° C	46,40 ± 3,76 Aa	41,28 ± 3,26 Ab	41,43 ± 3,65 Ab
100° C	46,21 ± 3,84 Aa	41,32 ± 3,43 Ab	41,84 ± 2,55 Ab
Intermitente	46,93 ± 3,11 Aa	41,25 ± 2,57 Ab	41,87 ± 2,38 Ab

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*L: Preto (0), Branco (100);

O Valor L*, expressa a luminosidade da amostra, que varia de 0 (preto) a 100 (branco). Inicialmente os grãos arroz com pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens apresentaram Valor L* de 46,21 a 47,71, resultado superior ($p \leq 0,05$) ao encontrado nos grãos que ficaram armazenados por 6 e 12 meses, na qual os resultados obtidos foram, respectivamente, de 40,79 a 42,95 e 40,43 a 42,92.

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) durante o período de estudo.

É improvável que um novo pigmento seja produzido pelos grãos de arroz de pericarpo vermelho durante o período de armazenamento, sendo que o escurecimento deve estar associado com a diminuição de compostos fenólicos totais por oxidação (Figura 29).

Marles et al. (2008) atribui o escurecimento do tegumento de feijão tipo pinto, também conhecido como feijão cavalo, a oxidações enzimáticas de compostos fenólicos, transformando-os em pigmentos escuros, como quinonas.

Da mesma forma, Hayashi et al. (2015) percebeu mudanças na tonalidade de arroz de pericarpo vermelho durante o armazenamento para um tom avermelhado mais escuro.

Os valores obtidos para o Valor a* estão apresentados na tabela 21.

Tabela 21 – Valor a* de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	10,74 ± 1,03 BCa ¹	11,07 ± 0,91 BCa	11,19 ± 1,03 ABa
40° C	10,50 ± 1,22 Ca	10,72 ± 1,15 Ca	10,78 ± 1,53 Ba
60° C	11,28 ± 1,27 BCa	11,42 ± 0,96 ABCa	11,48 ± 0,94 ABa
80° C	11,47 ± 1,16 ABa	11,55 ± 1,17 ABa	11,46 ± 1,12 ABa
100° C	12,17 ± 0,96 Aa	12,05 ± 0,90 Aa	11,89 ± 0,91 Aa
Intermitente	10,93 ± 0,94 BCa	11,25 ± 1,03 BCa	11,34 ± 1,12 ABa

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Valor a: Verde (-), Vermelho (+).

O Valor a*, expressa a coloração da amostra que varia de valores negativos para tons esverdeados e, positivos para tons avermelhados. Inicialmente os grãos arroz com pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens apresentaram Valor a* de 10,50 a 12,17 e ao final do período de armazenamento (12 meses), os valores ficaram entre 10,78 e 11,89, não ocorrendo mudanças significativas ($p \leq 0,05$) em função do período de armazenamento.

Constata-se um aumento no valor a* com o aumento da temperatura de secagem. Os grãos que foram secos com temperatura do ar de 40°C apresentaram os menores valores para o valor a*, enquanto os grãos que foram secos com temperatura do ar de secagem de 100°C obtiveram os maiores valores de a*.

Hayashi et al. (2015) estudando a mudança de cor de arroz pericarpo vermelho ao longo de 5 anos, percebeu mudanças na tonalidade logo nos primeiros meses de armazenamento de laranja claro para vermelho escuro e atribuiu essas alterações à diminuição de fenóis solúveis em extrato aquoso e a degradação oxidativa de proantocianidinas.

Na tabela 22 são apresentados os valores obtidos para o Valor b* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.

Tabela 22 – Valor b* de grãos de arroz de pericarpo vermelho, armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	24,25 ± 1,39 ABa ¹	23,23 ± 1,19 Bb	23,84 ± 1,39 Cab
40° C	25,05 ± 1,47 Ab	25,32 ± 1,44 Ab	26,38 ± 1,47 Aa
60° C	24,90 ± 1,44 Ab	25,03 ± 1,40 Ab	26,07 ± 1,12 Aa
80° C	24,61 ± 1,42 Ab	25,04 ± 1,30 Ab	26,16 ± 1,42 Aa
100° C	24,43 ± 1,53 ABb	24,68 ± 1,27 Ab	26,44 ± 1,53 Aa
Intermitente	23,39 ± 1,57 Bb	22,84 ± 1,01 Bb	24,06 ± 1,57 Ba

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

*Valor b: Azul (-), Amarelo (+);

Incrementos no valor b* ao longo do período de armazenamento estão associados aos fenômenos que provocaram mudanças no valor L* e a*. Chen et al. (2015), estudando arroz japonico tratados com irradiação e armazenados por 18 meses, também verificou aumentos significativos (p ≤ 0,05) do valor b* e reduções no valor L*.

A reação de maillard também pode estar associada com as mudanças de coloração observadas neste estudo. Interações entre açúcares redutores e alguns aminoácidos desencadeiam uma série de reações que culminam com a formação de melanoidinas, composto de coloração escura (CHEN et al., 2015).

Os resultados obtidos para solubilidade proteica* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses estão apresentados na figura 23.

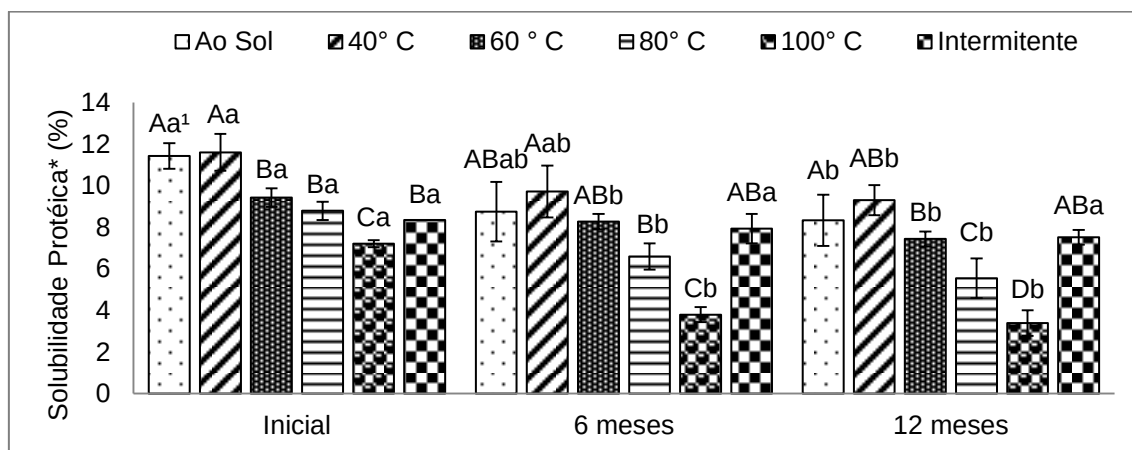


Figura 23 – Proteína solúvel* de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo,. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

*Solubilidade da proteína em água;

Logo após a secagem, no início do armazenamento, os grãos apresentaram valores para proteína solúvel entre 7,20% a 11,59%, e ao final do armazenamento os valores situaram-se entre 3,39 % a 9,30 %, observando-se reduções significativas ($p \leq 0,05$) na solubilidade proteica em função do tratamento aplicado e do período de armazenamento.

Cerca de 80% das proteínas presentes nos grãos de arroz são gluteninas, proteínas solúveis em soluções ácidas e básicas (MARTIN et al., 2002). Porém, um estudo da solubilidade das albuminas, que são solúveis em água, é importante para avaliar a qualidade e as interações que ocorrem com essas proteínas durante o armazenamento dos grãos (ZIEGLER et al., 2017).

Verifica-se a partir dos resultados obtidos, que o aumento da temperatura de secagem contribuiu significativamente com a diminuição da solubilidade proteica, sendo as reduções mais expressivas observadas no tratamento com o ar de secagem a 100°C, que foram respectivamente de 37,87%, 60,97% e 63,55%, no início, seis meses e 12 meses de armazenamento.

Paraginski (2014), da mesma forma constatou reduções significativas ($p \leq 0,05$) na solubilidade das proteínas em água com o aumento da temperatura de secagem em seu estudo com grãos de milho.

Ao longo do armazenamento as proteínas também diminuíram a solubilidade em água contatando-se reduções de 19,76% e 52,91%, respectivamente para os tratamentos com temperatura do ar de secagem de 40°C e 100°C entre o início e o final do armazenamento (12 meses).

Ziegler et al. (2017), estudando os efeitos do tempo e da temperatura de armazenamento de arroz sobre a solubilidade proteica em água, percebeu reduções de 34,46% no arroz de pericarpo vermelho ao final do armazenamento de 6 meses a 24°C.

A redução da solubilidade proteica em água, com aumento da temperatura de secagem e ao longo do armazenamento pode estar associado a desnaturação decorrente do tratamento térmico aplicado, bem como da interação das proteínas com outros componentes dos grãos, como amido e

proantocianidinas, fortalecimento das ligações dissulfídicas e participação de alguns aminoácidos nas reações de Maillard (MARTIN et al., 2002; NASAR-ABBAS et. al 2009; ZIEGLER et. al. 2017; ZIEGLER, et al., 2018).

Os resultados obtidos para o pH dos grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses são apresentados na figura 24.

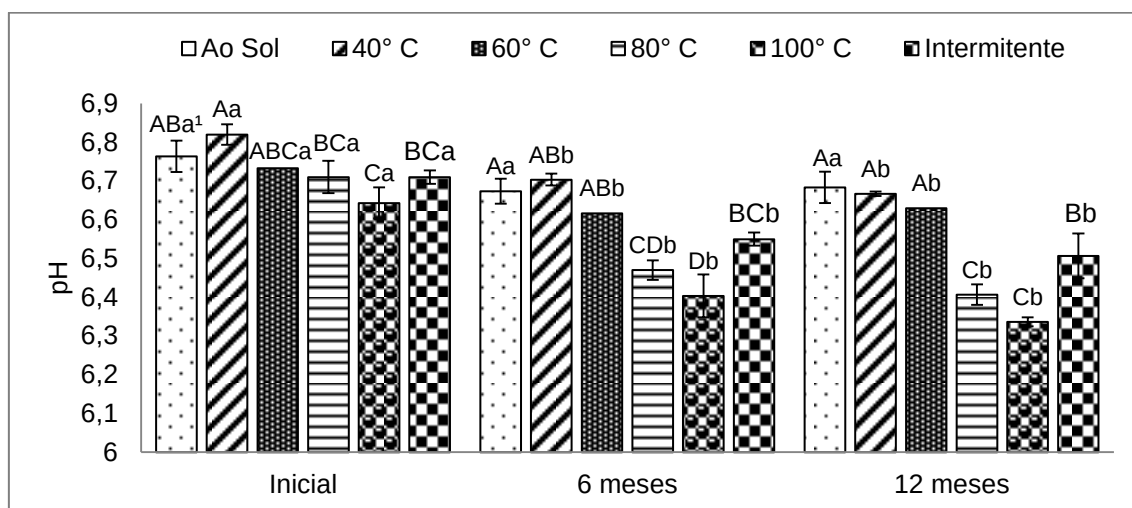


Figura 24 – pH de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo,. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados para o pH apresentados na figura 24, variaram de 6,64 a 6,82, 6,40 a 6,70 e 6,34 a 6,68, respectivamente, no início, aos seis meses e aos 12 meses de armazenamento

Os tratamentos submetidos a temperaturas do ar de secagens 80°C e 100°C e intermitente obtiveram valor de pH mais baixo ($p \leq 0,05$) no início do armazenamento se confrontados com os resultados obtidos para o tratamento com ar de secagem a 40°C. Aos seis meses de armazenamento os tratamentos com temperatura de secagem de 80°C e 100°C apresentaram os menores valores de pH se comparados aos resultados encontrados para os tratamentos com secagem ao sol, e em temperaturas de secagem de 40°C e 60°C. E, ao final do armazenamento o tratamentos com temperaturas mais

altas (80°C e 100°C) obtiveram valores de pH menores ($p \leq 0,05$) que os demais tratamentos.

A redução nos valores de pH principalmente nos tratamentos com temperaturas do ar de secagem de 80°C e 100°C está associado com efeito negativo proporcionado pelas altas temperaturas de secagens à organização celular. As reduções observadas no poder germinativo (Figura 22) nestes mesmos tratamentos indicam desordem celular, já que segundo Paraginski et al. (2014) o aumento de íons de hidrogênio na solução está associado a desestruturação celular.

Os resultados obtidos para a condutividade elétrica são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Condutividade elétrica* de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	19,37 ± 0,61 Cc ¹	23,37 ± 0,23 Eb	27,33 ± 0,29 Da
40° C	20,73 ± 0,12 Cc	25,60 ± 0,36 Db	27,26 ± 0,25 Da
60° C	20,01 ± 0,52 Cb	28,93 ± 0,11 Ca	29,93 ± 0,90 Ca
80° C	25,73 ± 1,03 Bc	30,67 ± 0,29 Bb	33,33 ± 0,29 Ba
100° C	28,66 ± 0,06 Ac	32,67 ± 0,29 Ab	35,00 ± 0,50 Aa
Intermitente	15,30 ± 0,17 Dc	23,17 ± 0,21 Eb	27,17 ± 0,21 Da

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna,. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

* $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$

A condutividade elétrica no início do armazenamento encontraram-se entre 15,30 a 28,66. Aos seis meses e aos 12 meses de armazenamento a amplitude de faixas encontradas para a condutividades elétricas dos diferentes tratamentos foram de 23,17 a 32,67 e 27,17 a 35,00, $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ respectivamente.

A temperatura utilizada na secagem e o tempo de armazenamento desempenharam influência significativa ($p \leq 0,05$) nos resultados obtidos. A utilização de temperaturas de secagens mais altas, bem como o prolongamento do período de armazenamento, provocaram aumentos na condutividade elétrica.

A condutividade elétrica indica indiretamente em que estado encontra-se a estrutura física das cariopses e das estruturas celulares, principalmente das membranas.

Aumentos na temperatura de secagens proporcionaram menores valores de germinação, pH e rendimento de inteiros (Figuras 22, 24 e 26, e Tabela 24), portanto o incremento observado na condutividade elétrica nos tratamentos com maiores temperaturas de secagens estão diretamente associados aos danos térmicos provocados a nível celular e na cariopse.

Wang et al. (2017), avaliou a condutividade elétrica de sementes de arroz submetidas a temperaturas de secagens de 30°C, 45°C, 60°C, 75°C e 90°C e constatou que a condutividade elétrica aumentou significativamente nos tratamentos com temperatura de secagem acima de 60°C se comparado com o de 30 °C e 45°C.

Os aumentos obtidos na condutividade elétrica durante o período de armazenamento, estão de acordo com Ziegler et al. (2017) que também constatou aumentos significativos ($p \leq 0,05$) de 18,56 para 31,99 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ em grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenado por 180 dias a 24°C.

Os resultados obtidos para a massa de mil grãos de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses são apresentados na figura 25.

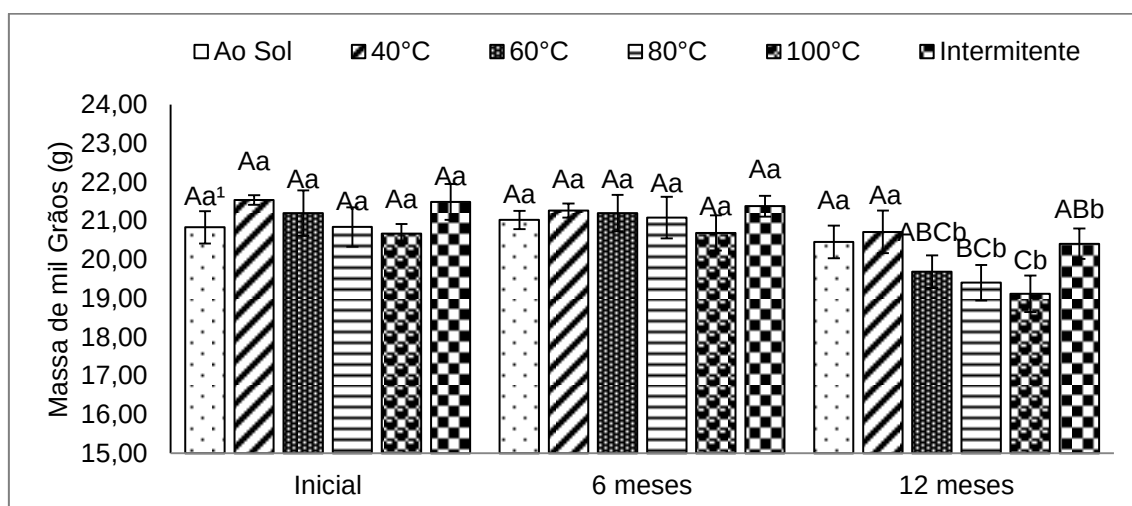


Figura 25 – Massa de mil grãos de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos revelam que inicialmente, logo após a secagem, a massa de mil grãos situava-se na faixa de 20,67 a 21,53 g, aos seis meses de armazenamento entre 20,69 e 21,38 g e aos 12 meses de 19,12 a 20,71 g.

O tratamento térmico aplicado na secagem e o tempo de armazenamento repercutiram nos resultados para a massa de mil grãos. No início do armazenamento e aos seis meses não foram observadas diferenças significativas nos resultados obtidos para os diferentes tratamentos ($p \leq 0,05$). Já aos 12 meses de armazenamento os menores resultados estão associados às maiores temperaturas de secagens, revelando um dano latente provocado pela mesma.

Bertinetti (2017) estudando os efeitos de diferentes temperaturas e fontes de energia para a secagem de grãos de arroz também não verificou diferenças significativas ($p \leq 0,05$) na massa de mil grãos após secagem em temperaturas de secagem de 40°C, 60°C e 80°C nas diferentes fontes.

O peso de mil grãos representa o total de energia contida nos grãos e sua redução representa perda física, a qual está diretamente associada a perdas metabólicas e de valor nutritivo (ELIAS, 2002).

Segundo Wang et al. (2017), as membranas celulares que são um dos principais mecanismos para a manutenção da qualidade fisiológica das sementes e essas são afetadas durante o processo de secagem com altas temperaturas, prejudicando diretamente o pleno funcionamento do metabolismo celular.

Sendo assim, os resultados encontrados para a massa de mil grãos ao final dos 12 meses são explicados pelo metabolismo mais acelerado durante o armazenamento dos grãos submetidos a temperaturas de 80°C e 100°C, ocasionados pelos danos latentes, provocados ao sistema histológico e na estrutura da cariopse dos grãos pelas altas temperaturas empregadas no processo secagem.

Na tabela 24 são apresentadas as percentagens de grãos inteiros após o descascamento de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.

Tabela 24 – Inteiros* (%) após descascamento em grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	70,20 ± 0,27 Bb ¹	74,86 ± 0,44 Aa	75,34 ± 0,51 Aa
40° C	71,77 ± 0,38 Ac	74,19 ± 0,69 Ab	75,25 ± 0,19 Aa
60° C	67,86 ± 0,52 Cc	71,97 ± 0,11 Ba	70,93 ± 0,94 Bb
80° C	66,21 ± 0,21 Dc	69,86 ± 0,14 Ca	68,36 ± 0,43 Cb
100° C	60,20 ± 0,30 Ec	67,54 ± 0,07 Da	64,34 ± 0,42 Db
Intermitente	71,48 ± 0,87 ABb	74,18 ± 0,45 Aa	74,97 ± 0,46 Aa

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna, As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

*Inteiros após a remoção da casca, sem polimento.

Grãos de arroz de pericarpo pigmentado são geralmente comercializados em sua forma integral, após o processo de descascamento, seleção e tipificação.

Os resultados apresentados na tabela 24 dão um indicativo da qualidade do material antes do processo seleção. Percebe-se que o aumento na temperatura de secagem diminuiu o rendimento de grãos inteiros após o descascamento e que após um período de armazenamento o rendimento aumentou.

As maiores reduções foram proporcionadas por temperaturas de secagens iguais ou superiores a 60°C, sendo os resultados mais drásticos observados no tratamento a 100°C, que apresentou reduções de 16%, 8,96% e 14,49%, respectivamente, no início, aos seis meses e aos 12 meses de armazenamento ao serem comparados com os rendimentos encontrados no tratamento com temperatura de secagem de 40°C no mesmo período.

O rendimento de grãos inteiros 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 (CANEPELLE et al.,1992).

Segundo a Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca, são considerados grãos inteiros os grãos descascados e polidos. Sendo apresentados na figura 26 os resultados de grãos inteiros (%) após o polimento.

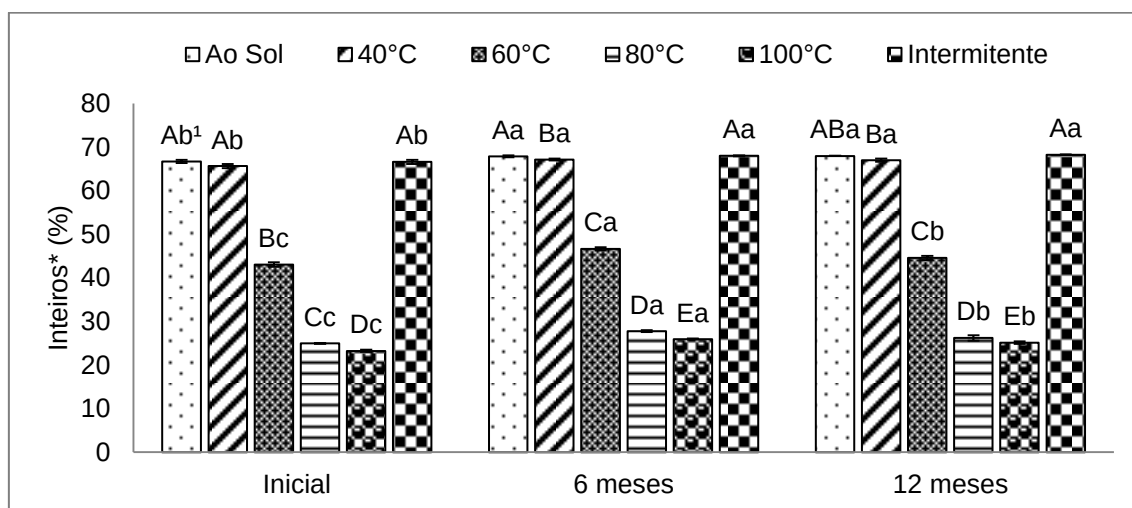


Figura 26 – Rendimento de grãos inteiros, segundo a IN N°06 de 2009 do MAPA, de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Porcentagem de grãos inteiros após o polimento, segundo a Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca.

Os resultados apresentados na figura 26 indicam que a temperatura aplicada na secagem e o período de armazenamento influenciaram significativamente ($p \leq 0,05$) nos valores obtidos.

No início do armazenamento os valores encontraram-se dentro de uma amplitude sendo balizados pelas temperaturas mais altas e mais baixas. Indicando, como já esperado, que o aumento na temperatura de secagem, embora acelere a remoção da água, causa fissuras nas cariopses dos grãos.

A maioria dos grãos quebrados, durante o descascamento e brunimento, já apresentavam fissuras antes do processo (CALDERWOOD, 1980). Segundo Brooker et al. (1992), a formação de fissuras ocorre devido ao gradiente de umidade formado no interior da cariopse, do centro para a periferia, o qual, ao

se tornar muito elevado, por ocasião da temperatura aplicada na secagem, conduz ao aparecimento de tensões que podem trincar os grãos.

Ao longo do armazenamento, verifica-se aumento rendimento de grãos inteiros e esse resultado podem ser explicados pela uniformização da textura e da umidade e consequente equilíbrio das tensões internas aumentando o rendimento de inteiros (ELIAS et al., 2015a; OLATUNDE et al., 2017).

Bertinetti (2017) estudando os efeitos de diferentes temperaturas (40°C, 60°C e 80°C) e fontes de energia para a secagem (gás, energia elétrica, casca de arroz e lenha) de grãos de arroz também constatou que rendimento de grãos inteiros foi afetado pela temperatura do ar de secagem, observando que temperaturas mais elevadas reduziram o rendimento de grãos inteiros.

Os resultados obtidos para os defeitos totais (%) de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses são apresentados na tabela 25.

Tabela 25 - Defeitos Totais* (%) de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	0,86 ± 0,01 Ab ¹	0,86 ± 0,00 Ab	1,02 ± 0,03 ABCa
40° C	0,83 ± 0,06 BCb	0,87 ± 0,00 Ab	0,95 ± 0,04 BCa
60° C	0,84 ± 0,00 Bb	0,91 ± 0,03 Aab	0,98 ± 0,03 ABCa
80° C	0,83 ± 0,00 Cb	0,93 ± 0,07 Ab	1,09 ± 0,04 Aa
100° C	0,86 ± 0,00 Ab	0,96 ± 0,06 Aab	1,08 ± 0,07 ABa
Intermitente	0,84 ± 0,01 BCa	0,83 ± 0,04 Aa	0,93 ± 0,06 Ca

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Seguindo a Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca.

Os defeitos totais são constituídos pelos defeitos metabólicos e não metabólicos. Os defeitos metabólicos evoluem no armazenamento, já os não metabólicos não sofrem variações durante o armazenamento (OLIVEIRA et al. 2012;.VANIER et al., 2017).

Houve pequenos aumentos, porém significativos ($p \leq 0,05$), nos defeitos totais (%) logo após a secagem nos grãos que foram secos ao sol e com temperatura do ar de secagem de 100°C. Esse aumento pode estar relacionado com a demora para diminuição da umidade no tratamento com

secagem ao sol e com as altas temperaturas empregadas na secagem a 100°C.

Aos seis meses de armazenamento não ocorreu diferenças significativas entre os tratamentos. Já ao final dos 12 meses de armazenamento verifica-se aumentos significativos ($p \leq 0,05$) em função do tempo de armazenamento e da temperatura utilizada na secagem, sendo que o tratamento com secagem intermitentes apresentou o menor índice de defeitos totais (0,93%) e o com temperatura de ar de secagem de 100°C o maior índice de defeitos totais (1,09%).

A incidência de defeitos totais ao final do armazenamento foi maior em secagens com temperaturas mais altas (80° e 100°C), pois as mesmas favoreceram as atividades metabólicas dos grãos (Figura 25), elevando a ocorrência de defeitos latentes.

Segundo Elias (2002) os defeitos metabólicos intensificam-se em condições umidade e calor. Barbosa (2006) descreve que a secagem pode exercer influência significativa nas percentagens de defeitos de origem metabólica, dependendo das condições a que os grãos foram expostos.

Na tabela 26 são apresentados os resultados obtidos para a tipificação, seguindo os critérios da IN 06/2009 do Mapa, para grãos de arroz de pericarpo vermelho Integral.

Tabela 26 – Tipificação* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	1	1	1
40° C	1	1	1
60° C	1	1	1
80° C	1	1	1
100° C	1	1	1
Intermitente	1	1	1

*Seguindo a Instrução Normativa N°6 de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca.

Os resultados apresentados na tabela 26 indicam que os diferentes tratamentos foram enquadrados durante todo período de armazenamento como tipo 1, seguindo os limites impostos pelo Anexo II da Instrução Normativa N°6

de 2009 do Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento para arroz natural em casca.

As regras para a tipificação do produto, segundo o MAPA, seguem uma escala de 1 a 5, sendo que o primeiro indica produto de melhor qualidade. Quando o produto não for enquadrado em nenhum dos tipos, é considerado fora de tipo.

Na tabela 27 são apresentados os resultados para o tempo de cocção de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses.

Tabela 27 - Tempo cocção* de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	36,30 ± 0,36 Aa ¹	35,83 ± 0,46 Aa	36,67 ± 0,57 Aa
40° C	34,90 ± 0,17 Ba	33,67 ± 0,34 Ba	33,83 ± 0,76 Ba
60° C	34,07 ± 0,32 Ca	33,38 ± 0,34 Bab	33,17 ± 0,82 Bb
80° C	32,00 ± 0,00 Da	31,12 ± 0,55 Ca	31,33 ± 0,58 Ca
100° C	32,30 ± 0,26 Da	30,67 ± 0,49 Cb	30,50 ± 0,50 Cb
Intermitente	32,60 ± 0,36 Da	33,03 ± 0,46 Ba	33,33 ± 0,58 Ba

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna, As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

*Resultados apresentados estão em números decimais.

Os grãos apresentaram um tempo de cocção, em minutos, para os diferentes tratamentos na amplitude de 32,00 a 36,30, 30,67 a 35,83 e 30,50 a 36,67, respectivamente no início, aos seis meses e aos 12 meses de armazenamento.

A temperatura utilizada na secagem alterou significativamente os resultados, sendo observados os menores tempos de cocção nos tratamentos com temperaturas mais altas. Esse comportamento está associado com maior índice de fissuras nas cariopses (Tabela 24 e Figura 26) e consequente hidratação mais rápida (Figura 27).

A desorganização da estrutura celular oferece rápida difusão de água durante a cocção, diminuindo o tempo para cozinhar (GULLARTE, 2012; LISLE et al. 2000). Para Sinelli et al. (2006) a presença de fissuras em arroz de cocção rápida contribuíram para a redução do tempo de cocção.

Os resultados obtidos para o tempo de cocção neste estudo estão de acordo com os encontrados por Ziegler et al. (2018) que obteve tempos de 30,3 a 34,3 minutos na cocção de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 6 meses em temperaturas de 16°C, 24°C, 32°C e 40°C.

Os resultados obtidos para a velocidade de hidratação são apresentados na figura 27.

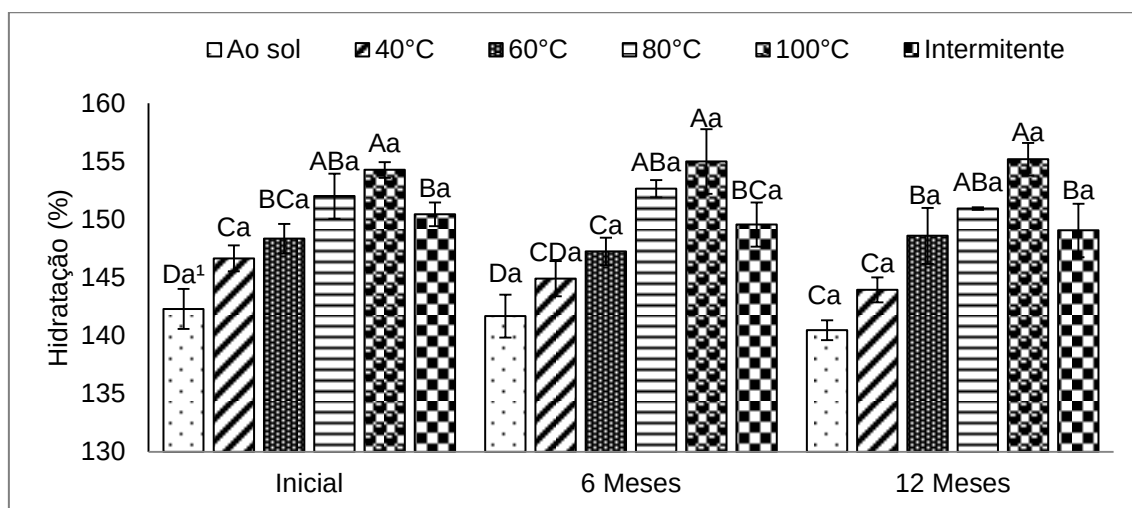


Figura 27 - Velocidade de hidratação de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo,, As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados apontam que ocorreram mudanças significativas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos, porém, não ocorreram mudanças em função do tempo de armazenamento.

Os grãos que foram secos em temperaturas mais altas hidrataram mais rápido que os grãos secos em temperaturas mais baixas. No tratamento com ar de secagem a 100°C a hidratação em 10 minutos, correspondeu a 154,26%, 154,97% e 155,18%, respectivamente, no início, aos 6 meses e aos 12 meses de armazenamento. Já nos tratamentos com secagem ao sol e com temperatura de secagem de 40°C, as hidratações em 10 minutos, corresponderam a 142,30%, 141,68% e 140,46%, e, 146,64%, 144,90% e 143,94%, para os respectivos tratamentos, no início, aos seis meses e aos 12 meses de armazenamento.

Esses resultados são atribuídos ao maior índice de fissuras (Tabela 24 e Figura 26) no pericarpo, camada de aleurona e endosperma dos grãos permitindo maior ação capilar e uma absorção mais rápida da água (CAVARIANI et al., 2009; BOTELHO et al., 2010).

Os resultados obtidos para a dureza dos grãos após a cocção são apresentados na tabela 28.

Segundo Bello et al. (2006), a dureza é multidimensional, mas a dureza é crítica e regula a palatabilidade dos grãos de arroz cozidos.

Tabela 28 – Dureza* após a cocção de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	68,00 ± 10,60 Bb ¹	63,61 ± 07,77 Bb	75,56 ± 08,24 CBa
40° C	64,89 ± 06,03 Bb	67,26 ± 05,78 Bab	73,14 ± 11,96 Ca
60° C	66,79 ± 09,05 Bb	65,47 ± 06,29 Bb	76,70 ± 08,82 CBa
80° C	67,87 ± 07,79 Bb	69,50 ± 07,95 ABb	83,08 ± 10,18 ABa
100° C	79,61 ± 09,38 Ab	76,13 ± 12,74 Ab	90,69 ± 11,29 Aa
Intermitente	72,33 ± 09,48 Bb	69,95 ± 05,58 ABb	81,49 ± 10,21 Ba

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Expressa em newtons.

No início do armazenamento, logo após a secagem, a dureza logo após a cocção encontrou-se na faixa de 64,89 a 79,61 N. Ao final do período de armazenamento, aos 12 meses, a dureza após a cocção encontrava-se dentro da amplitude de 73,14 a 90,69 N. Sendo verificadas mudanças significativas ($p \leq 0,05$) em função da secagem empregada e do tempo de armazenamento.

Na secagem com a temperatura do ar a 100°C foram encontrados maiores valores de dureza após a cocção. Esse resultado pode estar relacionado com a formação de crostas nas camadas periféricas dos grãos e, ou, lignificação das células mortas (Figura 22) em função das altas temperaturas empregadas na secagem, diminuindo a flexibilidade e elasticidade das estruturas mais externas dos grãos (Figura 28).

Segundo Franco et al. (2006), um dos principais danos causados aos grãos de arroz durante a secagem com ar aquecido são as formações de crostas periféricas que podem dificultar as operações de preparo para consumo. A lignina reforça e impermeabiliza as células, e as diminuições

observadas nos teores de proantocianidinas e compostos fenólicos (Tabela 32 e Figura 29) podem estar associados com o fenômeno de lignificação celular (BOUDET, et al.; 1995; NASAR-ABBAS et al., 2008a).

O aumento observado na dureza ao final do período de armazenamento pode estar relacionado com interações entre os grânulos de amido com outros constituintes dos grãos, como as proteínas e os compostos fenólicos (Figuras 23 e 29) afetando a hidratação dos grânulos. Segundo Zhou et al. (2007), o aumento da dureza durante o armazenamento pode ocorrer como resultado de uma diminuição da capacidade de hidratação durante o armazenamento.

Os resultados obtidos para a integridade dos grãos após a cocção são apresentados na tabela 29.

Tabela 29 – Grãos íntegros (%) após o processo de cocção, de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens e armazenados por 12 meses

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	81,33 ± 2,31 Aa ¹	78,00 ± 5,29 Aa	77,33 ± 3,05 Aa
40° C	80,00 ± 6,00 Aa	78,00 ± 3,46 Aa	75,33 ± 2,31 Aa
60° C	72,67 ± 2,30 Aa	71,33 ± 3,05 Aa	72,00 ± 4,00 Aa
80° C	34,67 ± 8,08 Ba	36,66 ± 3,06 Ba	40,00 ± 12,00 Ba
100° C	30,66 ± 4,16 Ba	28,67 ± 7,57 Ba	23,33 ± 5,03 Ca
Intermitente	83,33 ± 3,06 Aa	80,67 ± 1,15 Aa	79,33 ± 4,16 Aa

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na mesma coluna, As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Os resultados obtidos indicam que maior parte dos grãos que foram secos em temperaturas mais altas (80°C e 100°C) perderam integridade durante a cocção.

Esse resultado está correlacionado com maior velocidade de absorção de água e a diminuição da flexibilidade das camadas periféricas dos grãos fazendo com que ocorra o rompimento do pericarpo e consequente exposição do endosperma.

A figura 28 apresenta a imagem dos grãos armazenados por 12 meses, após a cocção. Sendo facilmente perceptível, a menor integridade dos grãos que foram submetidos a secagens em temperaturas mais altas.

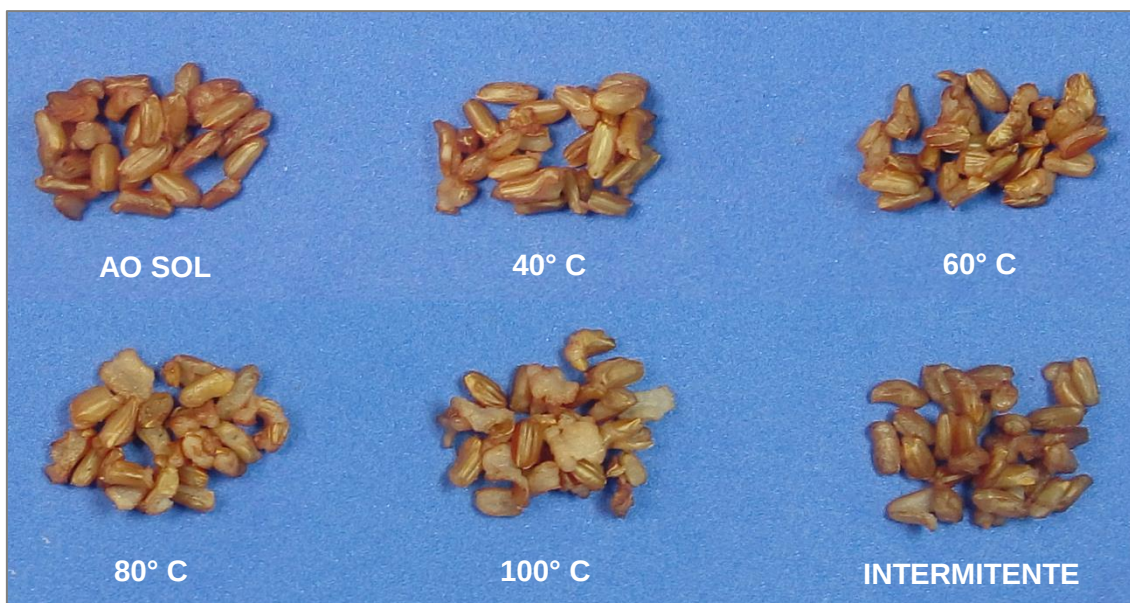


Figura 28 – Imagem dos grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens, aos 12 meses de armazenamento, após a cocção

Os resultados para o conteúdo de fenólicos solúveis totais de grãos de arroz com pericarpo vermelho estão apresentados na tabela 30.

Tabela 30 - Compostos Fenólicos solúveis* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	652,00 ± 4,91 Aa ¹	606,59 ± 1,23 ABb	605,14 ± 6,55 Ab
40° C	659,51 ± 7,11 Aa	617,83 ± 5,85 Ab	611,33 ± 0,84 Ab
60° C	653,94 ± 4,56 Aa	619,03 ± 3,32 Ab	614,04 ± 4,56 Ab
80° C	662,77 ± 9,55 Aa	608,73 ± 4,57 ABb	604,04 ± 3,74 Ab
100° C	640,08 ± 1,23 Aa	588,90 ± 2,06 Bc	599,08 ± 2,47 Ab
Intermitente	658,83 ± 5,65 Aa	604,36 ± 9,28 ABb	608,35 ± 1,21 Ab

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Equivalente mg de ácido gálico.100g⁻¹de amostra.

Logo após a secagem, no início do armazenamento, os grãos apresentaram valores de compostos fenólicos entre 640,08 a 662,77 mg de ácido gálico.100g⁻¹, e ao final do armazenamento os valores situaram-se entre 599,08 a 614,04 mg de ácido gálico.100g⁻¹, observando-se, portanto, uma redução no teor de compostos fenólicos solúveis ao longo do período de armazenamento.

A redução de compostos fenólicos ao longo do armazenamento pode ser atribuídas a reações enzimáticas, principalmente polifenoloxidase e peroxidase, ou reações oxidativas. A oxidação destes polifenóis conduz à formação de quinonas, que são rapidamente polimerizadas para pigmentos marrons (GAUILLARD & RICHARD-FORGET,1997). Porém, os resultados encontrados diferem de Ziegler et al. (2018) que não observou reduções no teor de compostos fenólicos solúveis em grãos de arroz de pericarpo vermelho armazenados por 6 meses a 24°C.

Os resultados obtidos para os fenólicos solúveis estão condizentes com Alves et.al. (2016) que encontrou 694.12 mg.100g⁻¹ de ácido gálico em arroz de pericarpo vermelho extraídos com acetona 70%.

Na tabela 31 estão apresentados os resultados obtidos para o conteúdo de fenólicos insolúveis totais de grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens.

Tabela 31 – Compostos Fenólicos insolúveis* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	280,36 ± 1,15 ABa ¹	270,87 ± 5,07 Aa	275,96 ± 0,49 Ba
40° C	284,85 ± 5,52 ABa	277,88 ± 0,67 Aa	275,51 ± 0,00 Ba
60° C	287,86 ± 6,14 Aa	271,10 ± 1,33 Aa	274,01 ± 0,50 BCa
80° C	280,96 ± 5,98 ABa	267,55 ± 1,32 Aa	278,97 ± 0,17 Aab
100° C	267,90 ± 2,47 Ba	260,45 ± 6,71 Ab	267,32 ± 0,99 Da
Intermitente	273,23 ± 1,77 ABa	278,93 ± 4,68 Aa	272,55 ± 0,81 Ca

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

*Equivalente mg de ácido gálico.100g⁻¹de amostra.

No início do armazenamento, logo após a secagem, os diferentes tratamentos apresentaram conteúdo de fenóis insolúveis entre 267,90 e 287,86 mg de ácido gálico.100g⁻¹. Ao final do período de armazenamento, 12 meses, os teores situaram-se entre 267,32 e 278,97 mg de ácido gálico.100g⁻¹, portanto não ocorreu alterações significativas (p ≤ 0,05) nos compostos fenólicos insolúveis ao fim do período de armazenamento.

Esses resultados estão de acordo com Ziegler, et al. (2018), que não observou alterações no teor de compostos fenólicos insolúveis de arroz de pericarpo vermelho armazenado por 6 meses em diferentes temperaturas.

Os grãos que foram secos com temperatura do ar de 100°C apresentaram o menor conteúdo de compostos fenólicos insolúveis no início e ao longo período de armazenamento, esses resultados são atribuídos a degradação térmica desses compostos fenólicos ou devido liberação dos compostos fenólicos ligados à parede celular após o tratamento térmico.

Paiva (2014) observou reduções nos valores de compostos fenólicos insolúveis em arroz de pericarpo preto após tratamento térmico, porém não observou alterações em arroz de pericarpo vermelho submetidos ao mesmo tratamento. Min et al. (2014) sugeriu que o tratamento térmico pode potencialmente liberar compostos fenólicos que estão unidos a parede celular.

Neste estudo a fração insolúvel correspondeu a menor parcela dos compostos fenólicos totais, estando de acordo com Min et al. (2012). Porém alguns estudos relatam a proeminência de compostos fenólicos insolúveis em arroz, como Pérez-Jiménez, et al. (2005).

Os resultados para o conteúdo fenólico total em grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens são apresentados na figura 29.

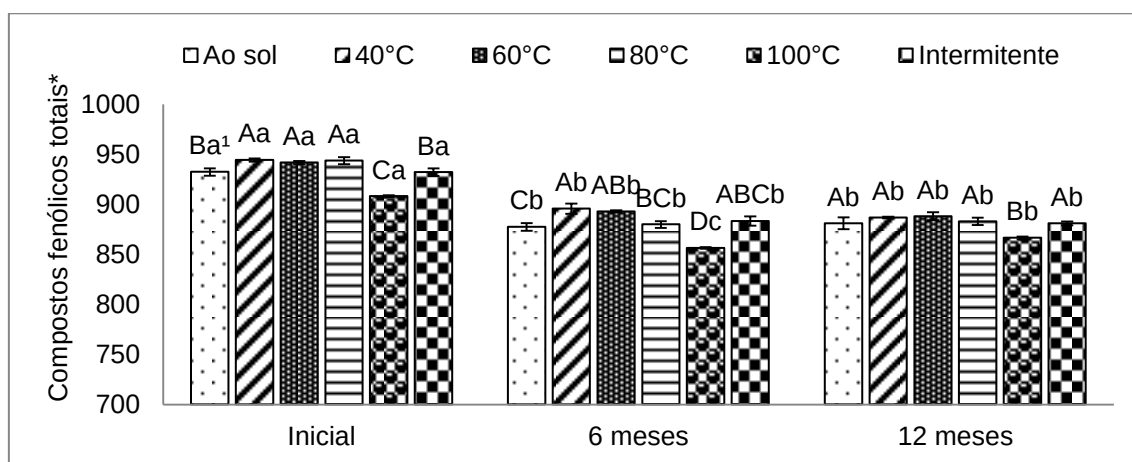


Figura 29 – Fenóis totais* em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo,, As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função do tempo de armazenamento. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Equivalente mg de ácido gálico.100g⁻¹de amostra.

O conteúdo fenólico total é o resultado da soma dos fenólicos solúveis com os insolúveis. Após a secagem, no início do armazenamento, os resultados encontraram-se entre 907,98 e 944,37mg de ácido gálico.100g⁻¹ de amostra e ao final do armazenamento entre 866,39 e 888,05 mg de ácido gálico.100g⁻¹ de amostra, sendo esta diminuição ($p \leq 0,05$) de compostos fenólicos totais observada ao longo do armazenamento atribuída a diminuição de compostos fenólicos solúveis (Tabela 30).

Os grãos que foram secos com temperatura do ar de secagem de 100°C apresentaram menores teores de compostos fenólicos totais ($p \leq 0,05$) no início e ao longo do armazenamento se comparados aos grãos secos nos outros tratamentos.

Os menores valores encontrados no tratamento com secagem a 100°C, são atribuídos a sensibilidade desses compostos ao calor, pois a exposição a altas temperaturas podem provocar alterações químicas irreversíveis nos teores de compostos fenólicos (GUINÉ, et al. 2015; LIN, et al. 1998;).

Em estudo realizado por Min et al. (2014), com diferentes variedades de arroz, foi verificado redução no conteúdo de compostos fenólicos solúveis em função do tratamento térmico aplicado, sendo essa redução atribuídas à degradação térmica e a participação destes compostos em reações oxidativas, ocorrendo diminuições mais proeminentes em arroz de pericarpo vermelho (IITA119) devido, provavelmente, à perda significativa de proantocianidinas.

Diferentes fenômenos contribuem para a diminuição dos compostos fenólicos. Além do tratamento térmico, estresse oxidativo e ação enzimática já mencionados, as interações de compostos fenólicos com outros componentes, alterações em sua estrutura química, concentração de açúcar e pH podem colaborar com diminuição de compostos fenólicos presentes presentes (ANCOS et al., 2000; JULKUNEN-TIITTO et al. 2001; MARTÍN-CABREJAS et al., 2009; MEJIA-MEZA et al., 2008, QU et al., 2010; YOUSIF, et al. 2000).

Na tabela 32 são apresentados os resultados obtidos para proantocianidinas em grãos de arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes secagens.

Tabela 32 – Proantocianidinas* totais em grãos arroz de pericarpo vermelho armazenados por 12 meses, submetidos a diferentes secagens

Secagens	Tempo de armazenamento		
	Inicial	6 meses	12 meses
Ao Sol	283,41 ± 15,1 BCa ¹	280,86 ± 18,46 Ba	277,97 ± 14,5 ABa
40° C	312,02 ± 10,83 Aa	313,83 ± 12,10 Aa	292,14 ± 14,46 Ab
60° C	299,90 ± 17,1 ABa	298,39 ± 18,1 ABa	294,55 ± 14,02 Aa
80° C	279,4 ± 14,6 BCa	283,94 ± 14,09 Ba	283,27 ± 12,1 ABa
100° C	268,92 ± 14,3 Ca	275,31 ± 15,60 Ba	265,11 ± 13,49 Ba
Intermitente	281,35 ± 14,9 BCa	282,00 ± 14,32 Ba	285,80 ± 11,3 ABa

¹As letras maiúsculas diferem os tratamentos no mesmo tempo, na coluna. As letras minúsculas diferem o mesmo tratamento em função tempo de armazenamento, na mesma linha. Ambas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*Equivalente mg de catequina.100g⁻¹de amostra.

Inicialmente os diferentes tratamentos apresentaram conteúdo proantocianidinas entre 312,02 e 268,92mg de catequina.100g⁻¹. Ao final do período de armazenamento, aos 12 meses, os teores encontraram-se entre 294,55 e 265,11 mg de catequina.100g⁻¹, ocorrendo alterações significativas ($p \leq 0,05$) nas proantocianidinas em função do tratamento aplicado, verificando-se maiores reduções no materiais secos nas temperatura mais alta (100°C).

Alves et al. (2016) e Min et al. (2012) encontraram concentrações próximas a 200 mg catequina.100g⁻¹. A maior concentração nos resultados obtidos no presente estudo em relação aos estudos referenciados são atribuídas as diferenças entre variedades e/ou condições edafo-climáticas durante o cultivo, bem como em função do método analítico utilizado. Chen et al. (2016) caracterizou 32 variedades de arroz de pericarpo vermelho e encontrou teores de proantianidinas em amostra moída e extraída com acetona/água/ácido acético (70/29,5/0,5(v/v/v)), purificado em uma coluna de LH-20, e analisada em HPLC entre 8,3 e 30,7 mg.g de amostra.

Os grãos que foram secos com temperatura do ar de secagem de 100°C apresentaram menores teores de proantocianidinas totais no início e ao longo do armazenamento. A degradação pela temperatura utilizada no tratamento foi um dos principais responsáveis por essa redução, sendo este resultado condizente com os estudos realizados por Min et al (2014) que constatou

redução nas concentrações de proantocianidinas em arroz de pericarpo vermelho submetidos a diferentes tratamentos térmicos.

Castilhos et al. (2017) similarmente constatou reduções no teor de proantocianidinas em vinhos tratados termicamente.

Além da degradação térmica a interação com outros componentes do grão podem estar associados com as reduções no teor de proantocianidinas. Awikia et al. (2003) e Dlamini et al. (2007) constaram reduções no teor de proantocianidinas em sorgo submetidos a tratamentos térmicos pode estar associadas com a interação dos polímeros de proantocianidinas de maior tamanho com outros componentes tornando-as insolúveis. Porém, como ambos constataram aumentos nos polímeros de menor tamanho a degradação térmica é o provável agente responsável pela redução identificada.

4.4 Conclusão

4.4.1. Temperaturas acima de 80°C na secagem provocam distúrbios fisiológicos nos grãos, tornando-os incapazes de germinar e ocasionando aumentos na condutividade elétrica.

4.4.2. A temperatura de secagem e tempo de armazenamento alteram o perfil colorimétrico dos grãos devido a oxidação de compostos fenólicos.

4.4.3. A solubilidade proteica e o pH diminuem com o aumento da temperatura de secagem e do período de armazenamento.

4.4.4. O emprego de alta temperatura na secagem diminui o rendimento de grãos inteiros, em função das fissuras provocadas na cariopse.

4.4.5. O aumento na temperatura de secagem faz com que os grãos hidratem mais rapidamente, diminuindo o tempo de cocção, porém após a cocção a dureza aumenta e a integridade dos grãos diminui.

4.4.6. Aumentos na temperatura de secagem e no tempo de armazenamento diminuem a disponibilidade de compostos bioativos.

4.4.7. Secagens com temperaturas do ar de entrada iguais ou inferiores a 60°C melhor preservam as qualidades tecnológicas e os compostos fenólicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. American Association of Cereal Chemists, Inc, St. Paul, MN, USA, 1995.

ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A; SERNA-SALDIVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**. v.152, p.46-55, 2014.

ADOM, K. K.; LIU, R. H. Antioxidant activity of grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.50, n.21, p.6182-6187, 2002.

AGUILERA, J. M. Why food microstructure? **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 3–11, 2005.

ALVES, G. H.; FERREIRA, C. D.; VIVIAN, P.G.; MONKS, J. L. F.; ELIAS, M. C.; VANIER, N. L.; OLIVEIRA, M. The revisited levels of free and bound phenolics in rice: Effects of the extraction procedure. **Food Chemistry**. v.208, p. 116-123, 2016.

ALVES, G.H.; PARAGINSKI, R. T.; LAMAS, N. S.; HOFFMANN, J. F.; VANIER, N. L.; OLIVEIRA, M.; Effects of organic and conventional cropping systems on technological properties and phenolic compounds of freshly harvested and stored rice. **Journal of Food Science**, v.82, p. 2276 – 2285, 2017.

AMAROWICZ, R.; TROSZYNSKA, A.; BARYLKO-PIKIELNA, N.; SHAHIDI, F.; Polyphenolics extracts from legume seeds: correlations between total antioxidante activity, total phenolics content, tannins content and astringency. **Journal of Food Lipids**, v. 11, p. 278–286, 2004.

AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; FILHO, A. B.; **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 4º Edição, v.1. São Paulo: Editora Agrônoma Ceres Ltda, 2011, 704 p.

ANCOS, B.; IBAÑEZ, E.; REGLERO, G.; CANO, M. P.; Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compounds of raspberry fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 873-879, 2000.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. Moisture measurement unground grain and seeds. In: **Standards**, 2000. St. Joseph: ASAE, 2000, p. 563.

ATTANASIO, G., CINQUANTA, L., & MATTEO, M. D. Effect of drying temperature on physico-chemical properties of dried and rehydrate chestnuts (*Castanea sativa*). **Food Chemistry**, v. 88, p. 583–590, 2004.

ÁVILA, I. M. L. B.; SILVA, C. L. M. Modelling kinetics of thermal degradation of color in peach puree. **Journal of Food Engineering**, v. 39, p. 161–166, 1999.

AWIKA, J. M.; DYKES, L.; GU, L.; ROONEY, L. W.; PRIOR, R. L.; Processing of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products alters procyanidin oligomer and polymer distribution and content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p 5516-5521, 2003.

AZIS, N.; PAIVA, N. L.; MAY, G. D.; DIXON, R. A.; Transcriptome analysis of alfalfa glandular trichomes. **Planta**, v. 221, p. 28-38, 2005.

BARATA, T. S. **Caracterização do consumo de arroz no Brasil**: um estudo na Região Metropolitana de Porto Alegre. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios)– Centro de Educação e Estudos em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/agronomia/joomla/index.php/ppgagro-teses-dissertacoes>>

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, M. Z.; ELIAS, M.C. Effect of Stationary and Intermittent Drying on Latent Damages, **Quality in Grain Drying**, p.1003-1011, 2006.

BARBOSA, F.F.; ELIAS, M.C.; FAGUNDES, C. A. A.; OLIVEIRA, M.; PEREIRA, F. M.; DIONELLO, R. G.; Manejo térmico do ar na secagem estacionária e seus efeitos no desempenho industrial de arroz branco e parboilizado. **Boletim**

Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v.27, n.2, p. 271-280, 2009.

BECKMAN, C. H. Phenolic-storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants? **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 57, p. 101-110, 2000.

BELLO, M., BAEZA, R., & TOLABA, M. P. Quality characteristic of milled and cooked rice affect by hydrothermal treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 124–133, 2006.

BERTINETTI, I, A.; **Efeitos da secagem e do beneficiamento industrial sobre parâmetros tecnológicos de avaliação de qualidade e teores de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em grãos de arroz**. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2017. Disponível em:
<<http://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/site/content/dissertacao/>>

BOTELHO, F. M.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINS, M. A.; BAPTESTIN, F. M.; Análise da hidratação do arroz na parboilização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 713-718, 2010.

BOUDET, A. M.; LAPIERRE, C.; GRIMA-PETTENATI, J.; Review: Biochemistry and molecular biology of lignification. **New Phytologist**, v. 129, p. 203–236, 1995.

BOUE, S.M.; DAIGLE, K. W.; CHEN, M.; CAO, H.; HEIMAN, M.L.; Antidiabetic potential of purple and red rice (*Oryza sativa* L.) bran extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p 5345-5353, 2016.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity**: concept and measurement. 2^oed. London: Academic Press, 1978. 416 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Norma de classificação, embalagem e marcação do arroz. Instrução normativa Nº 6**, Diário Oficial da União, Seção 1, p 3. 2009a. Disponível em:
<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1687046295>>

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de Sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 2009b. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf>

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.

CANEPELE, C. HARA,T.; MARTINS, J. H. CAMPELO JÚNIOR, J. H.; PERREIRA, J. A. M.; SILVA, J. S. E.; 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.

CAO, X.; ZHANG, M.; FANG, Z.; MUJUMDAR, A. S.; JIANG, H.; QIAN, H.; AI, H.; Drying kinetics and product quality of green soybean under different microwave drying methods. **Drying Technology**, 2016.

CASTILHOS, M. B. M.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GARCÍA-ROMERO, E.; BIANCHI, V. L. D; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; Isabel red wines produced from grape pre-drying and submerged cap winemaking: A phenolic and sensory approach. **Food Science and Technology**, v. 81, p. 58-66, 2017.

CAVARIANI, C.; TOLEDO, M. Z.; RODELLA, R. A.; NETO, J. B. F.; NAKAGAWA, J.; Velocidade de hidratação em função de características do tegumento de sementes de soja de diferentes cultivares e localidades. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 30-39, 2009.

CHANDRASEKARA, A.; SHAHIDI, F. Bioactivities and antiradical properties of millet grains and hulls. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.59, n.17, p.9563 - 9571, 2011.

CHEN, X. Q.; NAGAO, N.; ITANI, T.; IRIFUNE, K. Anti-oxidative analysis, and identification and quantification of anthocyanin pigments in different coloured rice. **Food Chemistry**, v.135, p. 2783-2788, 2012.

CHEN, Y.; JIANG, W.; CHEN, X.; CAO, J.; DONG, W.; DAI, B.; Changes in physicochemical, structural, and sensory properties of irradiated brown japonica rice during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 4361-3369, 2015.

COLMENARES, N. G.; RAMÍREZ-MARTINEZ, J. R.; ALDANA, J. O. RAMOS-NIÑO, M. E.; CLIFFORD, M.N., PÉKERAR, S.; MÉNDEZ, B. Isolation, characterisation and determination of biological activity of coffee proanthocyanidins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.77 p. 368–372, 1998.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira de grãos**: Terceiro levantamento, safra 2017/18. Brasília: Conab, 2017. v.5 n.3 130 p.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Capacidade estática**. 2018 Disponível em: < <http://sisdep.conab.gov.br/capacidadeestatica/>>

DIXON, R. A.; XIE, D.; SHARMA, S.B.; Proanthocyanidins – a final frontier in flavonoid research? **New Phytologist**, v. 165, p. 9-28, 2004.

DLAMINI, N. R.; DYKES, L. ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D.; TAYLOR, J. R. N.; Condensed tannins in traditional wet-cooked and modern extrusion-cooked sorghum porridges. **Cereal Chemistry**, v. 86, p. 192 -196, 2009.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L.; FERREIRA, C. D.; **Classificação oficial, qualidade e conservação de arroz, feijão e soja**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2015a. 475 p.

ELIAS, M.C; DIAS, A. R. G.; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; SCHIAVON, R. A.; FERREIRA, C. D.; RUTZ, D.; ZENI, D. B.; Efeitos da temperatura na espera para secagem e do tempo de armazenamento sobre a qualidade dos grãos de arroz. **Anais da V Conferência Brasileira de Pós-Colheita**, Foz do Iguaçu, PR, 2010, p. 550-556.

ELIAS, M. C. F.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; SCHIAVON, R. A. Industrialização de arroz por processo convencional e por parboilização. In: ELIAS, M. C. F.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. (Ed.). **Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2012a. cap. 4, p.43-55.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; SCHIAVON, R. A. Manejo tecnológico na pós-colheita e inovações na conservação de grãos de arroz. In: ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2012b. Cap. 3 p.21-42 .

ELIAS, M. C. et al. **Método para avaliação dos potenciais de rendimento gravimétrico, rendimento volumétrico e proporção de água na cocção de grãos de arroz integral, parboilizado integral, preto e vermelho**. 2015b, Brasil. BR10201502801, INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

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

FENNEMA, O. R., SRINIVASAN, D.; PARKIN, K.L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª Ed.. Porto Alegre: Editora Artmed, 2011, 900 p.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; AGUIRRE, J. M.; Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Drying Technology**, v. 30, p. 154-163, 2012.

FIESP; IBOPE. O perfil do consumo de alimentos no Brasil. In: FIESP; ITAL. **Brasil Food Trends 2020**. Gráfica Ideal, cap.4 p. 49-62, 2010.

FINOCCHIARO, F.; FERRARI, B.; GIANINETTI, A. A study of biodiversity of flavonoid content in the rice caryopsis evidencing simultaneous accumulation of anthocyanins and proanthocyanidins in a black-grained genotype. **Journal of Cereal Science**. v.51, p.28-34, 2010.

FINOCCHIARO F.; FERRARI, B.; GIANINETTI, A.; DALL'ASTA, C.; GALAVERNA, G.; SCAZZINA, F.; PELLEGRINI, N. Characterization of antioxidant compounds of red and white rice and changes in total antioxidant capacity during processing. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 51, p. 1006–1019, 2007.

FOGAÇA, A. O.; **Compostos fenólicos em uvas e vinhos da variedade merlot**. 2012, 142 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos,

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. Disponível em:
<<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/3386>>

FRANCO, D. F.; PETRINI, J. A.; Secagem do arroz. **COMUNICADO TÉCNICO** n° 145 on line da Embrapa, Pelotas, Dezembro-2006. Disponível em:
<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/comunicado_145_000fz2xq9vq02wx5ok0ejlyhducen5jp.pdf>

GAUILLARD, F.; RICHARD-FORGET, F. Polyphenoloxidases from Williams pear (*Pyrus communis* L. cv Williams): activation, purification and some properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 74, p. 49–56, 1997.

GOUFO, P.; TRINDADE, H.; Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, c-oryzanol, and phytic acid: Review. **Food Science & Nutrition**, v.2 n.2, p. 75-104, 2014.

GRAYER, R. J.; KIMMINS, F. M.; PADGHAM, D. E.; HARBORNE, J. B.; RAO, D. V. R.; Condensed tannin levels and resistance of groundnuts (*Arachis hypogaea*) against *Aphis craccivora*. **Phytochemistry**, v. 31, n11, p. 3795-3800, 1992.

GUINÉ, R. P. F.; BARROCA, M. J.; GONÇALVES, F. J.; ALVES, M.; OLIVEIRA, S.; MENDES, M.; Artificial neural network modelling of the antioxidant activity and phenolic compounds of bananas submitted to diferente drying treatments. **Food Chemistry**, v. 168, p. 454-459, 2015.

GULARTE, Marcia Arocha. Avaliação sensorial no controle da qualidade do arroz. In: ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de; VANIER, N. L. **Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2012. 638 p.

GUNARATNE, A.; WU, K.; LI, D. Q.; BENTOTA, A.; CORKE, H.; CAI, Y. Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. **Food Chemistry**, v.138, p 11153–11161, 2013.

HAYASHI, S.; YANASE, E. A study on the color deepening in red rice during storage. **Food Chemistry**, v. 199, p. 457-462, 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009**: Análise do consumo alimentar pessoal no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 150 p.

ISTA. International Seed Testing Association.; Determination of other seeds by number. **In: International rules for seed testing**. Bassersdorf: ISTA, 2008. cap.4, p.41-43.

ITANI, T.; TATEMOTO, H.; OKAMOTO, M.; FUJII, K.; MUTO, N. A comparative study on antioxidative activity and polyphenol content of colored kernel rice. **Journal Of The Japanese Society For Food Science And Technology**, v.49, 540–543, 2002.

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

JULKUNEN-TIITTO, R.; SORSA, S.; Testing the effects of drying methods on willow flavonoids, tannins, and salicylates. **Journal of Chemical Ecology**, v. 27, n.4, 2001.

KEUKELEIRE, D.; Fundamentals of beer and hop chemistry. **Química Nova**, v.23, n.1, p.108-112, 2000.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; FILHO, A. B.; CAMARGO, L. E. A.; **Manual de Fitopatologia**: Doenças das plantas cultivadas. 4º Edição, v.2. São Paulo: Editora Agrônoma Ceres Ltda, 2005, 603 p.

LEELAYUTHSOONTORN, P.; THIPAYARAT, A; Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. **Food Chemistry**, v. 96, p. 606–613, 2006.

LI, Y.; TANNER, G.; LARKIN, P.; The DMACA-HC1 protocol and the threshold proanthocyanidin content for bloat safety in forage legumes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 70, p. 89-101, 1996.

LIN, T. M., DURANCE, T. D.; SCAMAN, C. H.; Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. **Food Research International**, v. 31, p. 111–117, 1998.

LISLE, A.J.; MARTIN,M.; FITZGERALD,M.A.; Chalky and translucent rice grains differ in starch composition and cooking properties. **Cereal Chemistry**, v.77, n. 5, p 627-632, 2000.

LIU, K.; MCWATTERS, K. H.; PHILLIPS, R. D. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard-to-cook defect in cowpeast. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v.40, p.2403–2407, 1992.

MARLES, M. A. S.; VANDENBERG, A.; BETT, K. E.; Polyphenol oxidase activity and differential accumulation of polyphenolics in seed coats of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) characterize postharvest color changes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 7049-7056, 2008.

MARTIN, M.; FITZGERALD, M. A.; proteins in rice grains influence cooking properties! **Journal of Cereal Science**, v. 36, p. 285-294, 2002.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; AGUILERA, Y.; PEDROSA, M. M.; CUADRADO, C.; HERNANDEZ, T.; DIAZ, S.; ESTABAN, R. M.; The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. **Food Chemistry**, v. 114, n.3, p. 1063-1068, 2009.

MAYER, A.M.; Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? A review. **Phytochemistry**, v.67, p. 2318-2331, 2006.

MEIJA-MEZA, E. I.; YANEZ, J. A.; DAVIES, N. M.; RASCO, B.; YOUNCE, F.; REMSBERG, C. M.; CLARY, C.; Improving nutritional value of dried blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) combining microwave-vacuum, hot-air drying and freeze drying technologies. **International Journal of Food Engineering**, v. 4, n.5, 2008.

MENEZES, N.L.; PASQUALLI, L. L.; BARBIERI, A. P. P.; VIDAL, M. D.; CONCEIÇÃO, G. M.; Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n.4, p.430-436, 2012.

MIN, B.; GU, L.; MCCLUNG, A.M.; CHEN, M.; Effects of hydrothermal processes on antioxidants in brown, purple and red bran whole grain rice (*Oryza sativa* L.). **Food Chemistry**, v. 159, 106-115, 2014.

MIN, B.; GU, L.; MCCLUNG, A.M.; BERGMAN, C. J.; CHEN, M. Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colours. **Food Chemistry**. v.133 p 715-722, 2012.

MIRA, N. V. M.; BARROS, R. M. C.; SCHIOCCCHET, M. A.; NOLDIN, J. A.; LANFER-MARQUEZ, U. M. Extração, análise e distribuição dos ácidos fenólicos em genótipos pigmentados e não pigmentados de arroz (*Oryza sativa* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.28, p 994-1002, 2008.

MOHANLAL, S.; PARVATHY, R.; SHALINI, V.; MOHANAN, R.; HELEN, A.; JAYALEKSHMY, A. Chemical indices, antioxidante activity and anti inflammatory effect of extracts of the medicinal rice “njavara” and staple varieties: a comparative study. **Journal of Food Biochemmistry**, v.37 p. 369–380, 2013.

NACZK, M.; SHAHIDI, F.; Extraction and analysis of phenolics in food: Review. **Journal of Chromatography A**, v. 1054, p. 95-111, 2004.

NASAR-ABBAS, S. M.; PLUMMER, J. A.; SIDDQUE, K.H.M.; WHITE, P. F.; HARRIS, D.; DODS, K; Cooking quality of faba bean after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. **Food Science and Technology**, v.41, p. 1260-1267, 2008a.

NASAR-ABBAS, S. M.; PLUMMER, J. A.; SIDDQUE, K.H.M.; WHITE, P. F.; HARRIS, D.; DODS, K; Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 113-118, 2008b.

NASAR-ABBAS, S. M.; SIDDQUE, K.H.M.; PLUMMER, J. A.; WHITE, P. F.; HARRIS, D.; DODS, K.; D’ANTUONO, M. Faba bean (*Vicia faba* L.) seeds darken rapidly and phenolic content falls when stored at higher temperature, moisture and light intensity. **Food Science and Technology**, v.42, p. 1703-1711, 2009.

NICOLLI, M.C.; ANESE, M.; PARPINEL, M.; Influence of processing on the antioxidante properties of fruit and vegetables. **Food Science & Technology**, v. 10, p. 94-100, 1999.

OKI, T.; MASUDA, M.; NISHIBA, Y.; FURUTA, S.; SUDA, I.; SATO, T. Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.7524–7529, 2002.

OLATUNDE, G. A.; ATUNGULU, G. G.; SMITH, D. L.; One-pass drying of rough rice with an industrial 915 MHz microwave dryer: Quality and energy use consideration. **Biosystems Engineering**, v. 155, p. 33-43, 2017.

OLIVEIRA, M.; PARAGINSKI, R. T.; VANIER, N. L.; CASARIL, J.; ZENI, D. B.; ELIAS, M. C.; Armazenamento e conservação dos grãos. In: **Classificação oficial, qualidade e conservação de grãos de arroz, feijão, soja e trigo**. Pelotas: Ed. Cópias Santa Cruz, 2012, cap. 2, p.41-80.

OSBORNE, T.B.; **The vegetable proteins**. EUA, Longmans, Green and Co, 1909, 125p.

PAIVA, F. F.; **Efeitos da intensidade de polimento e da parboilização em parâmetros químicos e tecnológicos de arroz com pericarpo preto e vermelho**. 2014.137 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2014. Disponível em: <<http://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/site/content/dissertacao/>>

PARAGINSKI, R. T.; **Efeitos da secagem e da incidência de defeitos na qualidade de grãos de milho, e do processamento na qualidade de grãos de milho pipoca**. 2014.162 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2014. Disponível em: <<http://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/site/content/dissertacao/>>

PARK, C.; KIM, Y.; KIM, B.; Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 48, p. 25-29, 2012.

PARK, J. K.; KIM, S. S.; KIM, K. O. Effects of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physiochemical properties of milled and cooked rice. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 2, p. 151-156, 2001.

PEREIRA, J.A.; BASSINELLO, P. Z.; CURIM, V. A.; RIBEIRO, V. Q.; Comparação entre características agrônômicas, culinárias e nutricionais em

variedades de arroz branco e vermelho. **Revista Caatinga**, v. 22, n.1, p. 243-248, 2009.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 12, p. 5036-5040, 2005.

PINTHA K.; YODKEEREE S.; PITCHAKARN P.; LIMTRAKUL P. Anti-invasive activity against cancer cells of phytochemicals in red jasmine rice (*Oryza sativa* L.). **Asian Pacific Journal of Câncer Prevention**, v.15, p. 4601-4607, 2014.

PINTHA, K.; YODKEEREE, S.; LIMTRAKUL, P.; Proanthocyanidin in red rice inhibits mda-mb-231 breast cancer cell invasion via the expression control of invasive proteins. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, v. 38, p. 571-581, 2015.

QIU, Y.; LIU, Q.; BETA, T.; Antioxidant properties of commercial wild rice and analysis of soluble and insoluble phenolic acids. **Food Chemistry**, v.121, p. 140-147, 2010.

QU, W.; PAN, Z.; Ma, H.; Extraction modeling and activities of antioxidants from pomegranate marc. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 16-23, 2010.

REHMAN, Z.; HABIB, F.; ZAFAR, S. Nutritional changes in maize (*Zea mays*) during storage at three temperatures. **Food Chemistry**, v.77, p.197-201, 2002.

ROBBINS, R. J. Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology: Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.51, n.10, p. 2866-2887, 2003.

RONDINI, L.; PEYRAT-MAILLARD, M.; MARSSET-BAGLIERI, A.; FROMENTIN, G.; DURAND, P.; TOMÉ, D.; PROST, M.; BERSSET C. Bound ferulic acid from bran is more bioavailable than the free compound in rat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n.13, p. 4338, 4343, 2004.

ROZO, C.; BOURNE, M. C.; HOOD, L. F.; SOEST, P. J. V.; Effect of storage time, relative humidity and temperature on the cookability of whole red kidney beans and on the cell wall components of the cotyledons. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v.23, p. 72–75, 1990.

SCHIAVON, R. A.; **Manejo da temperatura do ar na secagem intermitente de sementes de arroz irrigado**. 2012.82 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2012. Disponível em: <<http://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/site/content/dissertacao/>>

SHAO, Y.; XU, F.; SUN, X.; BAO, J.; BETA, T. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). **Journal of Cereal Science** v.59, p 211-218, 2014a.

SHAO, Y.; XU, F.; SUN, X.; BAO, J.; BETA, T. Phenolic acids, anthocyanins, and antioxidant capacity in rice (*Oryza sativa* L.) grains at four stages of development after flowering. **Food Chemistry** v.143, p. 90-96, 2014b.

SILVA, W. S. V.; VANIER, N. L.; ZIEGLER, V.; OLIVEIRA, M.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M.C.; Effects of using eolic exhausters as a complement to conventional aeration on the quality of rice stored in metal silos. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 76-81, 2014.

SINELLI, N. BENEDETTI, S.; BOTTEGA, G.; RIVA, M.; BURATTI, S.; Evaluation of the optimal cooking time of rice by using FT-NIR spectroscopy and an electronic nose. **Journal of Cereal Science**, v.44, p. 137-143, 2006.

SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A.; Changes in physicochemical and sensory-properties of irradiated rice during storage. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 282-289, 2007

SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: SOSBAI, 2012. 179 p.

SOWBHAGYA, C. M.; BHATTACHARYA, K. R.; Changes in pasting behaviour of rice during ageing. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p. 115-124, 2001.

SWEENEY, M. T.; THOMSON, M.J.; PFEIL, B.E.; MCCOUCH, S. Caught Red-Handed: Rc Encodes a Basic Helix-Loop-Helix Protein Conditioning Red Pericarp in Rice. **The Plant Cell**, v.18, p. 288-294, 2006.

TERAHARA, N.; SAIGUSA, N.; OHBA, R.; UEDA, S.; Composition of anthocyanin pigments in aromatic red rice and its wine. **Journal Of The Japanese Society For Food Science And Technology**, v. 41, p. 519-522, 1994.

TROSZYNSKA, A.; CISKA, E.; Phenolic compounds of seed coats of white and coloured varieties of pea (*Pisum sativum* L.) and their total antioxidant activity. **Czech Journal of Food Science**, v. 20, p. 15–22, 2002.

USDA, United States Department of Agriculture. **Grain: World Markets and Trade**. Dezembro de 2017. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/commodities>>. Acesso em: Dezembro 2017

VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; OLIVEIRA, M.; RUTZ, D.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C.; Caracterização e propriedades dos grãos. In: **Classificação oficial, qualidade e conservação de grãos de arroz, feijão, soja e trigo**. Pelotas: Ed. Cópias Santa Cruz, 2012, cap.1, p.11-40.

VANIER, N. L. Qualidade de arroz e mercados emergentes. **Labgrãos Magazine**. v.1, n.1, p. 2-4, 2017. Disponível em: <<http://www.labgraos.com.br/magazine>>

VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T.; BERRIOS, J. J.; OLIVEIRA, L. C.; ELIAS, M. C.; Thiamine content and technological quality properties of parboiled rice treated with sodium bisulfite: Benefits and food safety risk. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.41, p. 98-103, 2015.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio da Goiás: Embrapa Arroz e Feijao, 2006. cap. 23. p. 869-900.

VILLELA, F. A.; PESKE, S. T. Secagem e beneficiamento de sementes de arroz. In: PESKE, S. T.; NEDEL, J. L.; BARROS, A. C. S. A.; **Produção de arroz irrigado**. Pelotas: UFPel, 1998. p. 431 – 468.

WANG, P.; LI, D.; WANG, L.; Drying damage on physiological properties of rice seed associated with ultrastructure changes. **International Journal of food Engineering**, v.13, 2017.

WONG, D. W. S. Feruloyl esterase: A key enzyme in biomass degradation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v.133, p.87-112, 2006.

YOUSIF, A. N.; DURANCE, T. D.; SCAMAN, C. H.; GIRARD, B.; Headspace volatiles and physical characteristics of vacuum-microwave, air, and freeze-dried oregano (*Lippia berlandieri* S.). **Journal of Food Science**, v.65, p. 926-930, 2000.

ZHOU, Z.; CHEN, X.; ZHANG, M.; BLANCHARD, C. Phenolics, flavonoids, proanthocyanidin and antioxidant activity of brown rice with different pericarp colors following storage. **Journal of Stored Products Research**. v.59, p.120-125, 2014.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. Review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 849–868, 2002.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. **Food Chemistry**, v. 105, p. 491-497, 2007.

ZHOU, Z.; WANG, X.; SI, X.; BLANCHARD, C.; STRAPPE, P.; The ageing mechanism of stored rice: A concept model from the past to the present. **Journal of Stored Products Research**, v. 64, p. 80-87, 2015.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. The distribution of phenolic acids in rice. **Food Chemistry**, v. 87, p. 401-406, 2004.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; HOFFMANN, J. F.; CHAVES, F. C.; VANIER, N. L.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C.; Cooking quality properties and free and bound phenolics content of brown, black, and red rice grains stored at different temperatures for six months. **Food Chemistry**, v.242, p. 427-434, 2018.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; TONIETO, L.; SILVA, J. G.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C.; Efeitos da temperatura de armazenamento de grãos de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho sobre as propriedades físico-químicas e de pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.20, 2017.

ZIELINSKI, H.; KOZLOWSKA, H.; Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 48, n. 6, p. 2008-2016, 2000.