UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

FLÁVIA ARAÚJO DA FONSECA

CONDIÇÕES DE ENCHARCAMENTO SOBRE A QUALIDADE DE ARROZ PARBOILIZADO CULTIVADO EM TERRAS ALTAS

Goiânia
2009

FLÁVIA ARAÚJO DA FONSECA

CONDIÇÕES DE ENCHARCAMENTO SOBRE A QUALIDADE DE ARROZ PARBOILIZADO CULTIVADO EM TERRAS ALTAS

Dissertação apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, como exigência para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior.
Co-orientadora: Drª Priscila Zaczuk Bassinello.

Goiânia
2009

UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

FLÁVIA ARAÚJO DA FONSECA

CONDIÇÕES DE ENCHARCAMENTO SOBRE A QUALIDADE DE ARROZ PARBOILIZADO CULTIVADO EM TERRAS ALTAS

Dissertação defendida e aprovada em 16 de novembro de 2009, pela Banca Examinadora constituída pelos membros

Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior
Orientador

Profa. Dra. Elza Iouko Ida
Membro da Banca

Prof. Dr. Márcio Caliari
Membro da Banca

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Vilmar e Zildete, ao meu esposo Ronaldo, aos meus irmãos Flaviane e Marcelo e à minha sobrinha-afilhada Marina, pessoas fundamentais na minha vida, motivos do meu esforço e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me guiado, dando-me orientação durante todos os momentos difíceis.

À minha mãe Zildete e ao meu inesquecível pai Vilmar que de uma forma ou de outra me deram apoio, amor e carinho, que me ajudaram a passar por todos os obstáculos com mais facilidade.

Ao meu esposo Ronaldo pela compreensão, amor e carinho em todos os felizes anos de convivência.

Aos meus irmãos Flaviane e Marcelo pelo auxílio, compreensão e torcida.

À minha sobrinha-afilhada Marina por me motivar.

À UFG pela oportunidade de estudar no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior pela inestimável orientação, paciência, incentivo e amizade.

Às amigas Aline, Priscila, Juliana pelos excelentes momentos de convivência e em especial a Diva, pelo companheirismo e apoio, sem os quais não teria superado as diversas dificuldades experimentadas durante a realização desta pesquisa.

À Selma, Dra. Priscila e Dr. Eduardo pelos valiosos ensinamentos. A Adélia, Lorena, Rosângela, Renilda, Suely e Edmar, pela colaboração, paciência e amizade durante a fase de trabalho no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Embrapa Arroz e Feijão.

Ao Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, do Departamento de Agricultura, da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EA – UFG), pela autorização do uso do Laboratório de Análise Foliar e de Solos para análise de minerais e à Márcia, por executá-las.

Aos professores membros da banca examinadora, que emprestaram suas qualificações para a revisão e discussão desta dissertação, aperfeiçoando-a de maneira expressiva.

Enfim, a todos vocês, meu eterno agradecimento.

EPÍGRAFE

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

RESUMO

A técnica da parboilização representa mais de 20% do total do arroz industrializado no Brasil, e para que esta parcela aumente há necessidade de aperfeiçoamentos no seu processamento. O arroz parboilizado tem vantagens econômicas e nutricionais, e diversas modificações que este processo provoca no grão estão vinculadas às técnicas empregadas. Ineficiências e inexperiências nas ações não só podem anular as vantagens descritas, como reduzir o valor alimentício do cereal. Portanto, é necessário ajustar os parâmetros operacionais às características da matéria prima, para que se obtenha êxito no processo, pois as isotermas de hidratação dependem de vários fatores, sendo diferentes para cada cultivar e cada combinação binária. Este trabalho objetivou verificar se existe a influência das variáveis de encharcamento (temperatura e tempo de imersão) sobre as características de qualidade tecnológica (índice de absorção de água; teor de sólidos totais secos e pH na água de imersão do encharcamento; índice de abertura da casca dos grãos; grau de polimento, renda do benefício, rendimento de inteiros; análise de defeitos, cor e teste de cocção), química (umidade, cinzas, proteína bruta, fibra bruta, extrato etéreo, carboidratos, minerais e o teor de amilose) e sensorial das cultivares de terras altas BRS Primavera e BRS Sertaneja. Para cada cultivar foi empregado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), que inclui um fatorial de 2^2 mais três repetições no ponto central e 4 axiais, totalizando 11 tratamentos. À medida que aumentou a temperatura (principalmente na faixa de temperatura de gelatinização) e o tempo de imersão, aumentaram: o índice de absorção de água, o índice de abertura da casca dos grãos, o grau de polimento, a renda do benefício, o rendimento de inteiros; a incidência de grãos danificados, grãos bananas e grãos translúcidos e tornou-se mais fácil a visualização dos grãos manchados e picados; os valores de L*, b*, a* e ΔE^*. O arroz parboilizado da cv. BRS Primavera apresentou maior conteúdo de cinzas, porém os teores de fósforo, manganês, potássio e zinco não alteraram e os de magnésio, cálcio e cobre reduziram em relação ao arroz branco. Para a cv. BRS Sertaneja o arroz parboilizado apresentou maior conteúdo de cinzas, proteínas, lipídios e fibra bruta, porém a quantidade de manganês, potássio e zinco não alteraram em relação ao arroz branco. Os teores de magnésio, cálcio e cobre reduziram e os de fósforo aumentaram. As amostras apresentaram grãos soltos e macios, maior rendimento e tempo de cocção que as amostras de arroz branco. A aceitação global do parboilizado cozido apresentou valores homogêneos entre as duas cultivares, variando na escala adotada, entre indiferente e gostei moderadamente.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., parboilização, encharcamento, terras altas

ABSTRACT

The technique of parboiling represents more than 20% of the total rice industrialized in Brazil, and that this portion is increasing need for improvements in it processing. The parboiled rice is nutritional and economic advantages, and various changes that this process causes the grain are linked to the techniques employed. Inefficiencies and inexperience in the actions not only negate the advantages described, such as reducing the nutritional value of cereal. Therefore, it is necessary to adjust the operational parameters to the characteristics of raw material, in order to obtain success in the process, because the isotherms of hydration depends on several factors and different for each cultivar and each bit pattern. This study aimed to establish whether there is the influence of the variable soaking (temperature and immersion time) on the quality technology (absorption rate of water content, dry solids and pH of the water immersion of soaking; index opening shell of the grains, degree of polishing, the income benefit, whole grain, defect analysis, color and test firing), chemical (moisture, ash, crude proteins, crude fiber, lipids, carbohydrates, minerals and amylose content) and sensory cultivars upland rice cultivars BRS Primavera and BRS Sertaneja. For each cultivar was used a central composite rotational design (DCCR), which includes a factor of 22 over three replications at the central point and axial 4, totaling 11 treatments. As the temperature increased (mainly at the gelatinization temperature) and immersion time increased: the rate of water absorption, the rate of opening of the shell of the grains, the degree of polishing, the income benefit, income integer, the incidence of damaged grains, bananas and whole grains and translucent became easier to visualize the stained grains and chopped, the values of L *, b *, a * and ΔE *. The parboiled rice cv. BRS Primavera showed higher ash content, however the phosphorus, manganese, potassium and zinc did not change and the magnesium, calcium and copper reduced compared to white rice. For cv. BRS Folk parboiled rice had a higher content of ash, protein, fat and fiber, but the amount of manganese, potassium and zinc did not change compared to white rice. The levels of magnesium, calcium and copper reduced and phosphorus increased. The samples had grains loose and soft, higher yield and cooking time that the samples of white rice. Global acceptance of parboiled cooked values were constant between the two cultivars, ranging in scale adopted between indifferent and like moderately.

Key words: Oryza sativa L., parboiling, soaking, upland

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	1
2	**REVISÃO DA LITERATURA**	3
2.1	PRODUÇÃO E CONSUMO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)	3
2.2	SISTEMAS DE CULTIVO	4
2.2.1	**Ecossistema de várzeas**	5
2.2.2	**Ecossistema de terras altas**	5
2.2.2.1	Sistema sem irrigação	6
2.2.2.2	Sistema com irrigação suplementar por aspersão	7
2.3	CARACTERÍSTICAS DE ALGUMAS CULTIVARES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS	7
2.3.1	**BRS Primavera e BRS Sertaneja**	8
2.4	CONSTITUIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO ARROZ	9
2.5	PARBOILIZAÇÃO	11
2.5.1	**Origem e importância**	11
2.5.2	**Operações unitárias principais**	12
2.5.2.1	Limpeza	12
2.5.2.2	Encharcamento	13
2.5.2.3	Gelatinização ou vaporização	17
2.5.2.4	Secagem	20
2.5.2.5	Beneficiamento	22
2.5.3	**Vantagens do arroz parboilizado**	22
2.6	QUALIDADE DO ARROZ	23
2.6.1	**Características nutricionais do arroz**	24
2.6.1.1	Carboidratos	25
2.6.1.2	Proteínas	25
2.6.1.3	Fibras	26
2.6.1.4	Lipídios	26
2.6.1.5	Matéria mineral	27
2.6.2	**Características tecnológicas**	27
2.6.2.1	Aspectos relacionados ao grão	27
2.6.2.2	Aspectos relacionados à água de imersão	32
2.6.3	**Características sensoriais**	33
2.6.3.1	Cor	34
2.6.3.2	Textura (teste de cocção)	36
2.6.3.3	Sabor e odor	38
3	**OBJETIVOS**	39
3.1	OBJETIVO GERAL	39

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 39

4 MATERIAL E MÉTODOS 40
4.1 MATERIAL 40
4.1.1 Matéria prima 40
4.2 MÉTODOS 40
4.2.1 Determinação das isotermas de absorção de água 43
4.2.2 Parboilização 45
4.2.2.1 Seleção e limpeza 45
4.2.2.2 Encharcamento 45
4.2.2.3 Vaporização 47
4.2.2.4 Secagem 47
4.2.2.5 Beneficiamento 48
4.2.3 Avaliação da qualidade química, tecnológica e sensorial 49
4.2.3.1 Caracterização da matéria prima 49
4.2.3.1.1 Avaliação tecnológica (análises físicas) 49
4.2.3.1.2 Análise química 52
4.2.3.2 Caracterização do arroz parboilizado 54
4.2.3.2.1 Avaliação tecnológica (análises físicas do grão) 54
4.2.3.2.2 Avaliação tecnológica (análises físicas da água de imersão) 56
4.2.3.3 Caracterização das amostras selecionadas de arroz parboilizado 57
4.2.3.3.1 Teste de cocção 57
4.2.3.3.2 Análise química 57
4.2.3.3.3 Análise sensorial 57
4.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS 59
4.3.1 Análise de variância 59
4.3.2 Metodologia de superfície de resposta 59

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 61
5.1 ISOTERMAS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA 61
5.2 EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE IMERSÃO DA ETAPA DE ENCHARCAMENTO NAS CARCACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO GRÃO DE ARROZ PARBOILIZADO 63
5.2.1 Índice de absorção de água (IAA) 66
5.2.2 Índice de abertura da casca (IAC) 70
5.2.3 Grau de polimento (GP) 71
5.2.4 Renda do benefício 74
5.2.5 Rendimentos de inteiros 77
5.3 EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE IMERSÃO DA ETAPA DE ENCHARCAMENTO SOBRE OS DEFEITOS DOS GRÃOS DE ARROZ PARBOILIZADOS 81
5.3.1 Grãos danificados 83

5.3.2 **Grãos bananas** 85
5.3.3 **Grãos manchados e picados** 88
5.3.4 **Grãos não gelatinizados (GNG)** 89
5.4 EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE IMERSÃO DA ETAPA DE ENCHARCAMENTO SOBRE A COR DOS GRÃOS E DA FARINHA DE ARROZ PARBOILIZADOS 92
5.4.1 **Parâmetros instrumentais de cor (L*, a*, b* e ΔE) das farinhas dos grãos de arroz** 92
5.4.1.1 Luminosidade (L*) 94
5.4.1.2 Coordenada de cromaticidade a* 97
5.4.1.3 Coordenada de cromaticidade b* 100
5.4.1.4 Diferença de cor 102
5.5 EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE IMERSÃO DA ETAPA DE ENCHARCAMENTO DA PARBOILIZAÇÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE IMERSÃO 106
5.5.1 **Sólidos Totais Secos (STS)** 107
5.5.2 **pH** 110
5.6 SELEÇÃO DOS TRATAMENTOS PARA ANÁLISE NUTRICIONAL, SENSORIAL E DE COCÇÃO 113
5.7 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA 117
5.7.1 **Umidade** 119
5.7.2 **Cinzas** 120
5.7.3 **Proteínas** 121
5.7.4 **Lipídios** 123
5.7.5 **Fibra bruta** 124
5.7.6 **Carboidratos** 125
5.7.7 **Teor de amilose aparente** 126
5.8 MINERAIS 129
5.8.1 **Potássio (K)** 129
5.8.2 **Fósforo (P)** 130
5.8.3 **Cálcio (Ca)** 131
5.8.4 **Magnésio (Mg)** 131
5.8.5 **Cobre (Cu)** 132
5.8.6 **Manganês (Mn)** 132
5.8.7 **Zinco (Zn)** 133
5.9 TEMPERATURA DE GELATINIZAÇÃO (TG) 135
5.10 TESTE DE COCÇÃO 136
5.10.1 **Pegajosidade** 137
5.10.2 **Textura** 138
5.10.3 **Rendimento de cocção** 139
5.10.4 **Tempo de cocção** 140
5.11 ANÁLISE SENSORIAL 141

5.11.1 **Aparência** 142
5.11.2 **Aroma** 143
5.11.3 **Sabor** 144
5.11.4 **Textura** 144

6 **CONCLUSÕES** 145

REFERÊNCIAS 147

ANEXOS 162

APÊNDICES 197

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.	Cálculo do balanço de energia e massa	44
Equação 2.	Cálculo do percentual de absorção de água ou umidade	45
Equação 3.	Cálculo do grau de polimento	50
Equação 4.	Cálculo da renda do benefício	50
Equação 5.	Cálculo do rendimento de inteiros	50
Equação 6.	Cálculo do percentual de defeitos gerais	51
Equação 6A.	Cálculo da concentração de amilose	164
Equação 6B.	Cálculo do percentual de amilose	165
Equação 7.	Cálculo do percentual de abertura da casca de grãos	55
Equação 7A.	Cálculo do percentual de fibra bruta	200
Equação 8.	Cálculo do percentual de GNG	56
Equação 9.	Fórmula geral do modelo preditivo	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Estrutura do grão de arroz	10
Figura 2.	Máquina de ar e peneiras destinada a limpeza dos grãos de arroz.....	12
Figura 3.	Tanques de encharcamento do arroz em casca	13
Figura 4.	Estrutura morfológica do grão de arroz (a); Imagens de ressonância magnética de grãos de arroz integral durante embebição (b)	16
Figura 5.	Autoclavem utilizada para a gelatinização dos grãos de arroz em casca	19
Figura 6.	Vista parcial do sistema de secagem	20
Figura 7.	Procedimentos para determinação das isotermas de absorção de água do arroz em casca	41
Figura 8.	Procedimentos para o processamento e as análises realizadas no arroz branco (sem parboilizar)	41
Figura 9.	Procedimentos para as etapas do experimento de parboilização e das análises realizadas	42
Figura 10.	Medidor dielétrico (Grainer II PM – 300) de umidade de grãos	45
Figura 11.	Encharcamento das amostras em béquer de vidro tampado com folha de alumínio dentro do banho maria	46
Figura 12.	Vaporização das amostras de arroz encharcado	47
Figura 13.	Estufa com circulação de ar forçada para secagem do arroz autoclavado	48
Figura 14.	Máquina para descascar arroz, Satake, IHU	48
Figura 15.	Máquina para polir o arroz, Grainman, 60-230-60-2AT	49
Figura 16.	Máquina para separar grãos inteiros dos quebrados (a); trieur (n° 1) (b)	49
Figura 17.	Grãos danificados (a) e os grãos banana (b)	51
Figura 18.	Grãos manchados e picados	51
Figura 19.	Dispersão dos grãos crus quando em contato com a solução alcalina...	54
Figura 20.	Grãos parboilizados com a casca aberta	55
Figura 21.	Grãos não gelatinizados (a) e parcialmente gelatinizado (b)	56
Figura 22.	Preparo das amostras utilizando panela Golden Kitchen	58
Figura 23.	Homogeneização das amostras	58
Figura 24.	Curvas de absorção de água do grão em casca em diferentes temperaturas na etapa de encharcamento da parboilização da cv. BRS Primavera	62
Figura 25.	Curvas de absorção de água do grão em casca em diferentes temperaturas na etapa de encharcamento da parboilização da cv. BRS Sertaneja	62
Figura 26.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o IAA (%) dos grãos parboilizados da cv. BRS Primavera	67
Figura 27.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o IAA (%) dos grãos parboilizados da cv. BRS Sertaneja	68
Figura 28.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento	

	da parboilização sobre o GP (%) do grãos parboilizados da cv. BRS Primavera	72
Figura 29.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o GP (%) do grãos parboilizados da cv. BRS Sertaneja	73
Figura 30.	Efeito da temperatura da água de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre a renda do benefício da cv. BRS Primavera	75
Figura 31.	Efeito da temperatura da água de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre a renda do benefício da cv. BRS Sertaneja	76
Figura 32.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento sobre o rendimento de inteiros dos grãos parboilizados da cv. BRS Primavera	78
Figura 33.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o rendimento de inteiros dos grãos parboilizados da cv. BRS Sertaneja	79
Figura 34.	Efeito do tempo de imersão na etapa de encharcamento sobre os grãos danificados da cv. BRS Primavera	84
Figura 35.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização nos grãos danificados da cv. BRS Sertaneja	84
Figura 36.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização no percentual de grãos bananas da cv. BRS Primavera	86
Figura 37.	Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização no percentual de grãos bananas da cv. BRS Sertaneja	87
Figura 38.	Efeito do tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o percentual de grãos manchados e picados da cv. BRS Sertaneja	88
Figura 39.	Efeito do tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o percentual de GNG da cv. BRS Primavera	89
Figura 40.	Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a luminosidade L* da farinha da cv. BRS Primavera	95
Figura 41.	Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a luminosidade L* da farinha da cv. BRS Sertaneja	96
Figura 42.	Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a coordenada a* da farinha da cv. BRS Primavera	98
Figura 43.	Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a coordenada a* da farinha da cv. BRS Sertaneja	99
Figura 44.	Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a coordenada b* da farinha da cv. BRS Primavera	100
Figura 45.	Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a coordenada b* da cv. BRS Sertaneja	101

Figura 46. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a diferença de cor da farinha da cv. BRS Primavera 103
Figura 47. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento sobre a diferença de cor da farinha da cv. BRS Sertaneja 104
Figura 48. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento sobre os STS (%) da água de imersão da cv BRS Primavera 108
Figura 49. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre os STS (%) da água de imersão da cv BRS Sertaneja 109
Figura 50. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre o pH da água de imersão da cv BRS Primavera 111
Figura 51. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento sobre o pH da água de imersão da cv. BRS Sertaneja 112
Figura 52. Efeito da parboilização no teor de umidade do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b) 119
Figura 53. Efeito da parboilização no teor de cinzas do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b) 120
Figura 54. Efeito da parboilização no teor de proteínas do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b) 122
Figura 55. Efeito da parboilização no teor de lipídios do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b) 123
Figura 56. Efeito da parboilização no teor de fibra bruta do grão da cv BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b) 125
Figura 57. Efeito da parboilização no teor de carboidratos do grão da cv BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b) 126
Figura 58. Curva de calibração da amilose padrão 127
Figura 59. Efeito da parboilização no teor de amilose aparente do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b) 128

LISTA DE TABELA

Tabela 1	Estimativa da produção anual e consumo de arroz no Brasil (em 1000 ton) entre as safras 2003/2004 e 2008/2009	3
Tabela 2	Taxa média de crescimento anual (%) da área, da produção e da produtividade do arroz de terras altas, irrigado e total, no Brasil, período entre 1991 e 2001	4
Tabela 3.	Características dos grãos das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja	8
Tabela 4.	Classificação do arroz em relação ao grupo e subgrupo	10
Tabela 5.	Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz branco e parboilizado	24
Tabela 6.	Matriz do delineamento experimental com as variáveis para as condições hidrotérmicas do encharcamento da cv. BRS Primavera	43
Tabela 7.	Matriz do delineamento experimental com as variáveis para as condições hidrotérmicas do encharcamento da cv BRS Sertaneja	43
Tabela 7A.	Classificação dos atributos de textura e pegajosidade em arroz cozido ...	198
Tabela 8.	Médias e desvios padrão dos dados experimentais obtidos de Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Abertura da Casca (IAC) para a cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização	63
Tabela 9.	Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Abertura da Casca (IAC) para a cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização	63
Tabela 10.	Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos de Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Abertura da Casca (IAC) para a cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização	64
Tabela 11.	Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Abertura da Casca (IAC) para a cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização	64
Tabela 12.	Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos de grau de polimento (GP), renda do benefício e rendimento de inteiros e para a cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização	65
Tabela 13.	Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do grau de polimento (GP), da renda do benefício e do rendimento de inteiros para a cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização	65
Tabela 14.	Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos do grau de polimento (GP), da renda do benefício e do rendimento de inteiros para a cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização	65
Tabela 15.	Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do grau de polimento (GP), da renda do benefício e do rendimento de inteiros para a cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e	

tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização 66
Tabela 16. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos do grau de polimento (GP) das amostras de arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja 74
Tabela 17. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos da renda do benefício do arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja 77
Tabela 18. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos do rendimento de inteiros do arroz branco das cvs BRS Primavera e BRS Sertaneja 81
Tabela 19. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais dos defeitos (danificados, bananas, manchados e picados e GNG) dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 82
Tabela 20. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) dos defeitos dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização 82
Tabela 21. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais dos defeitos (danificados, grão banana, manchados e picados e GNG) da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 82
Tabela 22. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) dos defeitos dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização 83
Tabela 23. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos dos defeitos (danificados, bananas, manchados e picados) dos grãos do arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja 91
Tabela 24. Médias e desvios-padrão dos parâmetros instrumentais de cor das farinhas dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 93
Tabela 25. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) dos parâmetros instrumentais de cor da farinha dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização 93
Tabela 26. Médias e desvios-padrão dos parâmetros instrumentais de cor das farinhas dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 93
Tabela 27. Modelos de regressão ajustados e coeficiente de determinação (R^2) de cor da farinha dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização 94
Tabela 28. Dados experimentais dos parâmetros instrumentais de cor da farinha dos grãos polidos ou brancos das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja 105
Tabela 29.

Tabela 30.	Médias e desvios-padrão dos dados experimentais do teor de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização	106
Tabela 31.	Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do teor de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização	106
Tabela 32.	Médias e desvios-padrão dos dados experimentais do teor de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão da cv. BRS Sertaneja em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização	107
Tabela 33.	Modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2) do teor de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização	107
Tabela 34.	Dados experimentais médios mais positivos obtidos em cada experimento para a cv. BRS Primavera	114
Tabela 35.	Dados experimentais médios mais positivos obtidos em cada experimento para a cv. BRS Sertaneja	115
Tabela 36.	Experimentos selecionados e as médias dos dados experimentais obtidos para cada variável resposta analisada da cv. BRS Primavera ...	116
Tabela 37.	Experimentos selecionados e as médias dos dados experimentais obtidos para cada variável resposta analisada da cv. BRS Sertaneja	116
Tabela 38.	Percentual de material retido de partículas de farinha de arroz polido e parboilizados da cv BRS Primavera em conjunto de peneiras e perdidos durante manipulação	117
Tabela 39.	Percentual de material retido de partículas de farinha de arroz polido e parboilizados da cv BRS Sertaneja em conjunto de peneiras e perdidos durante manipulação	117
Tabela 40.	Composição centesimal (em base seca) da farinha de arroz branco e parboilizadas selecionadas da cv. BRS Primavera	118
Tabela 41.	Composição centesimal (em base seca) da farinha de arroz branco e parboilizadas selecionadas da cv. BRS Sertaneja	118
Tabela 42.	Teor de amilose aparente para as amostras de arroz branco e parboilizadas	127
Tabela 43.	Teores de alguns minerais (mg/100g) da cv. BRS Primavera, antes e após a parboilização sob diferentes condições de temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização	129
Tabela 44.	Teores de alguns minerais (mg/100g) da cv. BRS Sertaneja, antes e após a parboilização sob diferentes condições de temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização	129
Tabela 45.	Temperatura de gelatinização das amostras branco polidas das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja	136
Tabela 46.	Médias e desvios-padrão dos escores de pegajosidade, textura, rendimentos (%) e tempos de cocção médios obtidos no teste de panela, para as amostras de arroz da cv. BRS Primavera e BRS Sertaneja	136

Tabela 47. Médias e desvios-padrão dos escores para aparência, aroma, sabor e textura das amostras de arroz parboilizadas da cv. BRS Primavera obtidas no teste de aceitabilidade 142
Médias e desvios-padrão dos escores para aparência, aroma, sabor e textura das amostras de arroz parboilizadas da cv. BRS Sertaneja obtidas no teste de aceitabilidade 142

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Protocolo para análise do teor de amilose aparente conforme metodologia citada por Martinéz e Cuevas (1989), adaptada pela EMBRAPA Arroz e Feijão 162

Anexo B1. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de índice de absorção de água (IAA) dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 166

Anexo B2. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de índice de abertura da casca (IAC) dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 167

Anexo B3. Modelo de regressão completo e análise de variância para grau de polimento dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 168

Anexo B4. Modelo de regressão completo e análise de variância para renda do benefício dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 169

Anexo B5. Modelo de regressão completo e análise de variância para rendimento de inteiros dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 170

Anexo B6. Modelo de regressão completo e análise de variância para os grãos danificados da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 171

Anexo B7. Modelo de regressão completo e análise de variância para o grão banana da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 172

Anexo B8. Análise de variância para grãos manchados e picados da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 172

Anexo B9. Modelo de regressão completo e análise de variância para o grão não gelatinizado da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização (B9.1); Análise de variância para o grão não gelatinizado da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização (B9.2) 173

Anexo B10. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de cor da farinha (luminosidade – L*) da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 174

Anexo B11. Modelo de regressão completo e análise de variância para a coordenada de cromaticidade a* da cor da farinha da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 175

Anexo B12. Modelo de regressão completo e análise de variância para coordenada de cromaticidade b* da cor da farinha da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 176

Anexo B13. Modelo de regressão completo e análise de variância para diferença de cor (ΔE) da cor da farinha da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 177

Anexo B14. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de Sólidos Totais Secos (mg/ L) da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 178

Anexo B15. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais do pH da água de maceração da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 179

Anexo C1. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de índice de absorção de água (IAA) dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 180

Anexo C2. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de índice de abertura da casca (IAC) dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 181

Anexo C3. Modelo de regressão completo e análise de variância para grau de polimento dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 182

Anexo C4. Modelo de regressão completo e análise de variância para renda do benefício dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 183

Anexo C5. Modelo de regressão completo e análise de variância para rendimento de inteiros dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 184

Anexo C6. Modelo de regressão completo e análise de variância para os grãos danificados da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 185

Anexo C7. Modelo de regressão completo e análise de variância para o grão banana da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 186

Anexo C8. Análise de variância para grãos manchados e picados da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 187

Anexo C9. Modelo de regressão completo e análise de variância para os grãos não gelatinizados da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização (C9.1); Análise de variância para o grão não gelatinizado da cv. BRS

Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização (C9.2)..... 188
Anexo C10. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de cor da farinha (luminosidade – L*) da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 189
Anexo C11. Modelo de regressão completo e análise de variância para a coordenada de cromaticidade a* da cor da farinha da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 190
Anexo C12. Modelo de regressão completo e análise de variância para coordenada de cromaticidade b* da cor da farinha da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 191
Anexo C13. Modelo de regressão completo e análise de variância para diferença de cor (ΔE) da cor da farinha da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 192
Anexo C14. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de Sólidos Totais Secos (mg/ L) da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 193
Anexo C15. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais do pH da água de maceração da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização 194
Anexo D1. Anova para o escore de aparência para a cv. BRS Primavera 195
Anexo D2. Anova para o escore de aroma para a cv. BRS Primavera 195
Anexo D3. Anova para o escore de sabor para a cv. BRS Primavera 195
Anexo D4. Anova para o escore de textura para a cv. BRS Primavera 195
Anexo E1. Anova para o escore de aparência para a cv. BRS Sertaneja 196
Anexo E2. Anova para o escore de aparência para a cv. BRS Sertaneja 196
Anexo E3. Anova para o escore de aroma para a cv. BRS Sertaneja 196
Anexo E4. Anova para o escore de sabor para a cv. BRS Sertaneja 196

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A.	Protocolo utilizado para análise do teste de cocção segundo a metodologia de Martinez e Cuevas (1989), com adaptações	197
Apêndice B.	Protocolo para análise de Fibra bruta, conforme metodologia da AOAC International (1997) com adaptações	199
Apêndice C.	Questionário utilizado para a avaliação sensorial (C1)	201
	Questionário utilizado para pesquisa de opinião (C2)	202
Apêndice D.	Programação do Sas for windows do PROC ANOVA/ TUKEY para os dados experimentais de umidade e cinzas (D1).....	203
	Programação do Sas for windows do PROC RSREG para os dados experimentais de rendimento de inteiros (D2)	204
	Passos do Statistica for windows para o ajuste dos modelos de regressão múltipla (D3)	205

LISTA DE ABREVIATURAS E UNIDADES

AOAC – Association of Official Analytical Chemists
b.s. – base seca
Ca - Cálcio
CIE – Comissão Internacional de Iluminação
cm – centímetro
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
Cu - Cobre
DCCR – Delineamento Composto Central Rotacional
DOM – *Degree of milling*
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA – Estados Unidos da América
FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
GNG – Grão Não Geletinizado
GP – Grau de Polimento
h – hora
IAA – Índice de Absorção de Água
IAC – Índice de Abertura da Casca
IAL – Instituto Adolfo Lutz
IRRI - International Rice Research Institute
K - Potássio
MAPA **-** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
min – minutos
Mg - Magnésio
mm – milímetros
Mn - Manganês
MSR – Metodologia de Superfície de Resposta
OMS – Organização Mundial de Saúde
P - Fósforo
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
STS – Sólidos Totais Secos
TA – Teor de amilose
TG – Temperatura de gelatinização
t – toneladas
USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
Zn - Zinco

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) tem origem provável no sudeste da Ásia. O Brasil é apontado por alguns autores como o primeiro país do continente americano a cultivar esse cereal, por volta do ano de 1540, na Capitania de São Vicente (BASSINELLO; CASTRO, 2004). Alimento básico para dois terços da humanidade, o arroz é a fonte alimentícia mais importante, pois atende a 21% das necessidades diárias em calorias e 14% em proteínas (FERREIRA; DEL VILLAR, 2004). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), para a população brasileira, o arroz branco "in natura", que passa por um processo padrão de beneficiamento para a retirada da casca e polimento (brunido), ainda é o principal produto consumido (EMBRAPA, 2005a). Em ordem decrescente, as formas de arroz mais consumidas no Brasil são: o polido ou branco (54%), o parboilizado (12%) e o integral (3,5%) (CAVALHEIRO; MISSIO; GULARTE, 2007). Mas o consumo de arroz parboilizado tem crescido substancialmente nos últimos anos, passando de 12% para aproximadamente 20% em duas décadas (1986 – 2006) (HELBIG et al., 2008).

Vários processos de parboilização foram descritos na literatura. Estes vão desde o tradicional método de parboilização, que consiste de imersão grosseira de arroz com casca em água à temperatura ambiente, seguida por tratamento em vapor ou em fervura a 100 °C e secagem ao sol, até processos mais sofisticados como a utilização de calor seco e de pressão (BELLO; BAEZA; TOLABA, 2006). Durante esse tratamento, ocorre a gelatinização do amido, que passa da forma cristalina para amorfa, tornando a textura do endosperma mais compacta e translúcida (AMATO; ELIAS, 2005). Por isso, o grão adquiri mais força para resistir ao polimento, quebrando menos durante o beneficiamento, além de reduzir a remoção excessiva de compostos importantes do ponto de vista nutricional (SRIDHAR; MANOHAR, 2003). Além disso, o produto parboilizado torna-se mais solto quando cozido, rende mais na panela, requer menos óleo no cozimento, pode ser reaquecido diversas vezes, mantendo suas propriedades nutritivas, é menos susceptível ao ataque de insetos e conserva-se por mais tempo, devido o efeito de pasteurização enzimática e microbiológica (BASSINELLO; CASTRO, 2004). Por estas razões, o arroz parboilizado tem, em nível internacional, o respaldo de instituições como a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) e a Organização Mundial de Saúde (OMS), representando aproximadamente 50% da produção de arroz mundial, atingindo já cerca de 20% no Brasil e isso motiva a sua adoção em programas nacionais de saúde, onde o consumo é dirigido a

creches, hospitais e estabelecimentos para idosos (AMATO; SILVEIRA FILHO, 1995; CHOUDHURY, 1991).

Entretanto, as vantagens do arroz parboilizado têm como contraponto alguns inconvenientes quanto ao sabor, à cor e ao odor, limitando o consumo pelos povos tradicionalmente consumidores de arroz parboilizado. As preferências de consumo no Brasil são voltadas para cultivares de grãos agulhinhas (longo fino), com aspecto translúcido, baixo índice de defeitos e de grãos quebrados, e com comportamento adequado de cocção (relacionado com o tempo de cozimento, a absorção de água, a perda de sólidos solúveis e o ganho de volume durante o cozimento) (VIEIRA, 2004). Para estender a sua utilização para outros mercados e conseguir a aceitação do arroz parboilizado em lugar do arroz branco (polido) nos países ocidentais será necessário minimizar, na medida do possível, essas características negativas (AMATO; ELIAS, 2005).

As diversas modificações que a parboilização provoca no arroz estão intimamente vinculadas às técnicas empregadas. Ineficiências nas ações e inexperiência na parboilização não só podem anular as vantagens descritas, como reduzir o valor alimentício que o cereal possuía originalmente. Por exemplo, quando se deixa fermentar o arroz em casca, durante ou depois do encharcamento; quando não é autoclavado eficientemente; quando não é secado adequadamente; ou seja, quando é elaborado de forma inadequada, o gosto, o aroma, o odor e a cor do arroz podem transformá-lo em inaceitável para o consumo (AMATO; ELIAS, 2005).

Nas últimas duas décadas, o arroz parboilizado teve quadruplicada sua participação no mercado consumidor nacional. A incorporação do arroz parboilizado na dieta dos brasileiros, traz consigo um consequente aumento de sua produção, havendo necessidade de estudos mais detalhados do comportamento hidrotérmico das cultivares produzidas pelos agricultores e utilizadas pelas agroindústrias. Embora necessário, não é comum a agroindústria de parboilização ajustar parâmetros operacionais de processamento às características da matéria prima, como o comportamento nas operações hidrotérmicas, relativo às combinações binárias de temperatura e de tempo de encharcamento, ou mesmo da autoclavagem. Conhecê-las é fundamental para o êxito do processo, uma vez que as isotermas de hidratação dependem de vários fatores, sendo diferentes para cada cultivar e cada combinação binária (FAGUNDES et al., 2001).

O objetivo deste trabalho é investigar a influência das variáveis de encharcamento (temperatura e tempo de imersão na água) sobre as características de qualidade física,

química, tecnológica e sensorial do arroz parboilizado de duas cultivares de terras altas (BRS Primavera e BRS Sertaneja).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO E CONSUMO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)

O arroz ocupa uma posição de destaque sobre a produção mundial de grãos, sendo o segundo cereal mais cultivado no mundo. Cerca de 90% do arroz no mundo é produzido e consumido na Ásia (EMBRAPA, 2005b). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil ocupa a décima posição no ranking mundial de produção de arroz e devido ao bom desempenho de produtividade nas principais regiões produtoras, o Brasil deverá colher 12,5 milhões de t de arroz na safra 2008/09 (Tabela 1), mas a produção está concentrada principalmente na região Sul, Nordeste e Centro-Oeste. A região Sul é responsável por 71,27% da produção nacional, tendo destaque o Estado do Rio Grande do Sul, responsável por 86,71% da produção dessa região e 61,80% da produção do país. A região Nordeste responde por 9,44% da produção brasileira, destacando-se o Estado do Maranhão, responsável por 56,41% da produção dessa região e 5,32% da produção brasileira. A região Centro-Oeste responde por 9,22% da produção brasileira, destacando-se o Estado do Mato Grosso, com 67,61% da produção dessa regional e 6,23% da produção do país (CONAB, 2009).

Tabela 1. Estimativa da produção anual e consumo de arroz no Brasil (em 1000 t) entre as safras 2003/2004 e 2008/2009

SAFRA	PRODUÇÃO	CONSUMO
2003/04	12.960,4	12.660,0
2004/05	13.355,2	12.900,0
2005/06	11.971,7	13.000,0
2006/07	11.315,9	12.930,0
2007/08	12.059,6	12.800,0
2008/09	12.519,0	12.950,0

Fonte: CONAB (2009), com adaptações

O consumo de arroz no Brasil varia de 12-13.000.000 de t, tomando-se por base o grão em casca (Tabela 1). Atualmente, o consumo está estagnado, apenas acompanhando o crescimento populacional. O consumidor de arroz vem tornando-se cada vez mais atento e exigente em relação à qualidade do arroz disponível no mercado. As preferências na forma de consumo são bastante diversificadas, variando de país para país ou, até mesmo, em função de usos e costumes regionais ou locais, e a adequação do produto as necessidades do mercado

proporciona maior competitividade e rentabilidade à cultura (VIEIRA; CARVALHO, 1999). Para a população brasileira, o arroz branco "in natura", que passa por um processo padrão de beneficiamento para a retirada da casca e polimento (brunido), ainda é o principal produto consumido (EMBRAPA, 2005a). Em ordem decrescente, as formas de arroz mais consumidas no Brasil são: o polido ou branco (54%), o parboilizado (12%) e o integral (3,5%) (CAVALHEIRO; MISSIO; GULARTE, 2007). Para os produtores e consumidores, os principais critérios de qualidade do arroz parboilizado são: ótima renda no benefício; máximo rendimento de inteiros, insignificantes fissuras internas; grãos uniformes e soltos após a cocção; desejáveis cor e aroma e elevado rendimento de cocção (MIAH et al., 2002a).

2.2 SISTEMAS DE CULTIVO

No Brasil existem dois sistemas básicos de cultivo: o de várzeas, termo que define o arroz irrigado e o arroz de terras altas ou sequeiro. No final da década de 60, cerca de 80% do arroz produzido no país originava-se do sistema de sequeiro, áreas não irrigadas. Em meados da década de 70, a quantidade produzida neste sistema caiu para aproximadamente 75% da produção nacional, pois o arroz de sequeiro não possuía qualidade de grãos compatível com as exigências de mercado. Este fato contribuiu para que muitas regiões e produtores perdessem a vantagem comparativa para produzir, levando-os ao abandono ou redução do plantio. No início dos anos 80, a relação entre a produção de sequeiro e irrigado era de 1:3, ou seja, o domínio do arroz irrigado começou a vigorar. Os dados da década de 90 sugerem um panorama de estabilidade em relação ao arroz irrigado e um processo de transição no arroz de terras altas (Tabela 2) (FERREIRA; DEL VILLAR, 2004; FERREIRA et al., 2005).

Tabela 2. Taxa média de crescimento anual (%) da área, da produção e da produtividade do arroz de terras altas, irrigado e total, no Brasil, período entre 1991 e 2001

	Taxa média de crescimento anual (%)		
	Irrigado	**Terras altas**	**Total**
Área	- 0,5	- 4,2	- 2,7
Produção	1,1	0,03	0,4
Produtividade	1,5	4,1	3,6

Fonte: FERREIRA et al. (2005), com adaptações

A taxa de crescimento do arroz irrigado, na década de 90, foi de - 0,5%, 1,1% e 1,5%, respectivamente, para a área, produção e produtividade. No mesmo período, o arroz de terras

altas apresentou as seguintes taxas, - 4,2%, 0,03% e 4,1%. Portanto, a área plantada no Brasil apresentou tendência de redução (- 2,7%), enquanto a produtividade cresceu (3,6%). Isso compensou a queda de área e a produção praticamente não se alterou (0,4%). Nota-se que a produtividade do arroz irrigado apresentou pequena variação positiva, enquanto a taxa do arroz de terras altas foi bem maior (FERREIRA et al., 2005). Dentre os vários fatores que causaram a recuperação desse prestígio indica-se o desenvolvimento de cultivares mais produtivas, resistentes às pragas e doenças, mais adaptadas aos novos sistemas agrícolas do cerrado brasileiro, que proporcionam menos riscos para os produtores, e com qualidade de grãos de boa aceitação comercial (FERREIRA; MÉNDEZ DEL VILLAR; GAMEIRO, 2005).

2.2.1 Ecossistema de várzeas

O cultivo do arroz irrigado esta presente em todas as regiões brasileiras, destacando-se a região Sul, nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Estes Estados ocupam cerca de 37% da área cultivada com arroz e participam com mais de 60% da produção nacional. A produção de arroz irrigado não é significativa nas demais regiões (EMBRAPA, 2005a; FERREIRA et al., 2005).

A orizicultura irrigada é responsável por 65% da produção nacional, porém, com baixa rentabilidade, em função do alto custo de produção e de distorções de mercado devido à pequena variação de sistemas produtivos, que utilizam modernas técnicas de produção, permitindo elevada produtividade e grãos com características mais uniformes e de melhor aceitação no mercado (FERREIRA et al., 2005).

De maneira geral, os solos apropriados para o cultivo de arroz nas várzeas caracterizam-se por serem hidromórficos e apresentarem topografias planas, sendo, consequentemente, suscetíveis a inundação nos períodos de chuva. Nesse ecossistema, a cultura do arroz pode ser encontrada sob cultivo em várzeas sistematizadas, com controle da lâmina de água, como também em várzeas úmidas, não sistematizadas, irrigadas pela água da chuva ou pela elevação do lençol freático (GUIMARÃES; SANT'ANA, 1999). Há muita restrição à expansão do sistema de cultivo de arroz irrigado por inundação, em função de impactos ambientais negativos que podem advir de alterações no ecossistema, principalmente pelo uso de agroquímicos, potencialmente geradores de poluição ambiental (EBERHARDT; NOLDIN, 2003).

2.2.2 Ecossistema de terras altas

A cultura do arroz de sequeiro desempenhou um papel importante no desbravamento

do cerrado, e justamente por isso foi, por muito tempo, conduzida com baixa tecnologia e, consequentemente, com baixa produtividade. Novas cultivares foram geradas visando sobretudo a rusticidade e a resistência a doenças. Apesar deste esforço, uma outra cultura está surgindo, a do chamado "arroz de terras altas" (BRESEGHELLO; STONE, 1998). Essa expressão vem sendo utilizada pela EMBRAPA em substituição ao "arroz de sequeiro", com o intuito de resgatar a credibilidade do arroz deste sistema, abalada em função da orizicultura ser usada como cultura desbravadora do cerrado (FERREIRA; YOKOYAMA, 1999).

Atualmente, a cultura do arroz de terras altas encontra condições favoráveis graças às novas cultivares, que têm boa qualidade de grãos e classificação comercial igual ao produto procedente do sul do Brasil. Além disso, apresenta maior competitividade em relação ao arroz irrigado do Rio Grande do Sul, devido à relação custo de produção/ preço ao consumidor e as distâncias médias das zonas de produção às zonas consumidoras (BRESEGHELLO; STONE, 1998). A qualidade dos grãos é o aspecto em que o arroz de terras altas tem apresentado os maiores avanços, via melhoramento genético, sendo expressa pelo rendimento de inteiros; classe, como, por exemplo, longo, longo fino; tipo, observando-se a frequência de defeitos; e qualidade culinária, destacando-se a maciez, pegajosidade e sabor, entre outros atributos (MORAIS et al., 2004).

A cultura do arroz de terras altas depende diretamente da quantidade e, principalmente, da distribuição da precipitação pluvial. Portanto para diminuir os efeitos negativos decorrentes da deficiência hídrica, torna-se necessário plantar em períodos nos quais a fase de florescimento-enchimento de grãos tenha probabilidade de coincidir com a época de maior precipitação pluvial (BRESEGHELLO; STONE, 1998).

2.2.2.1 Sistema sem irrigação

A região Centro-Oeste é a mais importante no cultivo de arroz de sequeiro tradicional mecanizado. O sistema tradicional mecanizado de cultivo do arroz de sequeiro vem sendo utilizado desde o início da década de 70, quando as políticas governamentais, através de créditos diferenciados e assistência técnica, estimularam a utilização dos cerrados para a produção de alimentos. Nessa região, o sistema de produção do arroz de sequeiro caracteriza-se pela utilização de máquinas em todas as operações agrícolas. Portanto, a utilização de mão de obra é baixa, mas requer especialização. As características básicas desse sistema podem ser descritas como: baixa utilização de insumos; preparo do solo mal feito ou inadequado (uso intensivo de grades aradoras); mau manejo da cultura e utilização de cultivares não adaptadas e de baixo potencial produtivo. Como a condição básica para a existência desse sistema é a

disponibilidade de água por meio da chuva, a semeadura é feita no período de verão, entre os meses de outubro e dezembro (GUIMARÃES et al., 2006).

2.2.2.2 Sistema com irrigação suplementar por aspersão

Esse sistema de produção tem maior ocorrência nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, São Paulo e Mato Grosso do Sul. A diferença básica entre esse sistema e o anterior, nas suas diversas variantes está na capacidade do agricultor em efetuar irrigação suplementar em suas lavouras sempre que necessário, eliminando assim os riscos decorrentes da falta ou má distribuição das chuvas (GUIMARÃES; SANT'ANA, 1999). O sistema com irrigação suplementar proporciona maior estabilidade da produção e segurança para aplicação de investimentos e insumos, podendo ainda aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos grãos (CRUSCIOL et al., 2000). A literatura disponível sobre o assunto indica aumentos de produtividade da ordem de 70% quando, no arroz plantado sob condições de cerrado, é utilizado irrigação suplementar. Esse sistema caracteriza-se pelo intenso uso do solo, com rotação de culturas e elevado uso de tecnologia. Os plantios feitos na estação chuvosa (outubro-maio) fazem uso da irrigação de forma suplementar (GUIMARÃES et al., 2006).

2.3 CARACTERÍSTICAS DE ALGUMAS CULTIVARES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS

As novas cultivares do sistema de cultivo de arroz de terras altas, do tipo de planta moderna (com rendimento potencial de doze a quinze toneladas por hectare) e grãos finos e longos e finos são, em sua maioria, resultantes do cruzamento entre os grupos Japônica tropical, de sequeiro tradicional, e o grupo Índica, de arroz irrigado. As dimensões do grão e as características do amido, tais como o teor de amilose e temperatura de gelatinização, que determinam as características de cocção, são bastante similares às do arroz irrigado (FERREIRA; PINHEIRO, 2003). É importante esclarecer que não existe a cultivar ideal, e sim cultivares com qualidades que devem ser exploradas corretamente para a obtenção de melhores resultados (BRESEGHELLO; CASTRO; MORAIS, 1998).

As cultivares de arroz de terras altas têm conseguido atender, de forma parcial, as demandas agronômicas e de qualidade dos grãos, contribuindo para que a cultura se torne mais competitiva em relação ao arroz irrigado dos Estados do Sul (FERREIRA et al., 2005). Já foram lançadas, como resultado desses esforços tecnológicos, várias cultivares, entre elas

podem-se citar a Caiapó, a Canastra, a Carajás, a Maravilha, a BRS Primavera, a BRS Bonança, a BRS Sertaneja, a BRS Talento, a BRS Pepita, a BRS Monarca, a BRS Soberana e a BRS Colosso (MORAIS et al., 2004).

2.3.1 BRS Primavera e BRS Sertaneja

A cv. BRS Primavera é uma cultivar precoce, com grãos do tipo agulhinha (classe longo fino), sendo indicada para plantio em áreas pouco ou moderadamente férteis, devido à sua tendência ao acamamento em condições de alta fertilidade. A cv. BRS Primavera merece atenção especial por ter se tornado referência de qualidade, devido ao seu teor de amilose intermediário, atributo que lhe confere grãos macios e soltos (bom comportamento de panela) após o cozimento. Pode ser consumida logo após a colheita, uma vez que não exige tempo de "prateleira". Isto significa dizer que essa cultivar expressa qualidade culinária logo após a colheita, não necessitando de tempo de armazenamento pós-colheita (Tabela 3). Trata-se de uma cultivar produtiva e com ampla adaptação a diferentes sistemas agrícolas (LANNA; FERREIRA; BARRIGOSSI, 2003). Para que se obtenha uma boa porcentagem de grãos inteiros no beneficiamento, deve ser feita uma colheita com a umidade dos grãos entre 20% e 24% e posterior secagem natural até os grãos atingirem 13% de umidade (BRESEGHELLO; CASTRO; MORAIS, 1998).

Tabela 3. Características dos grãos das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja

Características	**BRS Primavera**	**BRS Sertaneja**
Produção média de grãos, em kg/ha[1]	3649	3753
Comprimento da cariopse (cm)	0,75	0,77
Largura da cariopse (cm)	0,21	0,22
Espessura da cariopse (cm)	0,16	0,18
Forma da cariopse	Alongada	Alongada
Cor da cariopse	Branca	Branca
Rendimento de inteiros (%)	51,4 (Médio/instável)	57,0 (Alto/estável)
Teor de amilose	Intermediária	Intermediária
Temperatura de gelatinização	Intermediária	Intermediária
Classe	Longo fino	Longo fino
Pegajosidade dos grãos cozidos aos 30 dias após a colheita (Testes de panela)	Solto	Ligeiramente Pegajoso
Pegajosidade dos grãos cozidos aos 60 dias após a colheita (Testes de panela)	Solto	Solto

Fonte: BONOW et al. (2007); BRESEGHELLO et al. (2006); CASTRO et al. (1999); FONSECA; CASTRO; MORAIS (2005); e FONSECA et al. (2007)

[1]Avaliação realizada nos anos agrícolas de 2000/2001 a 2004/2005

A cv. BRS Sertaneja é uma cultivar precoce, de grãos longos e finos, caracterizada por plantas vigorosas, moderadamente perfilhadoras, porte médio, folhas largas, e com mediana resistência ao acamamento (LOPES, 2007). Destaca-se pelo rendimento elevado e estável de grãos inteiros. Quanto às propriedades de cocção, ou "qualidade de panela", a BRS Sertaneja é muito similar à BRS Primavera, ou seja, oferece excelente qualidade. Aos trinta dias após a colheita, os grãos da BRS Sertaneja já se apresentam razoavelmente soltos após o cozimento e, aos sessenta dias, o produto apresenta-se plenamente solto, devido a modificações físico-química que ocorreram com o grão durante este período (Tabela 3). Portanto, trata-se de um produto que não necessita de longo tempo de estocagem (no máximo sessenta dias) antes do beneficiamento e comercialização (BRESEGHELLO et al., 2006).

2.4 CONSTITUIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO ARROZ

O grão de arroz (Figura 1) consiste da cariopse e de uma camada protetora, a casca. A casca, composta de duas folhas modificadas (pálea e lema), das glumelas e da raquila que correspondem a cerca de 20% do peso do grão. A cariopse é formada pelo envoltório e pelo endosperma. O envoltório é composto por diferentes camadas, sendo as mais externas o pericarpo, o tegumento, a nucela e a capa de aleurona, que representam 5-8% da massa do arroz integral. O endosperma é formado pela capa de aleurona e pelo endosperma amiláceo. A camada de aleurona apresenta duas estruturas de armazenamento proeminentes, os corpos protéicos e os lipídicos. O embrião ou gérmen está localizado no lado ventral na base do grão, é rico em proteínas e lipídios, e representa 2-3% da massa do arroz integral. O endosperma forma a maior parte do grão (89-94% da massa do arroz integral) e consiste de células ricas em grânulos de amido e com alguns corpos protéicos (JULIANO; BECHTEL, 1985).

Durante o beneficiamento do arroz, as camadas externas e o gérmen são quase integralmente retirados pelo polimento dos grãos, originando o farelo e o arroz polido (BASSINELLO; CASTRO, 2004).

No Brasil, a classificação do arroz está regulamentada pela Portaria nº 269 de 17/11/1988 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), como apresentada na Tabela 4.

Os subgrupos são enquadrados em classes, com base nas dimensões dos grãos inteiros após o descascamento e o polimento. As quatro primeiras classes referem-se aos produtos longo fino, longo, médio e curto. Adicionalmente, é considerada uma quinta classe, designada

como arroz misturado, destinada à classificação do produto que não se enquadre em nenhuma das classes anteriores e apresente-se constituído pela mistura de duas ou mais delas, sem predominância (80%) de nenhuma (VIEIRA, 2004).

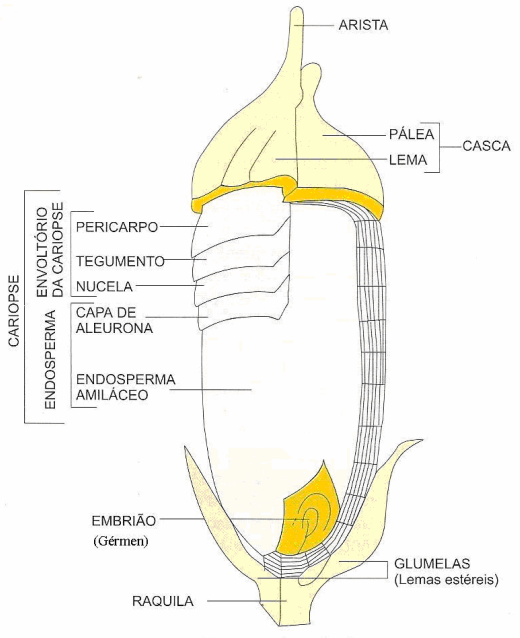


Figura 1. Estrutura do grão de arroz
Fonte: VIEIRA; CARVALHO (1999), com adaptação

Tabela 4. Classificação do arroz em relação ao grupo e subgrupo

GRUPO	**SUBGRUPO**
Arroz em casca	natural parboilizado
Arroz beneficiado	integral parboilizado parboilizado integral polido

Fonte: BRASIL (1988)

Independente do grupo, subgrupo ou classe a que pertença, o arroz destinado à comercialização como grão para consumo é classificado em cinco tipos, expressos numericamente, e definidos de acordo com o percentual de ocorrência de defeitos, de grãos quebrados e quirera. Os defeitos, conforme sua importância e consequências no produto para consumo, são considerados como defeitos graves (matérias estranhas, impurezas, grãos mofados, ardidos, pretos e não gelatinizados) e defeitos gerais (grãos danificados, manchados, picados, amarelos, rajados, gessados e não parboilizados), sendo alguns desses defeitos

comuns a todos os subgrupos e outros específicos (VIEIRA; CARVALHO, 1999).

Arroz integral ou esbramado é o produto do qual somente se retira a casca durante o beneficiamento, mantendo-se intacto o gérmen e as camadas interna e externa do grão, sendo obtido a partir do arroz em casca natural (BRASIL, 1988). Preferido pelos adeptos da alimentação natural, o arroz integral apresenta vantagens nutritivas em relação ao polido, pois em sua composição encontram-se índices mais elevados de proteínas, lipídios, fibras, sais minerais como fósforo, ferro e potássio e vitaminas como a tiamina, riboflavina e niacina. Este arroz esta mais sujeito a rancificação pela presença de ácidos graxos insaturados e enzimas lipolíticas (na camada do farelo) (BASSINELLO; CASTRO, 2004).

O arroz polido é obtido a partir do polimento do grão integral, por meio de máquinas que provocam o atrito dos grãos, removendo o gérmen e proporções variáveis das camadas externas do endosperma (VIEIRA; CARVALHO, 1999).

A parboilização tem se tornado um dos mais importantes processos de beneficiamento do arroz (QUEIROZ; KOETZ, 1997). O arroz é submetido, antes do descascamento e polimento, a um tratamento hidrotérmico (pré-cozimento), denominado parboilização, que mantém íntegras as propriedades nutritivas do grão (amido, vitaminas hidrossolúveis e sais minerais). Os grãos parboilizados (polidos) podem, entretanto, ter melhor valor nutritivo que os polidos tradicionais, devido à migração, especialmente de sais minerais, da película para o interior do endosperma, que ocorre durante o processo de parboilização. Parboilizado integral é o produto que recebe o tratamento hidrotérmico, porém somente sofre descascamento, não sendo retirada a película que dá origem ao farelo (BASSINELLO; CASTRO, 2004).

2.5 PARBOILIZAÇÃO

2.5.1 Origem e importância

A origem, dos hoje modernos processos de parboilização praticados no mundo, perde-se no tempo. Sabe-se que ocorreu há centenas de anos, tendo surgido e evoluído em países como Birmânia, Índia, Paquistão e em regiões da África Equatorial. Pode-se dizer que é recente sua introdução no mundo ocidental, pois somente a partir de 1940 entrou nos Estados Unidos da América (EUA) e Itália, difundindo-se depois por outros países. No Brasil, essa tecnologia foi introduzida na década de 1950, com a instalação de uma planta industrial no Rio Grande do Sul, que se baseou numa patente norte-americana, denominada Malek, dando origem à primeira marca, conhecida como arroz Malekizado e, também, como amarelão,

amarelo e macerado (AMATO; ELIAS, 2005; AMATO; SILVEIRA FILHO, 1995; BELLO; BAEZA; TOLABA, 2006).

A palavra parboilizado tem origem na adaptação do termo inglês *parboiled*, proveniente da aglutinação de *partial* e *boiled*, ou seja, "parcialmente fervido" (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002.).

Aproximadamente 50% do arroz em casca produzido no mundo é parboilizado. Na Índia e Bangladesh, respectivamente, cerca de 60% e 90% do total de arroz consumido é parboilizado (CHOUDHURY, 1991).

Na parboilização a água e o calor são os dois elementos principais no processo, portanto, a qualidade, a quantidade, a temperatura da água e a quantidade de calor são parâmetros essenciais para a obtenção de um produto de alta qualidade (FONTANA, 1986).

2.5.2 Operações unitárias principais

A parboilização pode ser dividida em quatro etapas principais: 1) Limpeza; 2) Encharcamento; 3) Gelatinização ou Vaporização e 4) Secagem.

2.5.2.1 Limpeza

A pré-limpeza, assim como a limpeza do arroz em casca, é realizada por máquinas de ar e peneiras (Figura 2), que eliminam as impurezas e matérias estranhas, segundo as diferentes formas, tamanhos e pesos volumétricos que possam ter (AMATO; ELIAS, 2005). Possui, ainda, um sistema de ventilação que aspira, ou sopra, as impurezas mais leves que a semente (BRAGANTINI, 1999).

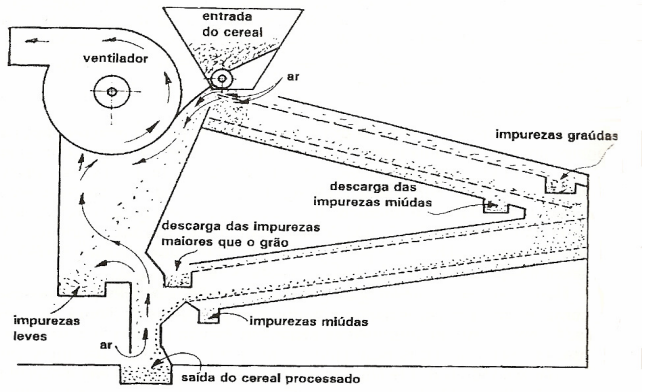


Figura 2. Máquina de ar e peneiras destinada à limpeza dos grãos de arroz
Fonte: BRAGANTINI (1999)

Outro tratamento opcional, após a limpeza mecânica, é a lavagem antes da maceração, geralmente com água fria, chamada de flotação em água ou separação hidrogravimétrica. A lavagem prévia é empregada nos procedimentos modernos de parboilização e cumpre a finalidade de extrair os resíduos de impurezas pesadas (pedras e areias) ou as impurezas leves (palhas), e os grãos defeituosos (gessados, chochos, imaturos, etc) que são suficientemente leves para flutuar (AMATO; ELIAS, 2005). Quando é usada água quente para a lavagem preliminar, o tempo de encharcamento é diminuído, em razão do aquecimento prévio a que os grãos são submetidos. Além disso, a água quente solubiliza mais facilmente os constituintes alterados, presentes em partidas armazenadas em condições impróprias (AMATO; SILVEIRA FILHO, 1991).

2.5.2.2 Encharcamento

O arroz em casca é um material higroscópico, podendo absorver umidade nas formas de vapor e de líquido, o que causa seu entumescimento. O processo simultâneo de absorção de água e entumescimento é conhecido como encharcamento ou embebição (DUVAL, 1980 apud MARTINEZ, 1984). A Figura 3 ilustra um tanque de encharcamento.

Figura 3. Tanques de encharcamento do arroz em casca
Fonte: DARABAS (2009)

O objetivo da operação de encharcamento na parboilização é a preparação do grão para a gelatinização. A meta é obter uma rápida absorção de água, com o máximo de uniformidade no centro do grão, até o nível de 30% de umidade, prevenindo, tanto quanto possível, a abertura da casca, a fermentação e os processos enzimáticos, com suas

consequências desfavoráveis no sabor, cor e odor do produto (AMATO; BITTENCOURT; GUINDANI, 1989; AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002; GARIBOLDI, 1972; WIMBERLY, 1983). A migração da água até o centro, transporta os constituintes hidrossolúveis concentrados nas camadas mais externas do grão, como vitaminas e sais minerais (AMATO; SILVEIRA FILHO, 1991).

O encharcamento pode ser causado por absorção molecular, absorção capilar e hidratação. Durante a maceração do arroz em casca as primeiras moléculas de água aderem à superfície da casca e a seguir penetram através dos microporos desta para o interior do grão. Por absorção capilar, parte das moléculas de água são absorvidas pelos grânulos de amido, enquanto outras ocupam os espaços intragranulares. Experimentalmente é difícil determinar a contribuição de cada um destes mecanismos para o encharcamento (ALI; OJHA, 1976 apud MARTINEZ, 1984).

A difusão de água para o interior do grão ocorre devido ao gradiente de umidade entre a superfície e o centro (BECKER, 1960 apud SRIDHAR; MANOHAR, 2003), ou seja, é regulada pelo gradiente existente entre a pressão de vapor da água de maceração e a pressão de vapor da água presente no grão. No início, a pressão de vapor da água do arroz em casca é praticamente zero, provocando uma rápida translocação de água do meio aquoso para o interior do grão. A água absorvida fica imobilizada durante a gelatinização como resultado da difusão (GARIBOLDI, 1972).

Para obtenção de uma boa hidratação, a absorção de água pode ser aumentada, quer por meio do aumento do tempo de imersão ou pela elevação da temperatura de imersão. Tem o tempo de hidratação. Dentro de certos limites, a quantidade de líquido absorvido por unidade de tempo é proporcional à temperatura da água. Estudos demonstram que a temperatura ideal (60 - 70 °C) é aquela pouco abaixo da temperatura de gelatinização (própria de cada cultivar), pois nestas condições, aumenta a velocidade de absorção sem que aumente a quantidade de água absorvida. Quando a temperatura da água é superior à da gelatinização do amido, o tempo de absorção é reduzido, mas em troca o grão absorve mais água do que a necessária para umedecer sua parte interior, havendo aumento do volume do endosperma, tendência a uma indesejável abertura da casca e cocção do arroz. O mero fato de que a casca se parta já constitui um grave inconveniente, visto que a água lava e arrasta muitas das substâncias contidas no grão (AMATO; ELIAS, 2005; GARIBOLDI, 1974; SRIDHAR; MANOHAR, 2003).

Para definir o tempo ideal de maceração, devem ser levadas em conta as características de hidratação do arroz, que dependem da cultivar, das condições de cultivo e

do tempo de armazenamento (AMATO; BITTENCOURT; GUINDANI, 1989). Kanemitsu e Miyagawa (1974) determinaram o calor de entumescimento do arroz em casca como 8 J g^{-1} a 30 °C. Este calor é consequência da formação de pontes de hidrogênio entre as moléculas de água e as do amido, e depende da variedade de arroz e do tempo de armazenamento. Para o arroz recém-colhido a evolução de calor é rápida, enquanto que para o arroz armazenado por longo tempo, o calor evolui lentamente, indicando que este requer maiores tempos de maceração do que o arroz recém colhido.

De acordo com Ali e Pandya (1974), a dependência direta entre a taxa de maceração e temperatura pode ser explicada por: a) o aumento da temperatura causa expansão do ar nos poros facilitando a entrada de água; b) com um aumento da temperatura de maceração as ligações de hidrogênio no grânulo de amido se rompem, provocando entumescimento; c) a absorção de água pelo amido é um processo de difusão e depende do coeficiente de difusão, que aumenta com a temperatura.

A umidade inicial é importante na etapa de encharcamento do arroz parboilizado, pois interfere na integridade física dos grãos. Se estes estiverem com umidade inicial abaixo de 13% haverá má distribuição da água no seu interior, dificultando a hidratação homogênea com consequente aumento de grãos quebrados ao término do processo de parboilização (HELBIG et al., 2007).

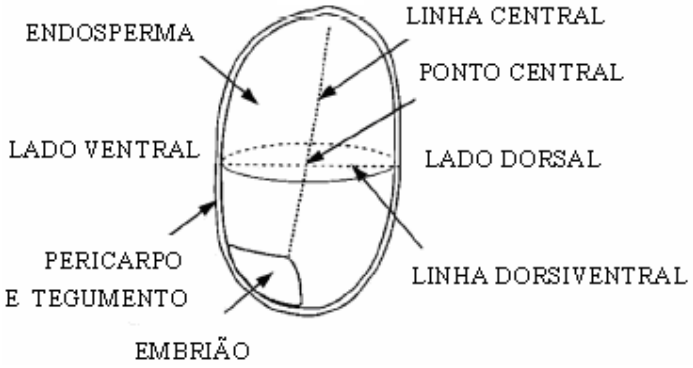
As condições de encharcamento são fatores determinantes na qualidade de cocção do arroz. Se a absorção de água durante a maceração é insuficiente, o amido na parte central do grão não gelatiniza completamente e incha, resultando em grãos cozidos com textura rígida (KOIDE; TAKKO; NISHIYAMA, 2001; OKUNO; ADACHI, 1992; SEKI; KAINUMA, 1982).

A rápida taxa de absorção de água no início do encharcamento deve-se ao alto gradiente de pressão de vapor, e é favorecida por três fatores: a) a casca absorve água muito rapidamente e começa a saturar-se; b) o espaço entre a casca e o grão começa a ser preenchido com água logo após o início da maceração; e c) a ação capilar na superfície do pericarpo causa rápida absorção (ALI; OJHA, 1976 apud MARTINEZ, 1984).

O esquema da estrutura morfológica do grão de arroz e a sequência da penetração de água durante o encharcamento a temperatura ambiente do arroz integral de duas cultivares (Yamadanishiki e Koshihikari, ambas do grupo Japônica), utilizando ressonância magnética de alta resolução tridimensional (3D-MR), pode ser observada nas Figuras 4a e b. O embrião absorveu água e inchou em ambas cultivares. A penetração de água no interior do endosperma foi inibida pelo embrião, pericarpo e tegumento, resultando em menor penetração de água

quando comparado ao encharcamento do arroz polido. A infiltração de água iniciou-se no embrião a partir da superfície do grão (Figura 4b).

(a)



(b)

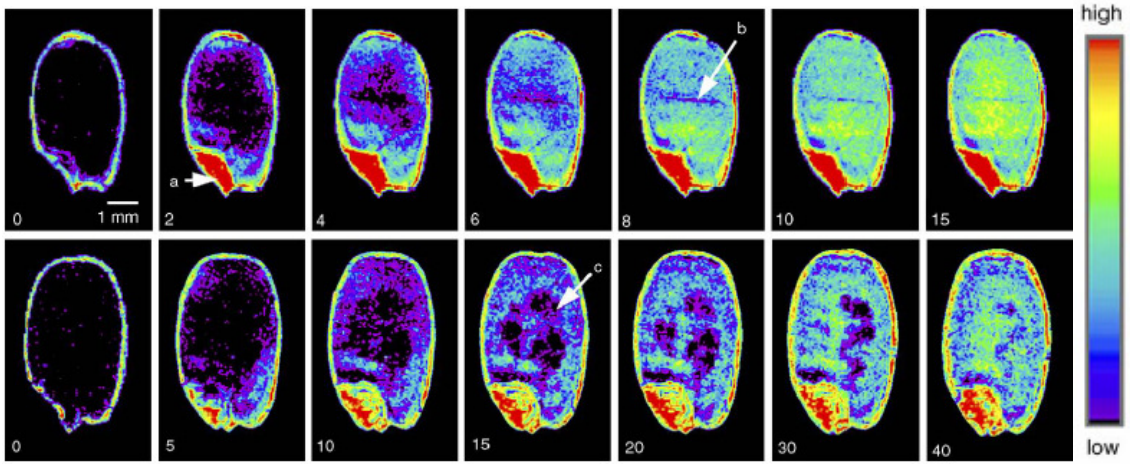


Figura 4. Estrutura morfológica do grão de arroz (a); Imagens de ressonância magnética de grãos de arroz integral durante embebição (b); na parte superior está a cv. Koshihikari e na parte inferior a cv. Yamadanishiki. As setas brancas identificam-se as seguintes estruturas: a, embrião, b, fissura transversal, c, centro branco. Os números nas imagens indicam o tempo de encharcamento (h).
Fonte: HORIGANE et al. (2006)

Fissuras na casca foram formadas entre 4 h e 6 h após a imersão dos grãos da cultivar Koshihikari, mas a água não migrou por meio dela, devido ao bloqueio destas aberturas pelas camadas periféricas do grão. Do mesmo modo, a penetração de água no centro do grão da cultivar Yamadanishiki não foi observada antes de 30 h, ou seja, foi substancialmente mais lenta do que na cultivar Koshihikari. O bloqueio na abertura de fissuras na linha dorsiventral pelas camadas periféricas inibiram a emissão de ar a partir do centro branco, bem como a penetração de água para o interior, e isso atrasou a penetração da água no interior do grão,

pois a água não pôde mover-se por capilaridade com a abertura fechada. Concluiu-se neste estudo que, é muito mais lenta a absorção da água pelos grãos de arroz integral do que pelos grãos de arroz polido, e que a taxa de absorção de água da cultivar Yamadanishiki é muito mais lenta do que na cultivar Koshihikari. A distribuição final da umidade nos grãos de arroz integral em ambas cultivares foi muito mais homogênea do que no arroz polido, apesar da água tender a ser mantida em torno do ponto central, do que nas outras partes do endosperma (HORIGANE et al., 2006).

A perda por lixiviação da tiamina é considerada mínima, pois o principal efeito do encharcamento é a difusão desta, do envoltório da cariopse (pericarpo, tegumento e nucela) e do gérmen para o interior do grão. Já a difusão de proteínas é inviabilizada devido seus altos pesos moleculares, ao passo que a difusão das gorduras é prejudicada pela imiscibilidade destas em água (AMATO; BITTENCOURT; GUINDANI, 1989).

Atualmente, na Índia, a parboilização é normalmente realizada por imersão em água do arroz em casca, e a temperaturas entre 70 - 75 °C, por cerca de quatro horas, inicialmente pelo aquecimento da água a 80 - 85 °C (SRIDHAR; MANOHAR, 2003).

Miah et al. (2002a) estudaram o efeito do tempo de encharcamento a quente na qualidade do arroz parboilizado. A imersão em água quente aumenta a taxa de difusão de água para o interior do grão por movimento capilar da água da superfície para o centro e por absorção molecular e hidratação. O volume hidrodinâmico do amido aumenta devido ao irreversível inchaço durante a embebição de água quente e posterior vaporização, o que pode provocar a divisão da casca. Nas amostras submetidas a um período adequado de embebição, a água quente penetra por capilaridade nos espaços vazios do endosperma, o que provoca uma reorientação das moléculas de amilose e amilopectina, rápida hidratação dos grânulos, e consequentemente, selam-se as fissuras internas, tornando mais difícil a quebra do grão durante o polimento. Portanto, a introdução de água quente por um período de tempo adequado melhora a qualidade do arroz parboilizado e aumenta a eficiência do processo.

2.5.2.3 Gelatinização ou Vaporização

A maceração e o cozimento do arroz são operações que de certo modo se complementam. O cozimento com vapor produz mudanças físicas e químicas no arroz e eleva o conteúdo de umidade (GARIBOLDI, 1972).

O objetivo da gelatinização é a "soldagem" dos grãos de arroz que estariam propícios a quebra durante a operação de beneficiamento (no momento da retirada da casca e do farelo durante o processamento do arroz polido tradicional). A diminuição da quantidade de grãos

quebrados é responsável pelo grande diferencial econômico do arroz parboilizado (NITZKE; BIEDRZYCKI, 2004). Sob o ponto de vista nutricional, a gelatinização é importante, pois, permite a fixação dos nutrientes transferidos no encharcamento, como vitaminas e sais minerais solúveis em água. Quase todos os glóbulos de lipídios presentes nas células do aleurona e do gérmen, são destruídos, ficando dispersos no endosperma amiláceo da cariopse. O mesmo calor que promove a gelatinização do amido tem efeito positivo de pasteurização, eliminando microrganismos e inativando enzimas (lipase, peroxidase e lipoxigenase) (MARTINEZ, 1984; NITZKE; BIEDRZYCKI, 2004). É nesta operação que o grão altera a proporção de suas dimensões, facilitando o descascamento posterior (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002). Portanto, os objetivos do tratamento por vapor são conseguir melhor rendimento de engenho, melhores características de armazenamento, maior firmeza durante e após a cocção, e maior conteúdo de vitaminas e sais do que no arroz branco ou polido (AMATO; ELIAS, 2005).

Na gelatinização, o amido passa da forma cristalina para amorfa e, como resultado desta transformação, adquire uma estrutura poliédrica ordenada e consequentemente, o endosperma apresenta maior força para resistir ao polimento e, assim, o grão quebra menos e sofre menor perda nutricional. Assim, quanto maior a temperatura e o tempo de vaporização, mais rígido e escuro fica o arroz (SRIDHAR; MANOHAR, 2003).

Temperatura de gelatinização é aquela na qual os grânulos de amido incham rapidamente e perdem a birrefringência. Devido à diferença de energia requerida por grânulos de amido de diferentes tamanhos, tem-se uma “faixa de temperatura de gelatinização”, ao invés de simplesmente uma “temperatura de gelatinização”, como referido rotineiramente. Esta propriedade é característica de cada vegetal, permitindo a identificação da fonte pelo exame com microscópio de placa aquecida (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002).

A gelatinização pode ser realizada de acordo com duas rotas tecnológicas: por autoclave (Figura 5) ou por estufa cilíndrica rotativa, sendo que a primeira oferece mais vantagens do que a segunda (NITZKE; BIEDRZYCKI, 2004). Antes da Portaria n° 269, de outubro de 1988, só era considerado arroz parboilizado o produto processado por autoclave, denominando-se de “arroz macerado”, o produto obtido por estufa. A autoclave é um processo mais adequado à obtenção de produtos com melhor homogeneidade de gelatinização, principalmente devido à melhor distribuição do calor dentro do reator e pelo fato de utilizar vapor, melhorando assim a transferência de calor (AMATO; SILVEIRA FILHO, 1991). Além do mais permite uma menor drasticidade operacional, o que se traduz em maior efetividade na

inativação enzimática com menores danos térmicos, juntamente com as ações microbicida e inseticida do calor úmido, aumentando a conservabilidade do arroz parboilizado. Também a desestruturação organizacional da cariopse dificulta a reatividade dos nutrientes, inclusive os hidrossolúveis, aumentando as possibilidades de preservação de vitaminas e minerais, o que sempre representa ganhos nutricionais (AMATO; ELIAS, 2005).

Figura 5. Autoclave utilizada para gelatinização dos grãos de arroz em casca
Fonte: FERREIRA (2003)

O uso de vapor sob pressão se tornou muito popular nos Estados Unidos e na Europa. As principais vantagens do vapor é que o tempo para concluir todo o processo de parboilização é relativamente curto. No entanto, a aplicação de altas temperaturas, acima da temperatura de gelatinização, aumenta o custo dos equipamentos e reduz a qualidade do arroz em termos de hidratação e das características de cocção, maciez e cor amarela do grão. Como a gelatinização do amido em casca pode ser alcançada em temperaturas inferiores a 100 °C, pois a faixa de temperatura de gelatinização varia de 55 - 79 °C, vários autores têm desenvolvido alternativas envolvendo temperaturas mais baixa (BELLO; BAEZA; TOLABA, 2006).

No processo em estufa, uma chapa de aço transmite calor para o grão por condução, promovendo, ao mesmo tempo, a gelatinização e a secagem parcial do grão, o que não ocorre na autoclave, onde o grão entra e sai com a mesma umidade, praticamente. Para a gelatinização em autoclave recomenda-se que o produto não fique mais do que quinze minutos em contato com o calor, que não deve exceder temperaturas superiores a 110 ºC. A maioria das empresas modernas utiliza autoclaves contínuas com válvulas para o controle da pressão interna e alimentação do produto (NITZKE; BIEDRZYCKI, 2004).

O grau de gelatinização do amido é responsável por muitos dos atributos de arroz

parboilizado. A incompleta gelatinização resulta em grãos com centro branco, enquanto o endosperma completamente gelatinizado é translúcido (MARSHALL et al., 1993).

Miah et al. (2002b) concluíram que o grau de gelatinização do amido aumenta com a elevação do tempo de imersão quente. Quando a taxa de aquecimento e a concentração dos polímeros (amilose e amilopectina) são diminuídas, os valores de entalpia de gelatinização aumentam. A gelatinização na parboilização torna o grão mais forte, melhorando sua qualidade no polimento. Um fator importante para a preferência do consumidor é a aparência física, em particular, a translucidez, e essa característica é melhorada no tratamento com longo tempo de imersão a quente, que produz gelatinização do amido acima de 57%. A extensão do escurecimento, outro critério importante para o consumidor, também foi melhorada por meio do aumento do tempo de imersão a quente. Estes autores concluíram que cerca de 45 min de encharcamento a 80 °C, seguido de tratamento de vapor por cerca de dez minutos , a pressão de uma atmosfera, é necessário para melhorar a qualidade do arroz, e consequentemente, aumentar a preferência do consumidor.

2.5.2.4 Secagem

A secagem do arroz parboilizado (Figura 6) tem por objetivos reduzir o conteúdo de umidade até um nível ótimo para o beneficiamento e o subsequente armazenamento, e obter o máximo rendimento de engenho em termos de grãos inteiros (AMATO; ELIAS, 2005).

Figura 6. Vista parcial do sistema de secagem
Fonte: FERREIRA (2003)

Bandyopadhyay e Roy (2007) encontraram que a energia de ativação do processo de difusão, 7654 cal/mol para absorção de umidade e 7600 cal/mol para o processo de desorção (não diferentes estatisticamente), é independente da direção da translocação de água, ou seja, o processo de difusão é igual tanto para absorção como para desorção de água. O elevado teor de umidade do arroz parboilizado, comparado com o arroz recém colhido, e as transformações decorrentes do cozimento, que gelatiniza o amido, fazem com que o processo de secagem requerido seja diferente daquele usado para o arroz recém colhido (GARIBOLDI, 1974).

Na secagem do arroz parboilizado, deve ser dada grande importância às temperaturas empregadas para reduzir o conteúdo de umidade até valores menores do que 14%, que são utilizados no armazenamento. As fissuras, que ocasionam o rompimento do grão durante o beneficiamento no engenho, começam a aparecer quando o conteúdo de umidade é inferior a 16%. Para evitar este problema, o processo de secagem é dividido em três etapas: secagem primária, secagem secundária e revenido, temperagem ou condicionamento (AMATO; ELIAS, 2005).

A secagem primária é aquela que ocorre quando há uma alta concentração de umidade na superfície do grão, sendo enormemente facilitada a transferência de massa, ou seja, a retirada da água superficial. Em termos gerais, a umidade é rebaixada de aproximadamente 32% até cerca de 22% (em base úmida). A característica desta etapa é a rapidez com que o grão perde umidade. A secagem secundária tem como característica ser mais lenta, pois, o que comanda o processo é a migração da umidade até a periferia, para então ser efetuada a passagem para o ar de secagem. Essa operação é levada a cabo tendo como alvo o limite superior de 13% para o arroz em casca (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002). Revenido, temperagem ou condicionamento é uma operação intermediária às duas etapas de secagem e pode variar segundo a variedade do arroz em processamento e o rigor no controle do processo. É destinada a reequilibrar a água no interior do grão, pois após a primeira fase a parte externa fica mais rarefeita em água. O resultado é obtido deixando o grão estacionado, simplesmente, aproveitando a propriedade de tendência na homogeneização e distribuição de água, segundo a capacidade de retenção de cada uma das camadas. É necessária uma ótima combinação de tempo e temperatura na fase final para que a secagem seja lenta e prolongada, conseguindo um rendimento máximo de grãos inteiros. Nesse momento, o grão está em casca e o endosperma gelatinizado, fundido com o gérmen e a película; considerando-se estas duas frações como uma camada, sabe-se que a capacidade de absorção de água da casca é menor que a de seu conteúdo interno (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002; AMATO; ELIAS, 2005).

Portanto, a menor temperatura de secagem resulta em excelente qualidade de polimento, mas leva mais tempo. Rápida secagem ao sol ou com o ar quente provoca maior quebra durante o polimento (SRIDHAR; MANOHAR, 2003).

2.5.2.5 Beneficiamento

Para obtenção do produto beneficiado polido, o arroz é primeiramente submetido ao descascamento do grão. A casca representa, aproximadamente, entre 20 e 22% do peso total do grão. Em seguida, o grão descascado integral é brunido (polido), quando são retirados o embrião (total ou parcialmente) e a maior parte da película que recobre o grão. O subproduto resultante constitui o farelo, que representa cerca de 8% do grão em casca ou 10% do produto descascado (CASTRO et al., 1999).

O grau de polimento representa a extensão com que a camada do farelo é removida durante o polimento. O Serviço de Inspeção Federal de Grãos classifica as amostras em quatro níveis diferentes, segundo o grau de polimento (DOM – *Degree of Milling*): bem polido, razoavelmente bem polido, levemente polido e não polido. A classificação é feita por comparação visual com amostras padrões que representam cada nível (REID; SIEBENMORGEN; MAUROMOUSTAKOS, 1998). Em muitos casos, o arroz parboilizado apresenta baixo grau de polimento, retendo células aleurônicas e vestígios do perisperma, assim como o gérmen na extermidade. Muitas análises realizadas com o arroz parboilizado beneficiado demonstram a presença de substâncias graxas e de proteínas que somente podem proceder das camadas externas da cariopse que não tenham sido eliminadas por completo durante o polimento (AMATO; ELIAS, 2005).

Segundo Elias et al. (2006), o grão de arroz submetido ao processo de parboilização sofre uma reorganização interna. Amido sofre gelatinização, seguido por retrogradação, e as proteínas, que constituem a matriz protéica, onde estão contidos os grânulos de amido, sofrem desnaturação parcial. Com isso, ocorre expulsão intersticial do ar, e simultâneo rearranjo celular que resulta em massa compacta, transformando o grão mais resistente ao atrito e à abrasão, durante a operação de polimento.

2.5.3 Vantagens do arroz parboilizado

A parboilização provoca no cereal modificações físicas, químicas, tecnológicas e sensoriais, com vantagens econômicas, nutricionais e operacionais. As principais modificações no arroz observadas com a parboilização são: 1) o valor nutricional é maior do que no arroz branco (polido), porque parte do conteúdo de vitaminas e sais minerais (solúveis

em água) se difunde para o interior do endosperma durante a parboilização, e também porque a maior resistência à abrasão dos grãos parboilizados faz com que seja removido menor quantidade de farelo durante o polimento; 2) os grânulos de amido incrustados na matriz protéica, que constituem a massa endospérmica, incham e se expandem até preencherem os espaços intersticiais antes ocupados pelo ar, melhorando a estrutura, a resistência mecânica dos grãos, tornando fácil a remoção da casca durante o polimento; 3) o arroz se conserva por mais tempo quando comparados com o branco ou polido, devido à inativação parcial ou total de enzimas e também pelo fato do endosperma se tornar mais compacto, dificultando o ataque de insetos e a absorção de água do ambiente; 4) a secagem reduz o teor de água até um nível ótimo, independentemente do teor inicial que contenha o arroz antes do tratamento (BARBOSA et al., 2006; BASSINELLO; CASTRO, 2004).

Essas modificações proporcionam vantagens durante o processamento industrial, o armazenamento e a subsequente preparação culinária. Entre estas vantagens podem ser destacadas: 1) aumento no rendimento industrial com consequente aumento da qualidade, em função do menor índice de quebrados e maior resistência física dos grãos; 2) a estrutura do grão fica mais compacta e vítrea, independentemente do cultivar utilizado, eliminando os grãos gessados e o arroz se torna translúcido e brilhante; 3) os grãos se mantêm mais firmes e mais soltos ao cozinhar, e durante o cozimento os grãos absorvem maior quantidade de água e se expandem mais, além de absorver menor quantidade de gordura (BARBOSA et al., 2006; BASSINELLO; CASTRO, 2004; SUJATHA; RASHEED AHMAD; RAMA BHAT, 2004; TULEY, 1992).

Embora os efeitos da parboilização sejam benéficos, algumas transformações físico-químicas decorrentes do processamento são indesejáveis: o arroz parboilizado geralmente é mais difícil de cozer, tem cor amarelada e apresenta sabor e odor típico (MARTINEZ, 1984).

2.6 QUALIDADE DO ARROZ

A definição de um arroz como de boa ou má qualidade é grandemente influenciada pelas preferências e/ou necessidades do consumidor e, quando estas diferem, o produto pode ser julgado como bom e adequado por um grupo e totalmente inadequado por outro. De modo geral, a qualidade de grãos em arroz pode ser enfocada sob quatro aspectos: comportamento no beneficiamento; qualidade de cocção (maciez, pegajosidade, sabor, rendimento e tempo de cocção, absorção de água pelo grão, perda de sólidos solúveis etc);

valor nutritivo; e adequação aos padrões de comercialização do produto (VIEIRA, 2004; VIEIRA; CARVALHO, 1999).

O arroz parboilizado produzido no Brasil está situado em uma faixa de qualidade muito ampla, onde produtos de ótima qualidade industrial convivem com produtos de péssima qualidade, o que com certeza dificulta a ampliação do mercado consumidor (CARVALHO, 1998).

A técnica da parboilização tem sido melhorada por meio de pesquisas científicas e atividades industriais, resultando em produtos com características de sabor, odor e coloração menos acentuadas, sendo que algumas técnicas têm possibilitado a produção de arroz parboilizado com propriedades sensoriais semelhantes ao sistema convencional de grãos brancos polidos (ELIAS et al., 2006).

2.6.1 Características nutricionais do arroz

Sobre o ponto de vista nutricional, o arroz é constituído principalmente por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas (Tabela 5).

Tabela 5. Composição centesimal média (% na matéria seca) de arroz branco e parboilizado

Citação		Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Fibra bruta (%)	Amilose (%)	Carboidratos (%)
Dors, Pinto e Badiale-Furlong (2009)	B	12,1	0,7	10,2	-	0,5	6,3	-
	P	10,7-12,0	0,6-0,7	7,9-10,0	-	0,4-0,5	5,2-8,2	-
Heinemann et al. (2005)[1]	B	9,4-12,8	0,3-0,6	6,1-7,2	0,4-0,6	-	-	-
	P	9,6-11,6	0,5-0,6	5,7-6,7	0,3-0,5	-	-	-
Silva et al. (2003)[3]	B	-	0,3-0,7	7,2-10,0	-	-	-	-
	P	-	0,5-1,1	7,6-10,8	-	-	-	-
Storck, Silva e Comarella (2005)[2]	B	-	0,2-0,3	6,0-10,8	0,3-0,5	-	16,9-26,1	-
	P	-	0,5-0,8	7,0-11,4	0,4-1,1	-	12,3-23,6	-
USDA (2005)	B	11,9	0,6	5,9	1,4	-	-	80,1
	P	9,7	0,7	8,1	1,0	-	-	80,4
Vieira et al. (2006)[4]	B	13,8-13,9	0,7-0,8	9,4-10,2	0,4-0,4	0,4-0,4	16,1-17,5	-
	P	13,4-13,4	1,1-1,4	9,7-9,9	0,2-0,3	0,5-0,5	20,4-20,6	-

B: arroz branco; P: arroz parboilizado; [1] Vinte amostras comerciais cultivadas sob sistema irrigado [2] BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 416, IRGA 417, IRGA 418, IRGA 419, IRGA 420, IRGA 421, IAS 12-9 e Formosa; [3] BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 416, IRGA 417, IRGA 418, IRGA 419, IRGA 420, IRGA 421, Blue Belle e Formosa; [4]BR-IRGA 410

Entretanto, a composição do grão e de suas frações estão sujeitas às diferenças varietais, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento, produzindo grãos com características nutricionais diferenciadas. Além disso, os nutrientes não estão uniformemente distribuídos nas diferentes frações do grão. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibras, minerais e vitaminas, enquanto o centro é rico em amido. Dessa forma, o polimento resulta em redução no teor de nutrientes, exceto de amido, originando as diferenças na composição entre o arroz integral e o polido (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

2.6.1.1 Carboidratos

Os carboidratos são os principais constituintes do arroz. Além do amido, que corresponde a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido, também estão presentes açúcares livres e fibras. Enquanto o endosperma é composto principalmente por amido, o farelo e o gérmen apresentam principalmente fibras, contendo pequenas quantidades de outros carboidratos (JULIANO, 1993). A concentração de amido no arroz pode variar devido a fatores genéticos, ambientais e o tipo de processamento, sendo este maior no arroz branco ou polido (87,58%) e no parboilizado polido (85,08%) comparado ao integral (74,12%) (Tabela 5), devido à remoção do farelo (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

O amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A porcentagem relativa de amilose no arroz varia de 15 - 30% do total. Uma escala para classificação do teor de amilose do arroz, utilizada no Programa de Seleção de Linhagens da Embrapa Arroz e Feijão (MARTÍNEZ; CUEVAS, 1989), considera os seguintes valores: teor alto (arroz com conteúdo de amilose entre 28% e 32%), teor intermediário (entre 23 - 27%) e teor baixo (entre 8 - 22%) (VIEIRA, 2004).

O teor de amilose esta correlacionado com as propriedades texturais (maciez e coesão), cor, brilho e volume de expansão, ou seja, o conteúdo de amilose fornece informações sobre as mudanças que ocorrem durante o processo de cocção. O teor de amilose, portanto, é uma das principais propriedades que interferem na qualidade culinária (FERREIRA; MÉNDEZ DEL VILLAR; ALMEIDA, 2005).

2.6.1.2 Proteínas

O conteúdo protéico pode ser influenciado por características genotípicas, adubação nitrogenada, fatores climáticos e ambientais, pelo estádio de maturação do grão, e pelo grau

de polimento do grão no beneficiamento (JULIANO; BECHTEL, 1985). O teor de proteína é considerado baixo, em média 7%. Entretanto, observa-se grande variação na concentração desse nutriente com valores entre 4,3 - 18,2% (LUMEN; CHOW, 1995). A chamada "eficiência protéica", quantidade de peso ganho (g) para cada grama de proteína ingerida, é considerada no arroz como uma das mais altas entre os vegetais, aproximando-se dos alimentos de origem animal (AMATO; SILVEIRA FILHO, 1995).

O consumo de arroz contribui com uma variação de 7 - 71% do conteúdo de proteína das dietas em diferentes regiões do planeta (JULIANO, 1993), considerando-se que o processo de parboilização contribuiu para o aumento destes teores, efetivamente o processo pode possibilitar o aporte de maiores teores de proteína na dieta. Amato, Carvalho e Silveira Filho (2002) mencionaram a dificuldade de migração das proteínas, devido ao tamanho das moléculas, e a dificuldade na sua solubilização, porém este aspecto pode ser resolvido pelo maior tempo no processo de parboilização, conforme demonstrado (DORS; PINTO; BADIALE-FURLONG, 2009).

2.6.1.3 Fibras

Os polissacarídeos não digeridos pelas enzimas no trato gastrintestinal, como celulose, hemiceluloses, amido resistente e pectinas, fazem parte da fração fibra alimentar, que pode ser dividida em solúvel e insolúvel. Sua concentração é maior nas camadas externas do grão e diminui em direção ao centro, resultando em baixa concentração desses componentes nos grãos submetidos ao polimento (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). A fração fibra bruta dos alimentos é composta principalmente de celulose, lignina (não polissacarídeo) e uma pequena quantidade de hemicelulose e substâncias pécticas. A composição desta fração pode variar de acordo com a espécie e idade da planta (Tabela 5) (LARBIER; LECLERCQ; WISEMAN, 1994).

2.6.1.4 Lipídios

Os lipídios podem ser encontrados organizados em corpos lipídicos (esferossomos) na camada de aleurona, no embrião e no endosperma, ou associados a grânulos de amido (LUMEN; CHOW, 1995). Entretanto, a maior concentração ocorre no gérmen (1/3 do conteúdo total) e na camada de aleurona. Dessa forma, a concentração de lipídios é maior no arroz integral, sendo reduzida com o polimento, geralmente observando-se concentrações inferiores a 1% no arroz polido (Tabela 5) (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

2.6.1.5 Matéria mineral

As variações na composição mineral além das variedades de arroz, provavelmente são devidas as condições de solo e clima em que foram cultivadas, o grau de maturação e o beneficiamento (OLIVEIRA et al., 2007). De forma geral, os minerais apresentam-se em maior concentração nas camadas externas do grão, com aproximadamente 72% no farelo e 28% no grão polido. Entretanto, alguns minerais apresentam distribuição mais uniforme, como sódio e cálcio, permanecendo no arroz branco ou polido 63% do sódio e 74% do cálcio do arroz integral (ITANI et al., 2002).

Com a parboilização, observa-se aumento no conteúdo mineral comparado ao arroz branco ou polido (Tabela 5), fato relacionado à migração de minerais das camadas externas para o endosperma durante o processo. Entretanto, avaliando-se individualmente os minerais, são observados comportamentos diferenciados. STORCK (2004) e HEINEMANN et al. (2005) relatam maiores concentrações de potássio e fósforo no arroz parboilizado (polido) comparado ao branco ou polido, sem efeito na concentração de magnésio. Por outro lado, as concentrações de manganês, zinco e sódio são menores, indicando que os minerais apresentam diferentes padrões de migração durante a parboilização, afetando diferentemente sua concentração nos grãos.

Embora o arroz seja um alimento essencialmente energético, alterações no conteúdo de seus nutrientes minoritários podem causar efeitos nutricionais significativos, o que será garantido pela periodicidade (consumo diário) e quantidade consumida (47 kg/ano per capita no Brasil). Aliado a esse fato, sabe-se que a deficiência de minerais, em especial nos alimentos consumidos por crianças, causa problemas metabólicos que irão se refletir sobremaneira no desenvolvimento normal do indivíduo. Deste modo, levanta-se a hipótese de que acréscimos no teor de minerais nos grãos de arroz, mesmo que discretos, possam causar efeitos positivos no combate a desnutrição e manutenção da boa saúde (DENARDIN et al., 2004).

2.6.2 Características tecnológicas

2.6.2.1 Aspectos relacionados ao grão

▪ Índice de absorção de água (IAA)

Cultivares de arroz quando submetidas às mesmas condições de encharcamento, apresentam diferenciação na absorção de água durante o cozimento. A hidratação tem sido diferenciada em dois padrões: abaixo e acima da temperatura de gelatinização. Sob baixas

temperaturas, o arroz em casca não só absorve água lentamente, como também tende eventualmente a um equilíbrio. Sob altas temperaturas, após um período discreto, a hidratação passa a crescer exponencialmente (BHATTACHARYA; SUBBA RAO, 1966).

A taxa de absorção de água cresce com a temperatura. Isto é explicado pelos seguintes fatos:1) o aquecimento maior conduz o ar para fora dos grãos mais rapidamente, facilitando a entrada de água pela liberação do espaço; 2) a água, com sua característica dipolar, comporta-se como um polímero onde as pontes de hidrogênio ligam as moléculas de água; com o aquecimento, um número cada vez maior de pontes são rompidas. Com isso, as ligações de hidrogênio da água, que juntas com os grânulos de amido compõem as unidades de estrutura micelar, tendem a dissociar-se, resultando numa facilidade à hidratação dos grupos hidroxila das moléculas de amido; 3) a absorção é um processo de difusão, o coeficiente de difusão aumenta com a temperatura devido a alterações de algumas propriedades como a pressão de vapor, viscosidade, densidade e tensão superficial; por isso, o encharcamento processa-se mais rápido à medida que sobe a temperatura (AMATO; BITTENCOURT; GUINDANI, 1989).

A taxa de absorção de água no encharcamento é muito lenta quando utilizam-se baixas temperaturas (30 - 65 °C), enquanto sob altas temperaturas (75 - 80 °C) não é uniforme, ocorrendo abertura significativa da casca (ALI; OJHA, 1976 apud MARTINEZ, 1984).

▪ Índice de abertura da casca (IAC)

O *splitting* (rompimento da casca) ocorre em níveis elevados acima da temperatura de gelatinização. Isso ocorre quando o teor de umidade excede a 30-32% e quando se usa temperaturas superiores a 75 °C (BHATTACHARYA; SUBBA RAO, 1966).

▪ Comportamento no beneficiamento

Se o arroz foi parboilizado na forma mais adequada do ponto de vista técnico, tendo em conta a cultivar e suas propriedades, o beneficiamento mecânico permitirá obter o rendimento máximo de arroz comestível com um conteúdo mínimo de grãos quebrados (AMATO; ELIAS, 2005).

Renda do benefício

A renda no benefício expressa o percentual de arroz beneficiado, resultantes do benefício do arroz em casca (grãos inteiros, quebrados e quirera). O grão quebrado é o pedaço que ficar retido na peneira de 1,6 mm de diâmetro e que apresentar comprimento inferior a

três quartas partes do comprimento mínimo da classe a que pertence e a quirera é o fragmento de grão de arroz que vazar dessa peneira (BRASIL, 1988). A legislação prevê uma renda base em nível nacional de 68% para a renda no benefício, constituída de um rendimento de grão de 40% de inteiros e 28% de quebrados e quirera.

O arroz por ser naturalmente higroscópico, dependendo das mudanças no ambiente, sofre absorção e desorção de umidade, o que pode provocar fissuras. A fissura é uma fratura interna larga, usualmente perpendicular ao comprimento do grão. São essas fissuras que fazem com que o grão de arroz quebre durante o processo de polimento (VELUPILLAI; PANDEY, 1990).

Rendimento de inteiros

Este rendimento é expresso, pelo percentual de grãos inteiros, que é determinada pelo peso dos grãos inteiros após a etapa de polimento. A quebra de grãos durante o polimento reduz o índice de grãos inteiros e pode ser causada por inúmeros fatores (FITZGERALD et al., 2000).

Uma performance adequada no beneficiamento, com bons rendimentos de grãos inteiros, é almejada por produtores e cerealistas, uma vez que o índice de quebra durante o processamento dos grãos para consumo afeta o valor do produto no mercado e consiste em fator determinante da aceitabilidade de novas variedades (CUEVAS-PEREZ; PESKE, 1990).

As principais propriedades do grão de arroz que influenciam seu comportamento no beneficiamento são determinadas, basicamente, pelas características da cultivar utilizada, como, a coloração e pubescência da casca, as dimensões e formato do grão, a dureza e aparência do endosperma, e também o sistema de cultivo e as condições climáticas durante o desenvolvimento, maturação e colheita do grão. Ademais, o teor de umidade dos grãos na época da colheita ou do beneficiamento, as condições de secagem e estocagem do produto, influenciam grandemente no percentual de grãos inteiros durante o processo de descasque e polimento do arroz (BHATTACHARYA, 1980; VIEIRA, 2004).

De maneira geral, para obtenção de maiores rendimentos, têm sido recomendado colher o arroz com teor de umidade ainda elevado, entre 18 - 22%, secá-lo à baixa temperatura e em tantas etapas quantas forem necessárias, para evitar a ocorrência de fissuras nos grãos e seus efeitos prejudiciais à qualidade. Grãos mal empalhados, ou seja, com aberturas na junção da lema com a pálea na sua porção apical apresentam maiores problemas com relação ao rendimento no beneficiamento. O grau de resistência do endosperma do arroz a rachaduras reflete-se diretamente no rendimento de grãos inteiros durante o processo de

beneficiamento (VIEIRA, 2004).

A principal causa de quebra dos grãos de arroz está relacionada à absorção de água, mais especificamente, quando a umidade dos grãos está abaixo do ponto crítico, em torno de16%. As cultivares se diferenciam muito quanto à capacidade de suportar esse processo de reumidificação, portanto, o ponto ideal de colheita é diferente entre elas. Uma cultivar mais sensível tem de ser colhida antes que parte de seus grãos atinja o ponto crítico de umidade. A BRS Primavera é a cultivar mais exigente quanto ao ponto de colheita, que deve ser feita quando o teor de umidade dos grãos estiver acima de 20%. De modo geral, tem-se observado que a colheita deve ser realizada entre 30 e 40 dias após o florescimento médio (BRESEGHELLO; STONE, 1998).

O processo de parboilização aumenta o rendimento por minimizar a quebra do arroz durante o polimento e a infestação de insetos, pois permite que o endosperma do grão se torne mais endurecido (HEINEMANN; BEHRENS; LANFER-MARQUEZ, 2006; HEINEMANN et al., 2005).

Kunze e Choudhury (1972) reportaram que o desenvolvimento de gradientes de umidade durante a secagem pode produzir tensões transversais no grão de arroz. Neste caso as camadas externas começam a secar mais que o centro, contraindo-se de acordo com a remoção de umidade, ocorrendo tensões na superfície e compressão no centro. Na seqüência, se forças de tensão excedem as de compressão ocorrem as fissuras e, caso forças externas são aplicadas no grão, como no beneficiamento, o grão pode quebrar-se.

- **Defeitos**

Outros aspectos importantes para o consumidor são a translucidez e a aparência do grão de arroz. A primeira está relacionada à propriedade do grão se deixar atravessar pela luz, permitindo a visão ou distinção de imagens ou objetos por meio de sua espessura. A aparência do grão se relaciona com a presença de áreas opacas, manchas e imperfeições causadas por picada de insetos ou doenças. A presença de áreas opacas e defeitos depreciam o produto (FERREIRA, MÉNDEZ DEL VILLAR, ALMEIDA, 2005). O consumidor brasileiro prefere o arroz com endosperma translúcido (e paga mais por isso, apesar da intensidade da translucidez não afetar o aspecto do arroz após a cocção), sem áreas opacas, livre de manchas e imperfeições causadas por ataque de insetos ou por doenças. O arroz parboilizado é menos atacado por insetos devido a maior dureza no grão, o que produz uma maior resistência dos grãos a quebra durante o polimento (HEINEMANN et al., 2005; VIEIRA, 2004).

Grãos de arroz com aberturas na junção da lema com a pálea na sua porção apical apresentam maiores problemas de conservação após a colheita, por estarem mais expostos ao ataque de pragas durante o armazenamento. Cultivares com essa característica geralmente apresentam maior dano causado por insetos, o que prejudica a qualidade e interfere negativamente no aspecto visual do produto, seja no arroz branco, integral ou parboilizado (VIEIRA, 2004).

Durante o armazenamento dos grãos de arroz podem ocorrer alterações físicas, químicas enzimáticas, químicas não enzimáticas e microbiológicas. A intensidade e a velocidade destas alterações dependem da qualidade dos grãos no momento do armazenamento e das condições do próprio sistema de armazenamento. A maioria das alterações que ocorrem durante o armazenamento resultam em perdas, quer sejam de natureza quantitativa e / ou qualitativa. As perdas quantitativas são as mais facilmente observáveis, sendo dependentes do metabolismo dos grãos e / ou de microrganismos associados, do ataque de pragas e de outros animais, resultando em redução do conteúdo de matéria seca dos grãos. Já as perdas qualitativas devem-se principalmente às reações químicas enzimáticas ou não, à presença de materiais estranhos e impurezas e ao ataque microbiano, de ácaros ou de insetos, com perdas no valor nutricional e risco de formação de substâncias tóxicas no produto armazenado (ROMBALDI; ELIAS, 1989; ROMBALDI, 1988).

Grãos danificados

O grão de arroz descascado e polido, inteiro ou quebrado que pelo processo de imersão ou secagem, apresentar ruptura longitudinal visível, bem como o grão que estoura (pipoca) são classificados como danificados (BRASIL, 1988). Segundo a Portaria n° 10 de 1996, não deve-se considerar como defeito, no arroz parboilizado, as pequenas (minúsculas) rachaduras longitudinais, desde que se mantenha o formato normal do grão (BRASIL, 1996).

Grãos manchados e picados

O grão de arroz descascado e polido, inteiro ou quebrado que apresentar mancha escura ou esbranquiçada, bem como, perfuração por insetos ou outros agentes, desde que visíveis a olho nu são denominados de manchados e picados, respectivamente (BRASIL, 1988).

Grãos não gelatinizados (GNG)

Grão de arroz não gelatinizado é aquele inteiro ou quebrado que não apresenta gelatinização do amido devido à parboilização deficiente, mostrando-se totalmente “opaco”

sob luz polarizada (AMATO, 1989).

▪ **Temperatura de gelatinização (TG)**

Temperatura de gelatinização é aquela na qual os grãos começam a absorver água durante o processo de cocção, iniciando o processo de amolecimento. Nesse ponto os grãos de amido crescem e há perda de cristalinidade e o resultado depende do grau de cristalinidade do amido. Em termos práticos, a TG é um teste que avalia o índice de resistência a cocção, ou seja, as características do amido determinam o tempo de cocção (FERREIRA; MÈNDEZ DEL VILLAR; ALMEIDA, 2005). A TG também tem sido utilizada por muitos anos para caracterizar as propriedades do arroz cozido (ONG; BLANSHARD, 1995).

A TG é comumente estimada de forma indireta, através do grau de dispersão e clarificação dos grãos de arroz submetidos à ação de soluções alcalinas (MARTÍNEZ; CUEVAS, 1989) e varia, aproximadamente entre 63 - 80 °C. Pela sua determinação, os materiais são classificados como: TG baixa: arroz cuja temperatura de gelatinização do amido ocorre entre 63 - 68 °C; TG intermediária: entre 69 - 73 °C; TG alta: entre 74 - 80 °C. Grãos de arroz com TG baixa podem tornar-se excessivamente macios e até desintegrar-se durante o cozimento. Por outro lado, cultivares de arroz com TG alta requerem mais água e maior tempo de cozimento, que aquelas com TG baixa ou intermediária, sendo geralmente rejeitadas em quase todos os mercados consumidores (VIEIRA, 2004).

2.6.2.2 Aspectos relacionados à água de imersão

▪ **pH da água**

Variações de pH entre 4,02 - 5,80 são esperadas, uma vez que o pH da água de maceração do arroz diminui com o tempo de maceração, resultando em água residuária com pH na faixa ácida (QUEIROZ; KOETZ, 1997).

▪ **Sólidos Totais Secos (STS)**

O teor de sólidos totais dissolvidos aumenta com o tempo, o que demonstra a ocorrência de lixiviação de materiais solúveis dos grãos de arroz para a água durante a hidratação (OLIVEIRA et al., 2005). A presença de sólidos transferidos à água de maceração é baixa, de 0,3 - 0,6% (LEQUERICA; TORTOSA, 1977). Os compostos químicos encontrados após a operação são constituintes hidrossolúveis como aminoácidos livres, açúcares livres e compostos fenólicos livres (ANTHONI RAJ; SINGARAVADIVEL, 1980).

Büttow (1984) constatou aumento na perda de sólidos solúveis com aumento de temperatura da água de maceração. Oliveira et al. (2005) verificaram um decréscimo na lixiviação de sólidos solúveis à medida que aumenta o pH no encharcamento, e que quanto mais a água de encharcamento se aproxima do pH neutro, maior será a aceitabilidade da cor dos grãos de arroz cozidos. E concluíram que o controle do pH da água de encharcamento pode melhorar o desempenho industrial e reduzir o desenvolvimento microbiano durante a parboilização.

2.6.3 Características sensoriais

Como consequência do processo hidrotérmico, o arroz parboilizado apresenta uma cor amarelo-pálido, grãos com textura rígida, mesmo após o cozimento, e um sabor característico, embora a extensão de tais alterações dependa da severidade do tratamento aplicado (HEINEMANN; BEHRENS; LANFER-MARQUEZ, 2006).

A preferência por arroz branco ou parboilizado é uma questão pessoal e está relacionada com a tradição de consumo. Pessoas habituadas a consumir arroz parboilizado o consideram de melhor consistência ao ser mastigado e mais saudável, considerando o arroz branco macio demais e sem gosto. Os consumidores de arroz branco consideram o parboilizado muito escuro, com odor forte, com grãos duros e muito soltos, difíceis de serem misturados a outros alimentos (HEINEMANN et al., 2005).

A preferência por arroz branco ou parboilizado é uma questão pessoal e está relacionada com a tradição de consumo. Pessoas habituadas a consumir arroz parboilizado o consideram de melhor consistência ao ser mastigado e mais saudável, considerando o arroz branco macio demais e sem gosto. Os consumidores de arroz branco consideram o parboilizado muito escuro, com odor forte, com grãos duros e muito soltos, difíceis de serem misturados a outros alimentos (HEINEMANN et al., 2005).

Um estudo sobre a aceitabilidade e atitude dos consumidores em relação ao arroz parboilizado, mostrou que consumidores locais da cidade de São Paulo apresentaram maior aceitação do arroz parboilizado importado em comparação com a produção local, demonstrando que as diferenças no processo podem resultar em diferentes graus de aceitabilidade. Não apenas as diferenças nas características sensoriais entre o arroz parboilizado e o arroz polido, mas também a falta de oportunidade que os consumidores costumam ter em apreciar o arroz parboilizado e de conhecer sobre os seus atributos e suas vantagens, parece ser um entrave na mudança dos hábitos alimentares (HEINEMANN; BEHRENS; LANFER-MARQUEZ, 2006).

2.6.3.1 Cor

O sistema de cor no espaço L* a* b* ou CIELAB foi definido pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação) em 1976. Neste sistema, L* indica luminosidade e a* e b* são coordenadas de cromaticidade, que indicam direções de cor: +a* está na direção do vermelho, -a* está na direção do verde, +b* está na direção do amarelo e –b* está na direção do azul. O ΔE* representa a diferença nos valores de L*, a* e b*, entre a amostra e padrão (MIRANDA, 1998).

No arroz parboilizado, assim como na maioria dos alimentos, a cor ocupa um lugar de destaque entre os atributos sensoriais, em razão de causar o primeiro impacto no observador do produto. Estabelecido o hábito do arroz branco, a demanda pelo arroz parboilizado, que passou a ter consumo significativo no ocidente após a II Grande Guerra, teve que acompanhar a preferência pelas cores mais brandas (AMATO et al., 1990).

Há uma sequência de causas, em série, capazes de serem responsáveis pela alteração da cor no processo de parboilização. Umas dessas causas precedem a própria industrialização, remontando à própria natureza da semente, onde o pigmento da casca e da camada do farelo podem contribuir parcialmente, tanto por difusão até o endosperma quanto pela absorção por este após a abertura da casca. Cultivares de arroz com casca de coloração mais escura resultam, geralmente, num produto mais escurecido (amarelo-claro ou âmbar) após o processo de parboilização, o que prejudica a aparência e interfere na aceitação para consumo, quando comparado com o produto mais claro e atrativo (AMATO et al., 1990; LAMBERTS et al., 2006a; VIEIRA, 2004).

A principal causa atribuída a coloração final do produto está vinculada à composição do arroz e condições inerentes ao tratamento hidrotérmico. Trata-se do escurecimento não-enzimático ocasionado por reações químicas do tipo Maillard, tendo como causas o nível relativamente alto de açúcares redutores e aminoácidos, em presença de condições adequadas a reação (ALI; BHATTACHARYA, 1976). Como resultado surgem as melanoidinas, de pigmentação marrom, sendo a reação mais intensa em função de concentração de açúcares e das temperaturas mais altas (FONSECA et al., 1983).

É na interação com as condições físicas do processamento que gera-se uma das principais causas da perda da brancura. Condições brandas de encharcamento e tratamento com vapor geram produtos mais claros. O efeito mais importante é a temperatura de encharcamento, onde pode ocorrer o *splitting*, mais intenso acima de 70 °C, com a consequente absorção pelo endosperma dos pigmentos dissolvidos da casca e do farelo (AMATO et al., 1990). Segundo Lamberts et al. (2006a) a mudança de cor do arroz durante o

encharcamento é atribuída às difusões de pigmentos vermelhos e amarelos para o interior do grão, por meio da migração de compostos presentes na superfície do arroz. A coloração escura dos grãos parboilizados é acompanhada pelo desenvolvimento da cor amarela principalmente quando o arroz em casca é parboilizado por longo tempo e temperatura (DILLAHUNTY; SIEBENMORGEN; MAUROMOUSTAKOS, 2001).

Alguns autores obtiveram correlação negativa entre atividade da amilase durante o encharcamento e cor do arroz. O pH da água de encharcamento também afeta a cor do arroz parboilizado. Ocorre aumento na mudança da cor do produto em pH próximo a 4,5 devido a influência do pH nas reações enzimáticas responsáveis pela hidrólise do amido e de proteínas (LAMBERTS et al., 2006a).

Com menor hierarquia de importância relativa na cor, aparece a gelatinização ou tratamento com vapor. Os processos que não usam autoclave e que operam abaixo de 100 °C tendem a produzir grãos de arroz parboilizados mais claros. O tratamento com vapor ao mesmo tempo que completa a gelatinização e melhora o rendimento de moagem, gera coloração mais profunda. Igualmente a secagem a temperaturas muito altas contribui para intensificar a cor do produto final (AMATO et al., 1990).

Além das condições de parboilização, o grau de polimento também afeta a cor do arroz, pois a camada residual de farelo resulta em arroz mais escuro (LAMBERTS et al., 2006a). Pesquisas da International Rice Research Institute (IRRI) demonstram que grãos de cultivares de arroz com alto teor protéico e de cinzas, devido a concentração de ferro e manganês e ainda, pelas vitaminas do complexo B, se apresentam menos brancos após o cozimento. O Departamento da Agricultura dos EUA (USDA), também correlaciona cor mais escura com concentração em lipídios, pois, as gorduras assim como as proteínas se concentram nas camadas externas do grão (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002).

Trabalhos realizados por Gariboldi (1974) mostraram que o arroz tornou-se mais escuro quando macerado a temperaturas maiores que 70 °C. A cor mais escura foi observada com temperaturas de água de 70 °C por 5 h de maceração, ou seja, quando o grão atingia a saturação. Segundo este autor o aumento da temperatura favorece particularmente a hidrólise do amido com consequente produção de açúcares redutores que podem reagir com aminoácidos produzindo o escurecimento. Investigações têm demonstrado que a temperatura ideal para a atividade amilolítica é de 60 °C (DUVAL, 1980 apud MARTINEZ, 1984; GARIBOLDI, 1974). Embora seja possível obter uma coloração no arroz parboilizado semelhante a do arroz polido com a utilização de temperaturas baixas durante a maceração, o

uso destas pode causar fermentações, produzindo um sabor desagradável ao produto.

2.6.3.2 Textura (teste de cocção)

O teste de cocção é um dos parâmetros de qualidade do arroz mais utilizado por programas de melhoramento genético e indústrias de beneficiamento, como forma de avaliar o comportamento culinário das cultivares lançadas e/ou novas linhagens em estudo. Normalmente simula-se, na metodologia, o cozimento caseiro e realiza-se o teste sensorial (BASSINELLO; ROCHA; COBUCCI, 2004).

A cultivar, a secagem, as condições de armazenagem, a umidade do produto em casca, o tipo de amido, o conteúdo de amilose, o grau de polimento, o método de cocção, o pré-cozimento e o pós-processamento são fatores determinantes que influenciam as características texturais do arroz (MOHAPATRA; BAL, 2006; MOHAPATRA; BAL, 2007).

As propriedades de cocção e a textura do arroz são dependentes da composição química dos cultivares, mas principalmente do conteúdo de amilose (SUJATHA; RASHEED AHMAD; RAMA BHAT, 2004).

Cerca de três décadas e meia, até meados dos anos oitenta, a textura do arroz cozido foi atribuída, sobretudo, ao teor de amilose no amido, agora chamado de amilose-equivalente ou aparente (AE), devido as recentes descobertas que longas cadeias de amilopectina reagem também com iodo e, assim, contribuem para o valor estimado da amilose (RADHIKA REDDY; ALI; BHATTACHARYA, 1993). Ong e Blanshard (1995) confirmaram que a amilose e a fração linear da amilopectina do amido influenciam profundamente as propriedades de textura do arroz cozido, como as proteínas, lipídios e polissacarídeos não amido (isto é, componentes da parede celular do endosperma), pois as longas cadeias de amilopectina podem interagir com outros componentes do arroz, resultando em complexos que ficam retidos no grão cozido, inibindo o amolecimento. Em contrapartida, uma maior população de pequenas cadeias pode inibir estas interações. Segundo Ramesh, Zakiuddin e Bhattacharya (1999), a textura de arroz cozido de uma cultivar é determinada principalmente pelo conteúdo de todas as longas cadeias lineares, livres (amilose) ou ligadas (amilopectina), na molécula de amido. Todas estas cadeias podem participar na interação intermolecular, afetando a rigidez dos grânulos de amido e, por conseguinte, indiretamente a textura do arroz cozido.

De forma geral, grãos com maior teor de amilose apresentam textura mais firme após o cozimento, sendo preferidos em diversos países, como o Brasil, e por isso essa característica é avaliada durante o desenvolvimento de cultivares (ONG; BLANSHARD, 1995). Arroz com

alto teor de amilose normalmente apresenta grãos secos, soltos e após o resfriamento podem ficar endurecidos, enquanto as cultivares com baixo teor apresentam grãos macios, aquosos e pegajosos no cozimento. Aqueles com teor intermediário, preferido pelo consumidor brasileiro, apresentam grãos pouco aquosos, soltos e macios, mesmo após o resfriamento (FERREIRA; MÉNDEZ DEL VILLAR; ALMEIDA, 2005).

A qualidade de cocção está relacionada com o tempo de cozimento, a absorção de água, a perda de sólidos solúveis e o ganho de volume durante o cozimento, enquanto a qualidade comestível, ou palatabilidade, está mais relacionada com o aspecto, o aroma, a consistência e a textura do arroz cozido (VIEIRA, 2004). Uma ótima absorção de água durante a cocção é um parâmetro importante para uma variedade, pois o rendimento do arroz cozido é diretamente proporcional a essa taxa. Arroz com alta capacidade de absorção de água favorece normalmente produto com textura macia quando cozido (MOHAPATRA; BAL, 2006).

Cultivares de arroz com alto teor de amilose aparente gastam menos tempo para cozinhar do que aquelas com baixo teor. Grãos espessos tendem a ter maior grau de polimento, menor conteúdo de amilose e maior tempo de cocção do que os grãos delgados, pois, a difusão de água é influenciada pela espessura do grão e pela camada do farelo. O alto polimento do arroz é caracterizado por alta coesividade, adesividade, taxa de expansão do comprimento e volume e taxa de absorção de água, e por baixa rigidez e curto tempo de cocção (MOHAPATRA; BAL, 2006).

No cozimento, o arroz beneficiado envelhecido absorve maior quantidade de água, expande mais, apresenta maior índice de sólidos solúveis na água de cocção e é mais resistente à desintegração dos grãos durante o cozimento, que o arroz recém-colhido. Esse comportamento é atribuído, provavelmente, á elevação da insolubilidade da proteína e do amido durante o armazenamento, elevando também o tempo de cozimento do produto (VIEIRA, 2004).

De acordo com Ramesh, Zakiuddin e Bhattacharya (1999), a firmeza do arroz cozido aumenta progressivamente conforme a gravidade da parboilização, pois existe uma correlação entre degradação do amido e mudanças na textura do arroz parboilizado, sugerindo que os dois fenômenos podem estar relacionados: O mecanismo de enrijecimento da textura do arroz mediante parboilização é devido a uma reassociação do amido gelatinizado e o outro é a degradação térmica do amido que ocorre durante o tratamento térmico. Arroz com elevado conteúdo de amilose aparente, torna mais vulnerável à degradação térmica do que aquele com baixo conteúdo de amilose aparente.

Embora presente em pequenas quantidades, proteínas e lipídios têm recebido atenção por causa de possíveis interações intra e/ou inter moleculares durante o cozimento dos grãos de arroz (ONG; BLANSHARD, 1995).

Segundo Ali e Bhattacharya (1976) a retrogradação do amido durante a secagem é um dos principais fatores que afetam a qualidade do arroz parboilizado, especialmente o tempo de cocção, concluindo que a umidade de equilíbrio no encharcamento influencia a intensidade da retrogradação.

2.6.3.3 Sabor e odor

Pesquisas sobre o sabor e odor do arroz parboilizado têm demonstrado a importância da operação de encharcamento na produção de compostos como açúcares, aldeídos etc. O tempo e a temperatura da água influem na solubilização dos albuminóides, por decomposição, ou mais precisamente por hidrólise, separando constituintes destes, ou seja, aminoácidos. O efeito do calor sobre os aminoácidos sulfurados é o de decompô-los mais ainda, liberando o sulfeto de hidrogênio e outros compostos orgânicos sulfurados de baixo peso molecular. Estes se combinam com os álcoois produzidos pela decomposição da lignina (contida na casca do arroz), produzindo produtos como tioálcoois ou tioésteres, que agregam a alguns tipos de arroz parboilizado odor e sabor característicos (AMATO; ELIAS, 2005).

Estudos demonstram que o encharcamento do arroz em água a temperatura de 65 °C por quatro horas resulta em destruição total da atividade enzimática (lipase, peroxidase, lipoxigenase) contribuindo para a perda de sólidos na água de imersão e o odor do arroz parboilizado (XAVIER; ANTHONI RAJ, 1996).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a influência das variáveis de encharcamento (temperatura e tempo de imersão) sobre as características de qualidade do arroz parboilizado das cultivares de terras altas BRS Primavera e BRS Sertaneja.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir e avaliar as isotermas de hidratação para cada cultivar;
- Estimar o índice de absorção de água do arroz após a etapa de encharcamento da parboilização;
- Quantificar o índice de abertura da casca dos grãos após a etapa de secagem da parboilização;
- Avaliar o grau de polimento, a renda do benefício, o rendimento de inteiros, e os defeitos após o beneficiamento dos grãos polidos e dos parboilizados e a cor da farinha após a moagem;
- Determinar os teores de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão após a etapa de encharcamento da parboilização;
- Analisar a composição centesimal, o teor de amilose aparente, o teor de minerais, o teste de cocção (pegajosidade, textura, rendimento e o tempo de cocção do arroz cozido) antes e após a parboilização dos três tratamentos selecionados para cada cultivar e analisá-los sensorialmente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Embrapa Arroz e Feijão - Santo Antônio de Goiás-GO e nos Laboratórios de Análises Físico-Químicas de Alimentos e Análise Foliar e de Solos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás - Goiânia.

4.1 MATERIAL

4.1.1 Matéria prima

As cultivares de arroz utilizadas foram a BRS Primavera e BRS Sertaneja, produzidas sob o sistema de cultivo de terras altas (sequeiro) e colhidas entre abril e maio de 2007, na fazenda Capivara, situada no município de Santo Antônio de Goiás-GO.

O arroz foi colhido manualmente com teor de umidade de 20 - 24% para a cv. BRS Primavera e de 15 - 23% de umidade para a cv. BRS Sertaneja. Após a colheita, foi realizada a secagem natural, até os grãos atingirem 13% de umidade, sendo esta estimada utilizando-se o método dielétrico, com auxílio do determinador de umidade Grainer II PM-300. Para armazenamento, o arroz em casca foi acondicionado em sacos de polipropileno, na câmara fria sob umidade relativa do ar ao redor de 60% e temperatura de 27 °C, para estabelecimento de equilíbrio higroscópico do grão em 13% de umidade.

4.2 MÉTODOS

Este estudo foi dividido em três etapas. Na primeira foram realizadas as curvas de absorção de água das duas cultivares em diferentes tempos e temperaturas (testes preliminares) (Figura 7). Na segunda etapa realizou-se a parboilização das amostras e buscou-se o estabelecimento das condições ideais das variáveis tempo e temperatura de encharcamento em relação ao índice de absorção de água após o encharcamento; teor de sólidos totais secos e pH na água de imersão do encharcamento; índice de abertura da casca dos grãos após a secagem; grau de polimento, renda do benefício, rendimento de inteiros, análise de defeitos (grãos danificados, banana e manchados e picados) após o beneficiamento

do arroz branco e parboilizado (além dos defeitos citados, incluem os grãos não gelatinizados). Na terceira etapa realizou-se a caracterização química e o teste de cocção do arroz polido (branco) e parboilizado dos três tratamentos selecionados para cada cultivar, que também foram analisados quanto a aceitabilidade. As etapas 2 e 3 estão apresentadas nos procedimentos das Figuras 8 e 9.

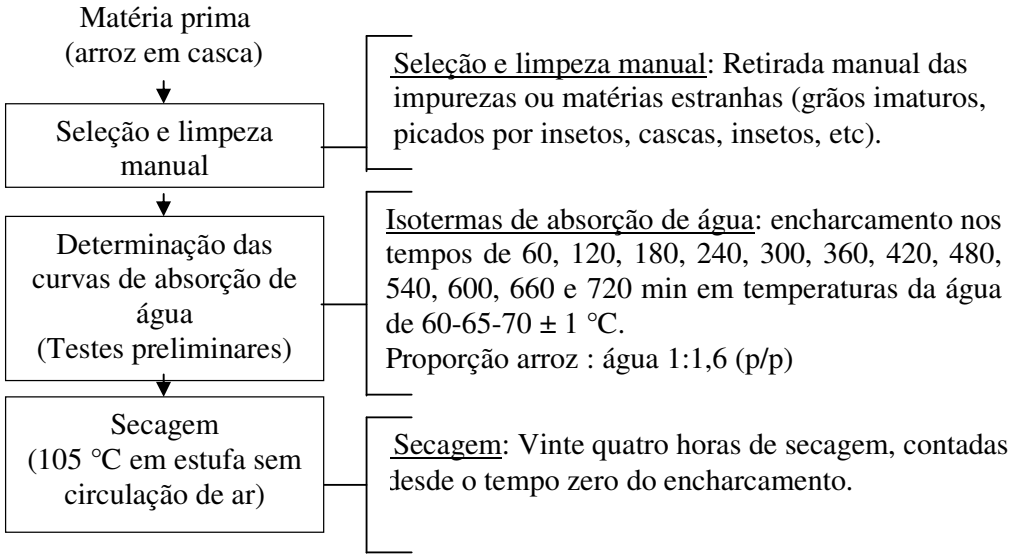


Figura 7. Procedimentos para determinação das isotermas de absorção de água do arroz em casca.

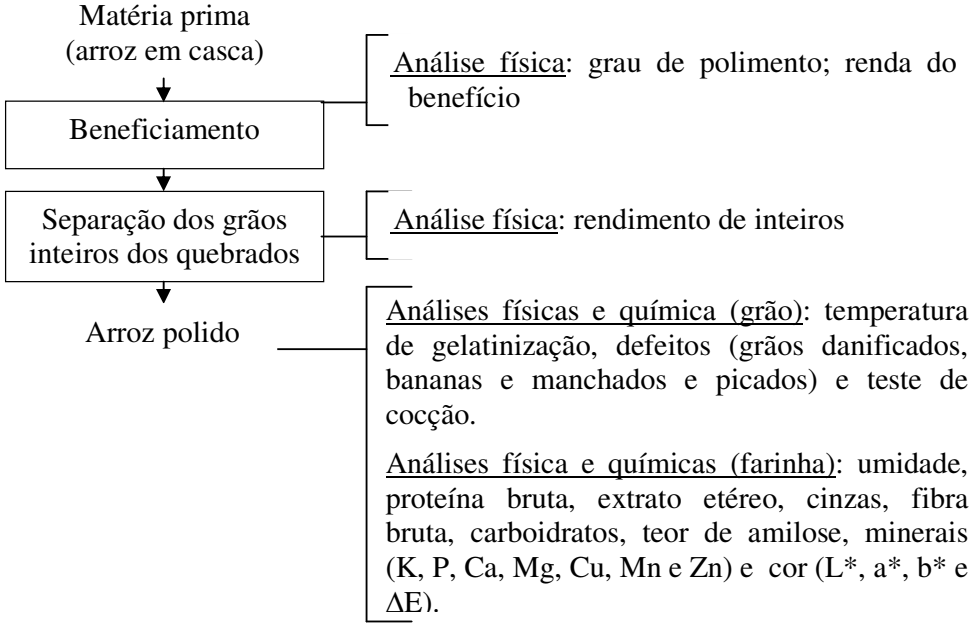


Figura 8. Procedimentos para o processamento e as análises realizadas no arroz branco (sem parboilizar)

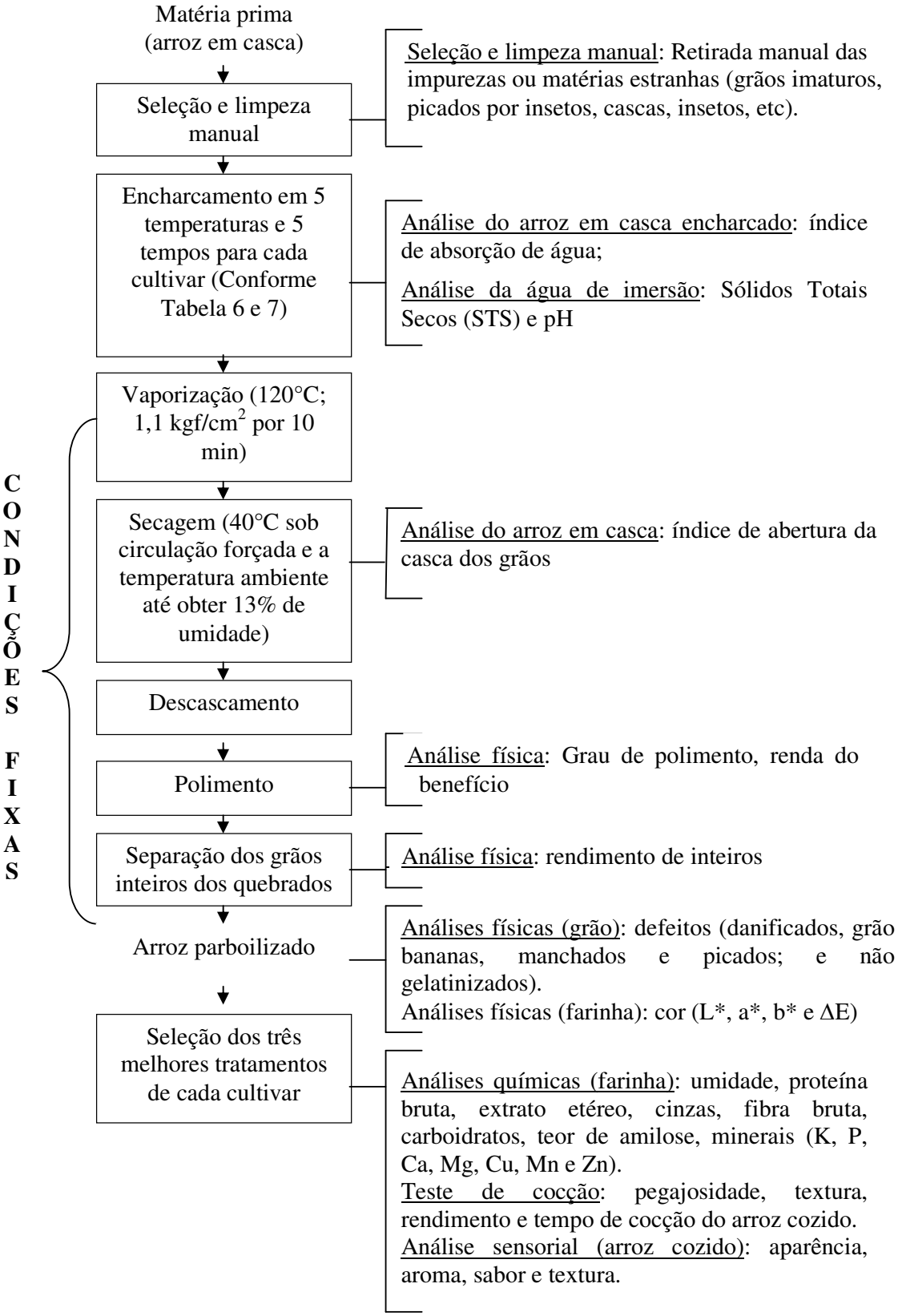


Figura 9. Procedimentos para as etapas do experimento de parboilização e das análises realizadas

Tabela 6. Matriz do delineamento experimental com as variáveis para as condições hidrotérmicas do encharcamento da cv. BRS Primavera

Ensaio	Variáveis codificadas		Variáveis Originais	
	Temperatura da água (°C)	Tempo de imersão na água (min)	Temperatura da água (°C)	Tempo de imersão na água (min)
1	**-1**	**- 1**	60*	112*
2	**-1**	**+ 1**	60	368*
3	**+1**	**-1**	70*	112
4	**+1**	**+1**	70	368
5	**0**	**-1,41**	65*	60*
6	**0**	**+1,41**	65	420*
7	**-1,41**	**0**	58*	240*
8	**+1,41**	**0**	72*	240
9	**0**	**0**	65	240
10	**0**	**0**	65	240
11	**0**	**0**	65	240

Fonte: Rodrigues e Iemma (2005), com adaptações.
* Cinco tempos e cinco temperaturas utilizados no experimento

Tabela 7. Matriz do delineamento experimental com as variáveis para as condições hidrotérmicas do encharcamento da cv. BRS Sertaneja

Ensaio	Variáveis codificadas		Variáveis Originais	
	Temperatura da água (°C)	Tempo de imersão na água (min)	Temperatura da água (°C)	Tempo de imersão na água (min)
1	**-1**	**- 1**	60*	250*
2	**-1**	**+ 1**	60	590*
3	**+1**	**-1**	70*	250
4	**+1**	**+1**	70	590
5	**0**	**-1,41**	65*	180*
6	**0**	**+1,41**	65	660*
7	**-1,41**	**0**	58*	420*
8	**+1,41**	**0**	72*	420
9	**0**	**0**	65	420
10	**0**	**0**	65	420
11	**0**	**0**	65	420

Fonte: Rodrigues e Iemma (2005), com adaptações.
* Cinco tempos e cinco temperaturas utilizados no experimento

4.2.1 Determinação das isotermas de absorção de água

As isotermas de absorção de água foram realizadas de acordo com a metodologia desenvolvida por Elias (1998). Esta metodologia consta de duas etapas: Na primeira (seleção e limpeza), o arroz em casca com teor de umidade ao redor de 13% foi submetido a uma seleção manual para eliminação das impurezas ou matérias estranhas. Posteriormente, as

amostras foram colocadas em um béquer de plástico contendo água potável a temperatura ambiente, agitadas e deixadas em repouso, por 20 seg, para que os grãos imaturos e matérias estranhas (cascas, insetos, etc) que ficaram na superfície da água fossem descartados e os grãos que permaneceram no fundo do recipiente utilizados no encharcamento. Na segunda etapa, cerca de 200 g de arroz em casca de cada cultivar e 320 mL de água potável foram colocados em béquer de vidro de 2 L, previamente identificado, numa relação de peso de grãos e água de 1:1,6, e estes foram deixadas em banho maria (Fisatom 577; Marconi, MA 470). Os grãos foram submetidos a tempos de encharcamento entre 60 – 720 min e em temperaturas da água de 60 ± 1 °C, 65 ± 1 °C e 70 ± 1 °C, controladas por um termostato digital. Para que a temperatura no início do encharcamento estivesse de acordo com os valores citados anteriormente, foi necessário calcular qual deveria ser a temperatura da água quando o arroz em casca fosse adicionado ao béquer. Para isso utilizou-se a Equação 1 do balanço de energia e massa (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002).

$$T_O = T_f + \left| \frac{W_p \cdot S_p \cdot (T_f - T_p)}{W_w \cdot S_w} \right| \qquad \text{(Equação 1)}$$

onde:

T_0: Temperatura inicial da água a ser adicionada no béquer (°C);

T_f: Temperatura final do encharcamento (água mais arroz) (°C);

Wp: massa inicial de arroz (kg);

Sp: calor específico do arroz (0,55 cal/g °C);

Tp: Temperatura inicial do arroz (°C);

Ww: massa de água (L);

Sw: Calor específico da água (1 cal/g °C);

Para cada temperatura estudada, cerca de 2 g de amostras, em triplicata, foram retiradas do banho de imersão, a cada 60 min, num tempo total de 720 min (12 h), totalizando 36 amostras por cultivar estudada (12 x 3). Escorreu-se e secou-se o excesso de água com papel toalha, para posterior pesagem (M_U) e secagem em estufa a 105 °C (M_S) para o cálculo da absorção efetiva de água. O percentual de absorção de água ou umidade foi calculado de acordo com a Equação 2.

$$\text{Absorção de água}\,(\%) = \frac{(M_U - M_S)}{M_U} \cdot 100 \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

M_U = Massa úmida (g) no tempo T_i (Tempo que a amostra foi retirada do banho de imersão)

M_S = Massa seca (g) da amostra que foi retirada no tempo T_i

4.2.2 Parboilização

4.2.2.1 Seleção e limpeza

Antes de iniciar o processo de parboilização a umidade dos grãos de arroz foi estimada utilizando-se o método dielétrico, com auxílio do determinador de umidade Grainer II PM-300 (Figura 10). Em seguida, as amostras foram selecionadas e limpas conforme descrito no item 4.2.1.

Figura 10 – Medidor dielétrico (Grainer II PM – 300) de umidade de grãos

4.2.2.2 Encharcamento

Para cada cultivar estudada (BRS Primavera e BRS Sertaneja) utilizou-se delineamento composto central rotacional (DCCR), que inclui um fatorial completo 2^2, mais três repetições no ponto central e 4 pontos axiais, totalizando 11 ensaios, que foram conduzidos de maneira aleatória (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Este delineamento foi utilizado para estudo do efeito da temperatura da água (°C) e tempo de imersão na água (min) na etapa de encharcamento (variáveis independentes) sobre as características físicas, químicas e tecnológicas do arroz parboilizado e da água de imersão (variáveis dependentes). Os níveis originais reais das variáveis independentes foram definidos nos ensaios das isotermas de

sorção. Considerou-se para seleção das condições hidrotérmicas a serem estudadas, o critério de absorção de água na faixa de 28 - 32%, para que as amostras atingissem a umidade indispensável para a gelatinização. Os níveis codificados e originais reais da temperatura da água e do tempo de imersão na água para cada cultivar estão representados nas tabelas 6 e 7.

O índice de absorção de água; os sólidos solúveis totais e o pH na água de imersão do encharcamento; o índice de abertura da casca dos grãos após a secagem; o grau de polimento, a renda do benefício, o rendimento de inteiros, e o percentual de grãos com defeitos (danificados, grãos banana, manchados e picados e não gelatinizados) após o beneficiamento do arroz; o teor de amilose, a cor, a composição centesimal (umidade, cinzas, proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta e carboidratos), e os teores de minerais (K, P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn) após a moagem dos grãos de arroz sem parboilizar e parboilizados obtidos para cada ensaio da cv. BRS Primavera e BRS Sertaneja, foram considerados variáveis resposta.

Em um béquer de vidro com volume de 2L foi colocado cerca de 400 g de arroz em casca e 640 mL de água potável (1:1,6) com temperatura previamente definida conforme equação 1 do item 4.2.1. O béquer contendo a amostra foi inserido dentro do banho com água aquecida em uma das temperaturas definidas para o estudo (58 °C, 60 °C, 65 °C, 70 °C e 72 °C), conforme Tabelas 6 e 7, para as cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente. Este béquer foi tampado com folhas de alumínio para evitar possíveis perdas de calor e quedas de sujidades ou mesmo de água condensada na tampa do banho (Figura 11).

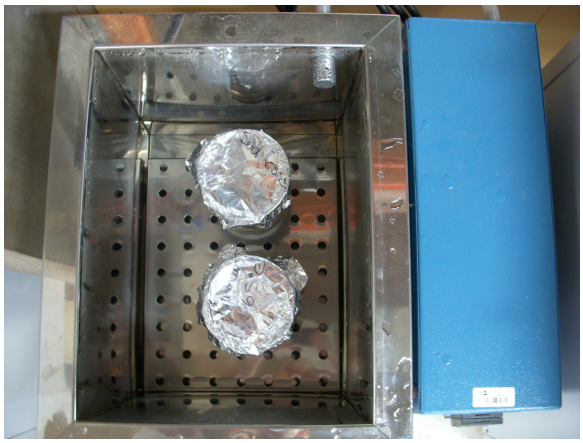


Figura 11 – Encharcamento das amostras em béquer de vidro tampado com folhas de alumínio dentro do banho maria

No final do encharcamento, o volume da água de imersão foi medido e após a redução da temperatura foram realizadas as análises de pH e sólidos solúveis totais.

4.2.2.3 Vaporização

Cada amostra de arroz encharcado, obtida no ensaio de encharcamento, foi colocada novamente em béquer de vidro com volume de 2 L, o qual foi tampado com folhas de alumínio, antes de ser submetida a vaporização (Figura 12). Em seguida as amostras de arroz úmido foram autoclavadas por 10 min., a 120 °C e 1,1 kgf/cm^2 de pressão, em autoclave vertical (Phoenix AV75; Prismatec, CS-50). As amostras autoclavadas foram espalhadas em bandeja de aço inox ou bandeja de plástico para a ambientalização por 30 min antes da etapa de secagem.

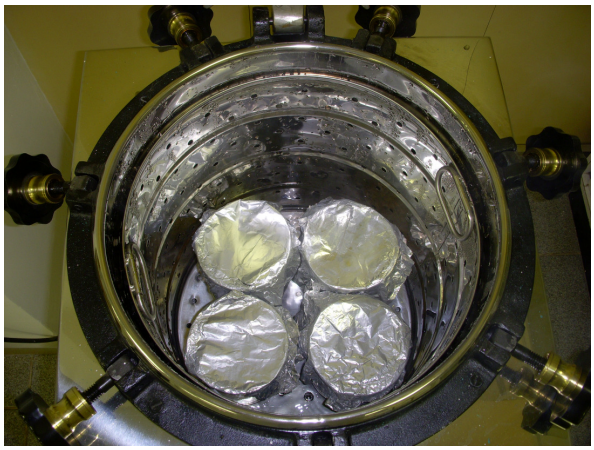


Figura 12 – Vaporização das amostras de arroz encharcado

4.2.2.4 Secagem

As amostras autoclavadas foram colocadas em bandejas de polipropileno e submetidas à secagem em estufa retilínea de bandejas com circulação forçada de ar (Nova ética, NE-1527) (Figura 13), à temperatura de 40 °C, por um período de 2-3 h, até atingirem 17-18% de umidade. A cada 20 min durante este período, as amostras foram revolvidas manualmente, para facilitar a perda uniforme de umidade dos grãos. Quando as amostras atingiram a faixa de umidade citada anteriormente, o processo de secagem foi interrompido por um período de 24 a 48 h, para que houvesse a dissipação natural do calor. Assim, amostras mantidas a temperatura ambiente e umidade relativa do ar 43,35% (média referente ao mês de agosto e setembro / 2008) atingiram 13% de umidade. Após a secagem das amostras foi realizada a análise do índice de abertura da casca. Em seguida as amostras foram submetidas ao beneficiamento.

Figura 13 – Estufa com circulação de ar forçada para secagem do arroz autoclavado

4.2.2.5 – Beneficiamento

O beneficiamento foi realizado após 24 h do processo de secagem, para que a temperatura do arroz estabilizasse em equilíbrio com a temperatura do ambiente, e os grãos se tornassem endurecidos. As amostras foram descascadas (Satake, IHU) (Figura 14).

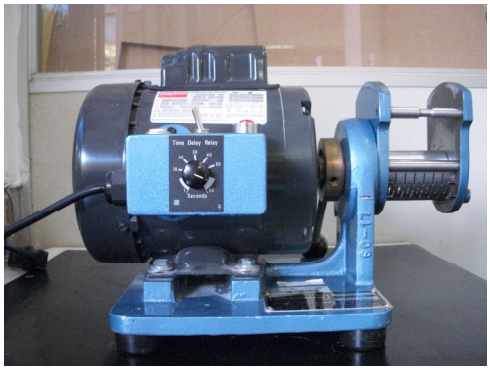
Figura 14. Máquina para descascar arroz, Satake, IHU

Em seguida, foram submetidas ao polimento (Grainman, 60-230-60-2AT) (Figura 15), durante 1 min, em máquina, previamente ajustada para evitar a quebra dos grãos e a retirada inadequada do pericarpo, tegumento, nucela, a camada de células aleurônicas e o gérmen (farelo).

As amostras beneficiadas foram armazenadas sob refrigeração (5 °C), em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD) (embalagem primária) e acondicionados em potes brancos de polipropileno (embalagem secundária), até o momento das análises.

Após o beneficiamento foi realizada a análise do grau de polimento e a renda do benefício e após a separação dos grãos inteiros e quebrados, a análise de rendimento de

inteiros, utilizando o moinho (Suzuki, MT-95) (Figura 16a). A separação de grãos inteiros dos quebrados foi efetuada por meio de classificador “Trieur” (Figura 16b), acoplado ao moinho. O "trieur" é um cilindro de paredes alveoladas que separa grãos quebrados, sementes de invasoras e outros materiais de comprimento menor do que os grãos. O movimento rotatório do cilindro permite que o material retido no interior dos alvéolos (grão quebrado) seja transferido para uma calha interna e separado dos grãos inteiros (ELIAS et al., 2005).



. **Figura 15** - Máquina para polir o arroz, Grainman, 60-230-60-2AT

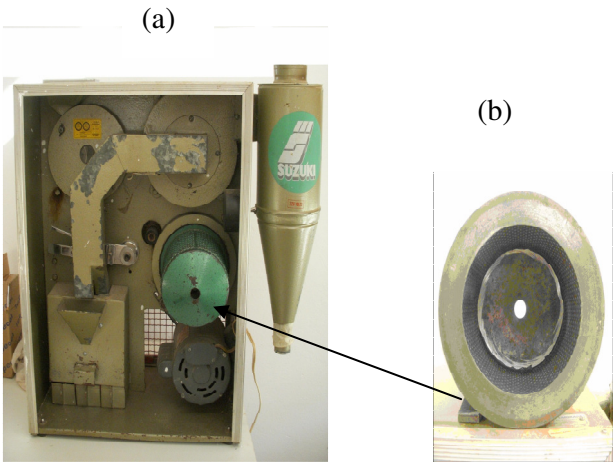


Figura 16 – Máquina para separar grãos inteiros dos quebrados (a) trieur (n° 1) (b)

4.2.3 Avaliação da qualidade química, tecnológica e sensorial

4.2.3.1 Caracterização da matéria prima

4.2.3.1.1 Avaliação tecnológica (análises físicas)

Para a avaliação tecnológica do arroz sem parboilizar foram realizadas as seguintes análises físicas do grão para cada cultivar: grau de polimento, renda do benefício, rendimento de inteiros, temperatura de gelatinização, análise de defeitos (danificados, bananas, manchados e picados), teste de cocção após o beneficiamento e cor da farinha.

▪ Grau de polimento (GP)

O GP foi calculado em triplicata conforme a Equação 3 (MOHAPATRA; BAL, 2006)

$$\text{Grau de polimento}\,(\%) = \left[1 - \left(\frac{\text{massa de grãos polidos}}{\text{massa de grãos integrais}}\right)\right] \cdot 100 \qquad \text{(Equação 3)}$$

▪ Renda do benefício

Foram separadas três subamostras com 100 g de arroz em casca de cada cultivar. Estas amostras foram descascadas, polidas e pesadas em seguida. A renda foi determinada por meio do cálculo do percentual de massa de grãos inteiros e quebrados após o polimento em relação à massa inicial dos grãos com casca (Equação 4), conforme estabelece a Portaria nº 269, do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1988).

$$\text{Renda do benefício}\,(\%) = \frac{\text{massa dos graõs polidos (inteiros + quebrados)}}{\text{massa dos grãos em casca}} \qquad \text{(Equação 4)}$$

▪ Rendimento de inteiros

A massa de grãos inteiros e quebrados após o polimento de cada cultivar foram separadas em máquina para esta finalidade, utilizando um trieur n° 01. O rendimento de grãos inteiros foi determinado por meio do cálculo do percentual de grãos inteiros, resultantes do benefício do arroz, conforme a Equação 5.

$$\text{Rendimento de inteiro}\,(\%) = \frac{\text{massa de grãos polidos (inteiros)}}{\text{massa dos grãos em casca}} \qquad \text{(Equação 5)}$$

▪ Defeitos gerais

Após o beneficiamento dos grãos realizou-se a determinação do percentual de defeitos gerais, considerando como tais, os grãos danificados, os grãos banana (Figura 17) e os manchados e picados (Figura 18). Foram retirados aleatoriamente cinco subamostras de cada

experimento, com 100 grãos cada, para a contagem do defeito. Analisou-se as subamostras conforme descrito no item 2.6.2.1, e calculou o percentual de defeitos gerais utilizando-se a Equação 6.

(a) (b)

Figura 17 – Grãos danificados (a) e os grãos banana (b)

Figura 18 – Grãos manchados e picados

$$\text{Defeitos gerais } (\%) = \frac{\sum \text{N}}{500} \cdot 100 \qquad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

$\sum N$ = o somatório dos grãos manchados e picados das cinco subamostras.

500 = constante (número total de grãos de arroz das cinco subamostras).

▪ Teste de Cocção

O teste de panela ou teste de cocção do arroz branco, foi realizado em duplicata conforme metodologia desenvolvida por Martinéz e Cuevas (1989), com adaptações

(Apêndice A). Esta análise simula a maneira como é preparado o arroz tipo longo fino pelo consumidor brasileiro e avalia a textura, a pegajosidade, o rendimento e o tempo de cocção por meio de um provador treinado. Este provador foi selecionado e treinado para avaliar diferentes cultivares de arroz. Inicialmente, realizou-se uma pré-seleção de candidatos a provadores com base na avaliação das respostas obtidas de um questionário quanto a sua disponibilidade para as sessões, interesse, condições médicas, aceitabilidade do produto em questão e uso de fumo. Posteriormente, os potenciais provadores foram avaliados quanto à sua acuidade sensorial através do teste triangular, e quanto ao interesse em participar do projeto. Após a seleção, iniciou-se o treinamento mediante reuniões onde foram apresentadas amostras correspondentes aos pontos da escala para os atributos pegajosidade e textura definidos (LIMA et al., 2006).

4.2.3.1.2 Análise química

A caracterização química das amostras de arroz polido das duas cultivares foi realizada em duplicata e compreendeu a determinação da composição centesimal (umidade, cinzas, proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta e carboidratos), o teor de amilose e a quantificação de alguns minerais mais relevantes (K, P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn). Com os dados obtidos da composição centesimal estimou-se o valor energético das farinhas. As amostras foram trituradas em moinho de facas (Perten, Laboratory Mill 3100), e a granulometria da farinha foi determinada pela passagem de 100 gramas de amostra por um conjunto de peneiras do aparelho Produtest (de 35, 60, 100, 140, 270 mesh e fundo), com agitação manual durante ± 10 min. Os resíduos de cada peneira e do fundo foram pesados em balança semi-analítica e os resultados expressos em porcentagem.

▪ Composição centesimal

Umidade

A umidade foi obtida pela perda do material submetido ao aquecimento em estufa retilínea (Fanem, 315/4) a 105 °C durante 16 h, ou até peso constante, conforme técnica descrita pelo método oficial n° 925.10 da AOAC International (1997).

Cinzas

As amostras utilizadas para análise de umidade foram aproveitadas para análise de cinzas. As cinzas foram determinadas por meio da carbonização total da matéria orgânica em forno mufla (Bravac, M2) a 550 °C, por cerca de 10 h, ou até obter cinzas claras, como

descrito no método oficial n° 923.03 da AOAC International (1997).

Proteína bruta

Para a análise de proteína bruta, determinou-se o nitrogênio total pelo método de micro-Kjeldahl, segundo o método oficial n° 960.52 da AOAC International (1997). O nitrogênio total foi convertido em proteína bruta utilizando-se o fator 5,95 (ALENCAR; ALVARENGA, 1991). Os equipamentos utilizados foram o bloco digestor (Tecnal, TE-0070) e o destilador de nitrogênio (Tecnal, TE-0363).

Extrato etéreo

O extrato etéreo foi determinado em extrator de óleos e graxas (Marconi, MA 044/8/50), utilizando como solvente o éter de petróleo, conforme o método oficial n° 032/IV do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2005).

Fibra bruta

A fibra bruta foi obtida em determinador de fibra (Tecnal, TE-149), como descrito no método oficial n° 962.09 da AOAC International (1997), com adaptações (Apêndice B).

Carboidratos

Os carboidratos foram estimados por diferença, subtraindo-se de cem os valores obtidos para proteína bruta, extrato etéreo, cinzas e fibra bruta (BRASIL, 2003).

Valor energético

Para estimar o valor energético das amostras considerou-se os fatores de conversão de Atwater, de 4, 4 e 9 para proteínas, carboidratos e lipídios, respectivamente (MERRIL; WATT, 1973).

▪ Minerais

As análises de minerais (K, P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn) foram realizadas em duplicata no Laboratório de Análise Foliar e de Solos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. As amostras foram hidrolisadas em tubo de digestão contendo a solução nitroperclórica (2:1), e delas retiradas alíquotas de 20 mL para análise de P (espectrofotômetro, Spectronic 20), Ca, Mg, Cu, Mn e Zn (aparelho de absorção atômica, Elmer AA 100) e K (fotômetro de chama, D-igimed, DM-61) segundo metodologia de Bataglia et al. (1978).

▪ **Amilose aparente**

O teor de amilose aparente do amido foi determinado por técnica colorimétrica, de acordo com a metodologia desenvolvida por Martinéz e Cuevas (1989) e adaptada pela EMBRAPA Arroz e Feijão (Anexo A).

▪ **Temperatura de gelatinização (TG)**

A TG foi determinada, em triplicata, conforme a metodologia desenvolvida por Martinéz e Cuevas (1989). Esta temperatura foi estimada, indiretamente, mediante a nota média do grau de dispersão dos grãos de arroz crus quando em contato com uma solução alcalina (Figura 19).

TG alta (74 – 80 °C) TG intermediária (69 – 73 °C) TG baixa (63 – 68 °C)

Figura 19 – Dispersão dos grãos crus quando em contato com a solução alcalina

4.2.3.2 Caracterização do arroz parboilizado

4.2.3.2.1 Avaliação tecnológica (análises físicas do grão)

Para a avaliação tecnológica do arroz parboilizado foram realizadas as seguintes análises para cada experimento: índice de absorção de água após o encharcamento; teor de sólidos totais secos e pH na água de imersão do encharcamento; índice de abertura da casca dos grãos após a secagem; grau de polimento, renda do benefício, rendimento de inteiros e análise de defeitos (danificados, grão banana, manchados e picados e não gelatinizados).

▪ **Índice de absorção de água (IAA)**

Após o encharcamento, pesou-se o arroz úmido e retirou-se cerca de 2 g de amostra, em triplicata de cada experimento, para a análise do índice de absorção de água, conforme descrito no item 4.2.1.

▪ **Índice de abertura da casca (IAC)**

A determinação do IAC foi realizada após a secagem do arroz. Foram retirados aleatoriamente três subamostras com 100 grãos de cada experimento, para avaliação visual. Separou-se as unidades abertas, considerando como tal aquelas que apresentaram abertura maior ou igual a 1 mm (Figura 20). Para o cálculo do percentual de abertura da casca de grãos, utilizou-se a Equação 7.

Figura 20 – Grãos parboilizados com a casca aberta

$$IAC = \frac{N° \text{ de grãos abertos}}{N° \text{ total de grãos}} \cdot 100 \qquad \text{(Equação 7)}$$

▪ **Grau de polimento**

O GP foi calculado em triplicata conforme a Equação 3, do item 4.2.3.1

▪ **Renda do benefício e rendimento de inteiros**

Após a secagem dos grãos parboilizados foram separadas três subamostras com 100 g de arroz em casca de cada experimento. Estas análises foram realizadas conforme descrito no item 4.2.3.1.2.

▪ **Defeitos graves**

Após o beneficiamento dos grãos parboilizados realizou-se também a determinação do percentual de defeito grave, considerando como tal, os não gelatinizados (Figura 21). Para a avaliação do percentual de grão de arroz não gelatinizados (GNG), obtidos pelo processo hidrotérmico de parboilização utilizou-se o Método das Placas Polarizadas (AMATO, 1989). Para esta análise separou-se aleatoriamente cinco subamostras de cada experimento, com 50 grãos cada. Colocou-se cada subamostra nos orifícos do equipamento de luz polarizada e

realizou-se a contagem dos GNG, considerando-se como tal aqueles que se apresentarem totalmente leitosos (100% opacos). Para cálculo do percentual de GNG em cada subamostra foi utilizada a Equação 8.

(a) (b)

Figura 21 – Grãos não gelatinizados (a) e parcialmente gelatinizados (b)
Fonte: AMATO (1989)

$$\text{GNG } (\%) = \frac{N}{T} \cdot 100 \qquad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

N = número de grãos 100% opacos de cada subamostra

T = número total de grãos de arroz de cada subamostra

▪ Cor da farinha

A coloração da farinha dos grãos de arroz parboilizado foi determinada em colorímetro (Hunter lab, Color Quest II), sendo feita 3 leituras na amostra de cada experimento. Os parâmetros operacionais utilizados durante a análise foram: ângulo 10°, iluminante D_{65} e modo de calibração RSIN. Os resultados foram apresentados utilizando o sistema CIELAB, que são as médias dos valores de: L*, a*, b* e ΔE (MINOLTA, 1994). O padrão usado neste trabalho foi a leitura da farinha do arroz branco.

4.2.3.2.2 Avaliação tecnológica (análises físicas da água de imersão)

▪ Sólidos Totais Secos (STS)

A determinação do percentual de STS realizou-se conforme o método oficial n°202/IV do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2005).

▪ pH

A análise de pH realizou-se logo após a etapa de encharcamento, quando a água de imersão estava a temperatura ambiente. O pH foi determinado com potenciômetro (Tecnal, Tec-3MP) conforme método oficial n° 943.02 da AOAC International (1997).

4.2.3.3 Caracterização das amostras selecionadas de arroz parboilizado

4.2.3.3.1 Teste de Cocção

O teste de panela ou teste de cocção do arroz parboilizado de cada experimento, foi realizado em duplicata conforme descrito no item 4.2.3.1.1

4.2.3.3.2 Análise química

A caracterização química das amostras selecionadas de arroz parboilizado também foi realizada em duplicata e compreendeu a determinação da composição centesimal (umidade, cinzas, proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, carboidratos), a quantificação de alguns minerais mais relevantes (K, P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn) e o teor de amilose conforme descrito no item 4.2.3.1.2.

4.2.3.3.3 Análise sensorial

Realizou-se a análise sensorial dos três tratamentos selecionados de cada cultivar, pelo teste de aceitação. Este realizou-se em duas seções, sendo uma para cada cultivar parboilizada. Cem provadores não treinados avaliaram as amostras utilizando escala hedônica estruturada de 9 pontos para os atributos de aparência, aroma, sabor e textura (Apêndice C.1), segundo metodologia citada por (DELLA MODESTA, 1994) e responderam questionário de pesquisa de opinião (Apêndice C.2). As amostras foram servidas de forma monádica para não haver comparações, com a ordem de apresentação casualizada balanceada de acordo com o delineamento proposto por Wakeling e Macfie (1995), sendo cada provador um bloco. Pediu-se para os provadores que entre cada amostra fosse ingerido água. Os dados da avaliação sensorial foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) de dois fatores: amostras e provadores. Subsequentemente realizou-se o teste de comparação de médias de Tukey, ao nível estatístico de 5% de significância. Foi utilizado o software de análise estatística SAS (THE SAS SYSTEM, 1992).

Para o preparo das amostras utilizou-se panela semi-industrial (*Golden Kitchen)* e placas de Petri devidamente codificadas com números aleatórios de três dígitos. Primeiro

acrescentou na base desta panela dois litros de água, conforme Figura 22 e levou-se ao fogão, para ferver em fogo alto.

Figura 22 – Preparo das amostras utilizando panela Golden Kitchen
Fonte: LIMA et al. (2006)

Dentro de cada placa de Petri foram colocados 15 mL de água potável e acondicionadas sobre a grade perfurada da panela. A panela foi mantida tampada até a liberação de vapor, sendo destampada para adição de 6 g de amostra e 0,25 g de sal, para cada cultivar separadamente, dentro das placas de Petri; em seguida homogeneizaram-se as amostras com bastão de vidro (Figura 23), conforme metodologia descrita por Bassinello, Rocha e Cobucci (2004), e tampou-se a panela novamente.

Figura 23 – Homogeneização das amostras
Fonte: LIMA et al. (2006)

A panela permaneceu em fogo alto até a saída de vapor quando então diminuiu-se para fogo baixo, e iniciou-se a cronometragem de 30 min. Após este período de tempo, mediu-se a temperatura das amostras, as quais deveriam estar em torno de 45 °C para serem avaliadas pelos provadores em cabines individuais (BASSINELO; ROCHA; COBUCCI, 2004).

4.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

No anexo D são apresentados exemplos das programações do SAS for windows e passos do Statistica for windows versão 7.0 que foram utilizados neste trabalho (PROC ANOVA / TUKEY, PROC RSREG; ANOVA / MANOVA).

PROC ANOVA (Apêndice D.1), foi usada para efetuar a análise de variância e o teste Tukey (testes de comparação de médias); PROC RSREG (Apêndice D.2) para construir modelos de regressão quadráticos de superfície de resposta (THE SAS SYSTEM, 1992) e o ANOVA / MANOVA (Apêndice D.3) para o ajuste dos modelos de regressão múltipla e a construção dos gráficos de superfície de resposta bi e tridimensionais (STATISTICA FOR WINDOWS, 2002).

4.3.1 Análise de variância

Para avaliação dos resultados de caracterização das farinhas de arroz branco e parboilizadas, foi empregada a análise de variância (ANOVA) e determinada a significância pelo emprego do teste F ($P \leq 0,05$). Para o estudo comparativo das médias foi feito teste Tukey, verificando-se as médias estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade (PIMENTEL GOMES, 1990; THE SAS SYSTEM, 1992).

4.3.2 Metodologia de Superfície de Resposta

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) foi empregada para a análise do efeito combinado das variáveis independentes (x_1, x_2) nas respostas avaliadas (y_1). A resposta pode ser escrita como sendo função (f) de x: $y_1 = f(x_1, x_2)$.

As médias dos dados de cada um dos 11 ensaios para cada resposta foram tratadas por análise de regressão múltipla da MSR, para desenvolver modelos matemáticos de segunda ordem, contendo termos lineares, quadráticos e de interação das 2 variáveis independentes, com o emprego do SAS for windows (THE SAS SYSTEM, 1992). A fórmula geral deste modelo preditivo é representada pela Equação 9.

O modelo preditivo para cada resposta ou variável dependente pode ser empregado somente dentro da área experimental, não podendo ser feitas extrapolações. O modelo ideal deve ter: boa significância ($P \leq 0,05$), alta confiabilidade (dados dentro do intervalo de confiança de 95%, ou seja, resíduo irrelevante) e baixa variabilidade ($R^2 \geq 70\%$ e $C.V \leq 10\%$, sendo aceito até 20% em experimentos de campo) (MIRANDA, 1998).

Neste trabalho, a Anova (teste F) foi aplicada utilizando-se os valores codificados das

variáveis independentes e os valores reais das variáveis respostas. Na análise de variância foi observado a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança pelo teste F e o coeficiente de determinação (R^2), que quanto maior o seu valor (mais próximo de100%), melhor terá sido o ajuste do modelo aos dados experimentais observados (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1995).

$$y_1 = \beta_o + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

(Equação 9)

Onde:

$y_1 =$ função resposta genérica ou variável dependente

$x_1,\ x_2 =$ níveis codificados das variáveis independentes

$\beta_0 =$ ponto central do sistema ou ponto estacionário

$\beta' s =$ coeficientes estimados pelo método dos mínimos quadrados

$\varepsilon =$ resíduo que mede o erro experimental, apresentando uma distribuição normal com média zero e variância igual a s^2

Em alguns modelos, a regressão e a falta de ajuste foram significativas, e segundo Waszczynskyj et al. (1981), se o quadrado médio para o erro experimental apresentar valores baixo, os testes de significância para falta de ajuste devem ser considerados irrelevantes. Quando a falta de ajuste foi significativa e o erro experimental (erro puro) não era pequeno, pode ter ocorrido que alguma outra variável que não foi colocada no modelo esteja influenciando na resposta ou talvez haja necessidade de um modelo mais completo (MIRANDA, 1998).

No programa Statistica for windows (ANOVA / MANOVA) os termos não significativos foram retirados obtendo um modelo final ajustado mais adequado para descrever as características da região analisada. Em alguns casos em que os termos lineares foram quase significativos, estes foram mantidos no modelo (BOX et al., 1978), pois contribuíram de forma expressiva na resposta analisada. Nos modelos que o R^2 foi muito baixo (< 50%) foi realizado apenas o teste Tukey, pois os modelos não podem ser utilizados para fins preditivos, somente como indicadores de tendência.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ISOTERMAS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A determinação das isotermas de absorção de água foi realizada neste trabalho para conhecer o comportamento das cultivares de arroz de terras altas na etapa de encharcamento. Este conhecimento é fundamental para o êxito do processo, uma vez que a absorção de água depende de vários fatores, sendo diferente para cada cultivar e cada combinação binária.

As Figuras 24 e 25 ilustram a quantidade de água absorvida (%) pelo grão de arroz em casca em um determinado tempo (min) pelas cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente, em temperaturas de 60 ± 1 °C, 65 ± 1 °C e 70 ± 1 °C. Pode-se verificar nos gráficos, que as características de hidratação são semelhantes nas temperaturas estudadas para cada cultivar, com uma rápida absorção nas primeiras horas do encharcamento, seguido de uma leve tendência a estabilização, como verificado por Thakur e Gupta (2006).

No inicio do encharcamento, a capacidade de absorção é máxima em razão do arroz estar seco e o equilíbrio se estabelece rapidamente (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002). Além disso, de acordo com Gariboldi (1972), no início da maceração, a pressão de vapor da água do arroz em casca é praticamente zero, e o ar presente no endosperma é expulso por meio de espaços vazios, entre a casca e o endosperma e microporos do grão (capilaridade), sendo substituído por água aquecida, que causa a reorientação das moléculas de amilose e amilopectina, e consequentemente os grânulos de amido são hidratados rapidamente. Como resultado, o endosperma se satura, tendendo a uma estabilização, ou seja, a capacidade de absorção de água vai ficando cada vez menor, aumentando gradativamente o tempo necessário ao incremento de cada ponto de umidade (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002; MIAH et al., 2002a).

Como pode ser verificada, a absorção de água aumentou tanto com o aumento do tempo do encharcamento, como com a elevação da temperatura (MIAH et aI., 2002a). Segundo Thakur e Gupta (2006), a taxa de absorção de água depende da temperatura utilizada no encharcamento, ou seja, em temperaturas altas ocorre uma alta absorção de água, devido ao aumento do coeficiente de difusão.

Durante o processo de parboilização, cerca de 30% de umidade, é desejável no encharcamento do arroz em casca para as propriedades de hidratação (GARIBOLDI, 1974), pois baixo conteúdo de umidade no grão causa quebra durante o polimento do grão e resulta em textura inadequada após cocção (YANASE; OHTSUBO, 1986).

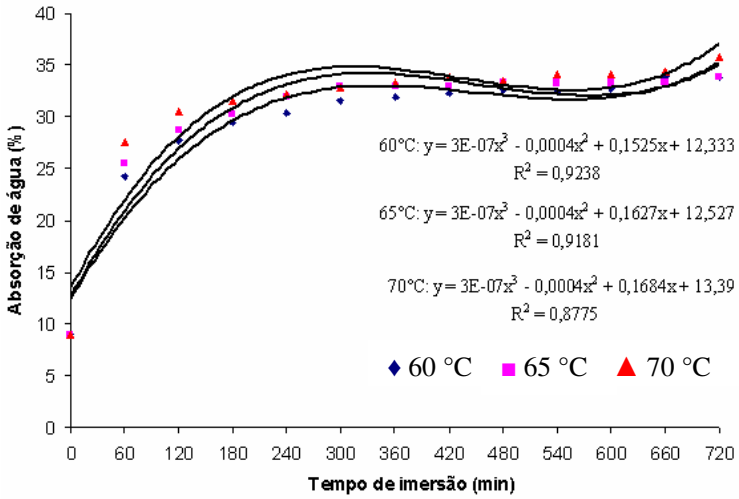


Figura 24. Curvas de absorção de água do grão em casca em diferentes temperaturas na etapa de encharcamento da parboilização da cv. BRS Primavera

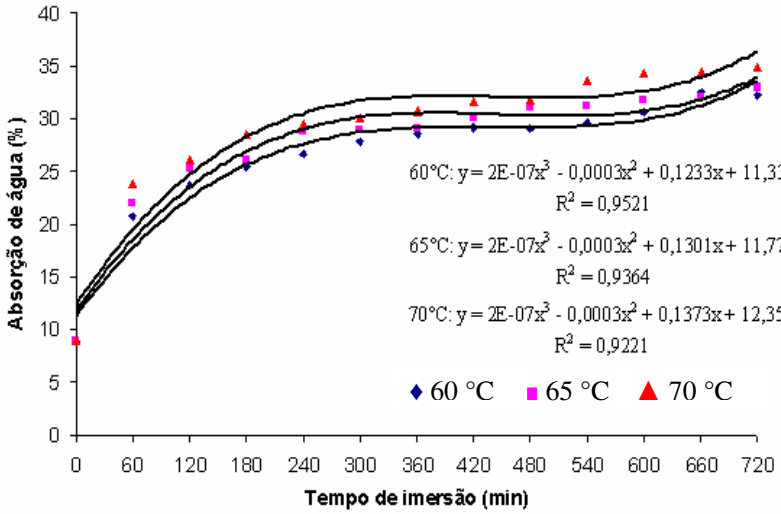


Figura 25. Curvas de absorção de água do grão em casca em diferentes temperaturas na etapa de encharcamento da parboilização da cv. BRS Sertaneja

As características do grão das cultivares também devem ser levadas em consideração, como a geometria do grão, principalmente espessura, casca e película fina. As cultivares estudadas apresentam geometria alongada, pouca diferença com relação ao comprimento, espessura e largura do grão, porém a cv. BRS Primavera é menor (0,75 cm) e menos espessa (0,16 cm) que a cv. BRS Sertaneja (0,77 cm e 0,18 cm, respectivamente) o que contribuiu para para um menor tempo para o centro da cariopse atingir 30% de umidade (BONOW et al., 2007; FONSECA et al., 2007). A cv. BRS Primavera atingiu 30% de umidade na quarta,

terceira e segunda hora de encharcamento para as temperaturas de 60, 65 e 70°C, respectivamente. Já a cv. BRS Sertaneja atingiu 30% de umidade na décima, na sétima e quinta hora de encharcamento para as temperaturas de 60, 65 e 70°C, respectivamente.

5.2 EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE IMERSÃO DA ETAPA DE ENCHARCAMENTO NAS CARCACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO GRÃO DE ARROZ PARBOILIZADO

As médias dos dados experimentais do IAA (%) e do IAC (%) para a cv. BRS Primavera estão na Tabela 8. As análises estatísticas resumidas estão nos Anexos B1 e B2. A Tabela 9 mostra os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas.

Tabela 8. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos de Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Abertura da Casca (IAC) para a cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS (%)	
	X_1 (°C)	X_2 (min)	IAA	IAC
1	60	112	29,06±1,82	31,67±4,04
2	60	368	30,39±0,13	34,67±3,21
3	70	112	33,06±0,50	48,00±1,73
4	70	368	35,04±0,32	51,33±1,53
5	65	60	29,22±1,13	27,67±4,62
6	65	420	33,00±0,18	43,67±1,53
7	58	240	29,37±1,38	33,67±0,58
8	72	240	35,25±0,65	55,00±1,73
9	65	240	32,09±0,70	41,67±0,58
10	65	240	32,37±0,20	43,00±2,00
11	65	240	32,87±0,47	42,33±1,53

VAR. IND.:Variáveis independentes

Tabela 9. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Abertura da Casca (IAC) para a cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTAS (%)	MODELO*	R^2
IAA	$y_i = 32{,}4225 + 2{,}1321x_1 + 1{,}0837x_2 - 0{,}6193x_2^2$	96,97
IAC	$y_i = 43{,}6104 + 7{,}9377x_1 + 3{,}6245x_2 - 3{,}4000x_2^2$	90,14

y_i: resposta; x_1: Temperatura (°C); x_2: Tempo (min); *P ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo teste F)

As médias dos dados experimentais do IAA (%), e do IAC (%) para a cv. BRS

Sertaneja estão na Tabela 10. As análises estatísticas resumidas estão nos Anexos C1 e C2. A Tabela 11 mostra os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas.

Tabela 10. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos de Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Abertura da Casca (IAC) para a cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS (%)	
	X_1 (°C)	X_2 (min)	IAA	IAC
1	60	250	29,51±0,88	29,33±6,35
2	60	590	30,71±0,35	30,67±1,15
3	70	250	33,43±0,35	47,33±1,53
4	70	590	34,13±1,54	49,00±2,00
5	65	180	30,85±1,65	26,00±3,61
6	65	660	33,39±2,61	47,00±6,93
7	58	420	29,68±0,71	27,67±1,15
8	72	420	35,34±0,73	51,67±1,15
9	65	420	32,61±0,15	36,33±1,53
10	65	420	32,78±1,24	35,00±2,00
11	65	420	32,70±0,98	36,67±1,53

VAR. IND.:Variáveis independentes;

Tabela 11. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Abertura da Casca (IAC) para a cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTAS (%)	MODELO*	R^2
IAA	$y_i = 32{,}5222 + 1{,}9276x_1 + 0{,}6860x_2 - \mathit{0{,}3271}x_2^2$	96,03
IAC	$y_i = 37{,}8788 + 8{,}8300x_1 + 4{,}0880x_2$	83,03

y_i: resposta; x_1: Temperatura (°C); x_2: Tempo (min); * P ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo teste F); itálico: o efeito apesar de não ser significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro, contribuiu com a resposta

As médias dos dados experimentais do grau de polimento (%), da renda do benefício (%), e do rendimento de inteiros (%) para a cv. BRS Primavera estão na Tabela 12. As análises estatísticas resumidas estão nos Anexos B3, B4 e B5. A Tabela 13 apresenta os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas.

As médias dos dados experimentais do GP (%), da renda do benefício (%), e do rendimento de inteiros (%) para a cv. BRS Sertaneja estão nas Tabelas 14. As análises estatísticas resumidas estão nos Anexos C3, C4 e C5. A Tabela 15 apresenta os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas.

Tabela 12. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos de grau de polimento (GP), renda do benefício e rendimento de inteiros para a cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS (%)		
	X_1 (°C)	X_2 (min)	GP	RENDA	RENDIMENTO
1	60	112	6,76 ± 0,32	73,72 ± 0,27	70,21 ± 0,35
2	60	368	7,12 ± 0,54	73,57 ± 0,34	66,15 ± 0,88
3	70	112	8,79 ± 0,22	73,72 ± 0,24	68,70 ± 0,59
4	70	368	6,62 ± 0,45	74,09 ± 0,23	66,68 ± 0,31
5	65	60	8,91 ± 0,08	72,83 ± 0,24	67,79 ± 0,27
6	65	420	9,32 ± 0,38	72,02 ± 0,06	64,77 ± 0,19
7	58	240	8,69 ± 0,55	73,60 ± 0,10	69,58 ± 0,24
8	72	240	6,54 ± 0,30	75,97 ± 0,38	68,62 ± 0,38
9	65	240	8,69 ± 0,40	73,09 ± 0,35	67,03 ± 0,04
10	65	240	8,98 ± 0,15	72,79 ± 0,25	65,94 ± 0,80
11	65	240	9,03 ± 0,11	72,42 ± 0,27	65,99 ± 0,43

VAR. IND.:Variáveis independentes;

Tabela 13. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do grau de polimento (GP), da renda do benefício e do rendimento de inteiros para a cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTAS (%)	MODELO*	R^2
Grau de polimento	$y_i = 8,8895 - 1,2708x_1^2 - \mathit{0,5025x_1x_2}$	76,69
Renda	$y_i = 72,6389 + 0,4850x_1 + 1,1093x_1^2$	79,74
Rendimento	$y_i = 66,3506 + 1,4647x_1^2 - 1,2983x_2$	87,19

y_i: resposta; x_1: Temperatura (°C); x_2: Tempo (min); *P ≤0,05 (nível de probabilidade pelo teste F); itálico: o efeito apesar de não ser significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro, contribuiu com a resposta

Tabela 14. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos do grau de polimento (GP), da renda do benefício e do rendimento de inteiros para a cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS (%)		
	X_1 (°C)	X_2 (min)	GP	RENDA	RENDIMENTO
1	60	250	9,33 ± 0,21	74,31 ± 0,20	73,65 ± 0,24
2	60	590	8,47 ± 0,15	74,85 ± 0,16	73,40 ± 0,22
3	70	250	6,55 ± 0,12	76,79 ± 0,13	75,58 ± 0,19
4	70	590	6,92 ± 0,22	76,39 ± 0,05	75,20 ± 0,10
5	65	180	7,26 ± 0,30	76,66 ± 0,28	73,26 ± 4,51
6	65	660	8,07 ± 0,07	76,94 ± 1,72	75,00 ± 1,94
7	58	420	8,89 ± 0,28	73,48 ± 0,18	72,41 ± 0,23
8	72	420	6,41 ± 0,33	77,26 ± 0,19	75,71 ± 0,28
9	65	420	7,08 ± 0,24	76,21 ± 0,06	75,22 ± 0,57
10	65	420	7,85 ± 0,37	76,67 ± 2,05	75,36 ± 1,92
11	65	420	6,98 ± 0,47	76,62 ± 0,32	75,62 ± 0,39

VAR. IND.:Variáveis independentes;

Tabela 15. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do grau de polimento (GP), da renda do benefício e do rendimento de inteiros para a cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTAS (%)	MODELO*	R^2
Grau de polimento	$y_i = 7,6191 - 0,9851x_1 + \mathit{0,3075x_1x_2}$	81,73
Renda	$y_i = 76,5279 + 1,1763x_1 - 0,7113x_1^2$	90,89
Rendimento	$y_i = 75,4000 + 1,0539x_1 - 0,5874x_1^2 - \mathit{0,5424x_2^2}$	77,98

y_i: resposta; x_1: Temperatura (°C); x_2: Tempo (min); *P ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo teste F); itálico: o efeito apesar de não ser significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro, contribuiu com a resposta

5.2.1 Índice de absorção de água (IAA)

A análise de variância para o Índice de Absorção de Água (IAA) da cv. BRS Primavera, mostrou que o modelo matemático completo foi significativo (P = 0,0003) e a falta de ajuste não foi significativa (FA = 0,4624), podendo ser considerado preditivo, pois apresentou coeficiente de variação (C.V.) baixo (1,34%) e 98,11% das respostas explicáveis pelo modelo completo, sendo reduzido para 96,97% no modelo ajustado. O efeito linear da temperatura e os efeitos lineares e quadráticos do tempo de imersão foram os mais importantes para esta resposta, como pode ser visto no Anexo B1.

Para o Índice de Absorção de Água (IAA) da cv. BRS Sertaneja foi possível verificar pela análise de variância, que o modelo foi significativo (P = 0,0003), com C.V. baixo (1,15%), podendo ser considerado preditivo, pois apresentou 98% das respostas explicáveis pelo modelo completo, e 96,03% pelo modelo ajustado. A falta de ajuste mesmo sendo significativa (FA = 0,0287), foi considerada aparente porque o quadrado médio do erro experimental (QM = 0,0067) foi baixo (WASZCZYNSKYJ et al., 1981). O efeito linear da temperatura e do tempo de imersão foram os mais importantes para esta resposta. Apesar do efeito quadrático do tempo de imersão não ser significativo (0,0654), foi mantido no modelo por ser expressiva sua influência na resposta (Anexo C1).

A partir dos modelos ajustados para cada cultivar (Tabela 9 e 11), foram traçados gráficos que mostram a variação do IAA (%) em função da temperatura (°C) e do tempo de imersão (min), como pode ser observado nas Figuras 26 e 27, sendo que os pontos brancos no gráfico de superfície tridimensional ou nas curvas de nível são as médias dos dados experimentais.

De acordo com Gariboldi (1972), a faixa ideal para o IAA (%) na etapa de encharcamento é próxima de 30% de umidade, pois baixo conteúdo de umidade no grão nesta etapa causa sua quebra durante o polimento e resulta em textura inadequada após cocção

(YANASE; OHTSUBO, 1986) e alto conteúdo de umidade (acima de 30%), a cariopse incha consideravelmente devido a parcial gelatinização do amido, e como consequência ocorre o rompimento da casca, o que é bastante indesejável, pois a água lava e arrasta muitas substâncias contidas no grão (AMATO; ELIAS, 2005).

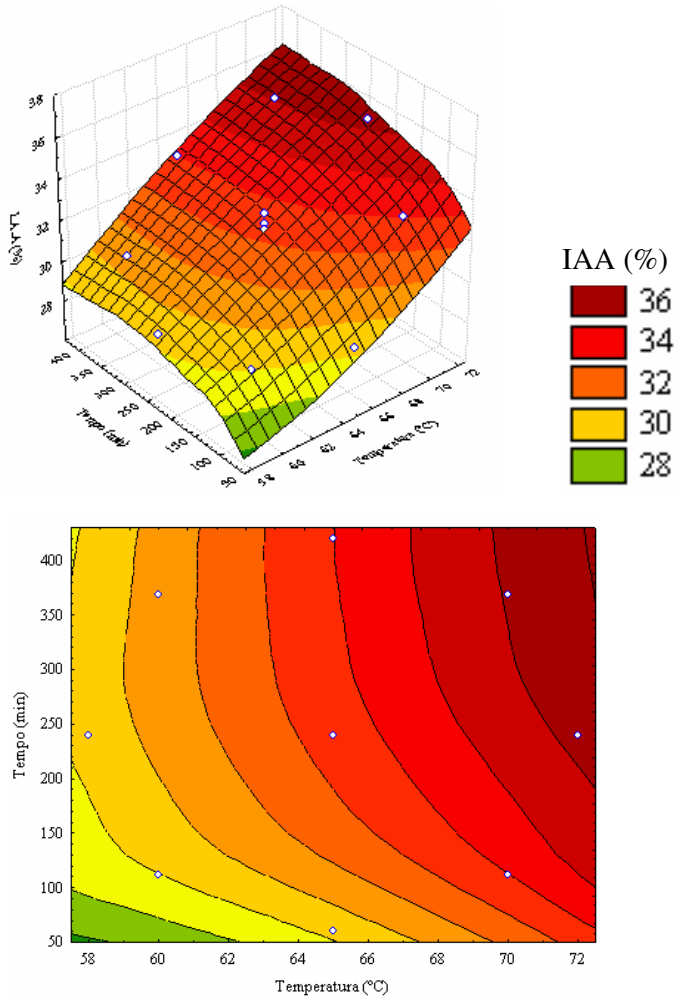


Figura 26. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o IAA (%) dos grãos parboilizados da cv. BRS Primavera

Para a cv. BRS Primavera, verifica-se na Figura 26 que a faixa próxima de 30% de IAA localiza-se para as temperaturas entre 58 - 60°C e nos tempos de imersão entre 200 - 420 min. Nesta mesma faixa de temperatura e tempos de imersão de 112 – 200 min (região transversal superior). Já para a faixa de temperatura entre 60 – 67 °C nos tempos de imersão entre 60 - 112 min (região centro transversal da área). Estes resultados comprovam, que existe uma faixa ideal de temperatura e de tempo de imersão utilizados no encharcamento, que facilita a penetração superficial da água no grão, sem que ocorra excessiva abertura da casca,

pois nesta mesma região experimental observou-se também o menor índice de abertura da casca. Apesar destas regiões serem consideradas ideais, a que empregou a faixa de temperatura de 60 – 67 °C e tempos de imersão de 60 – 112 min é a mais vantajosa devido a faixa de temperatura estar abaixo da faixa de gelatinização dos grânulos de amido e o menor tempo de imersão utilizados, o que representa o menor custo e tempo para se conseguir o objetivo final.

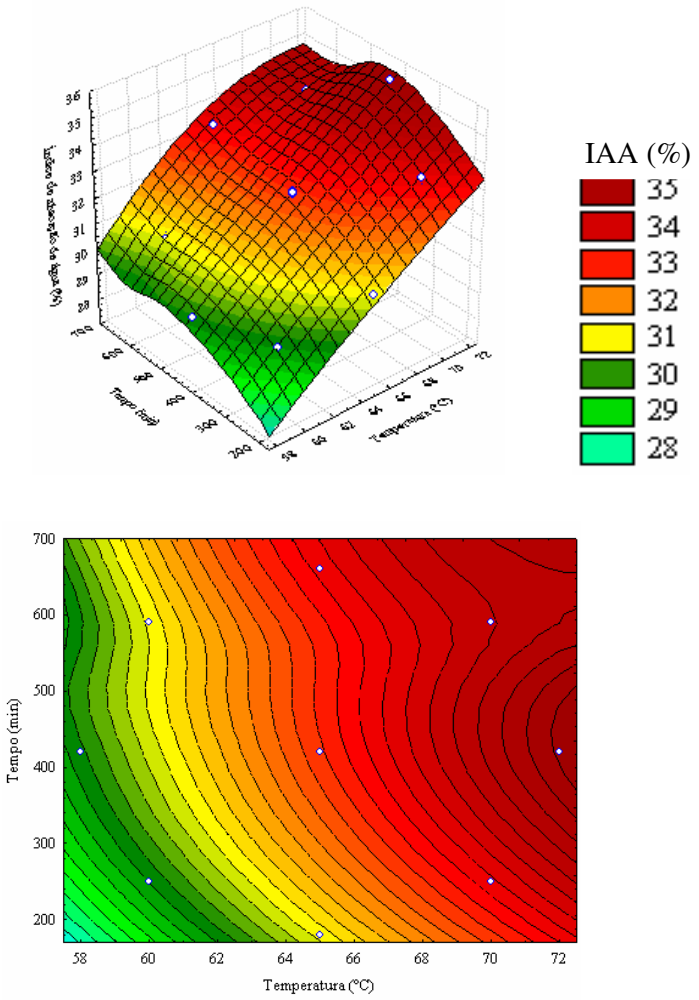


Figura 27. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o IAA (%) dos grãos parboilizados da cv. BRS Sertaneja

A Figura 27, apresenta que a região ideal para o IAA (%) da cv. BRS Sertaneja, encontra-se na faixa de temperaturas entre 58 - 60°C e nos tempo de imersão entre 400 - 660 min. Nesta mesma faixa de temperatura e tempos de imersão de 250 – 400 min. Já para a faixa de temperatura entre 60 – 64 °C, nos tempos de imersão entre 180 - 250 min (região centro transversal da área). Justamente nesta região citada, houve também o menor índice de

abertura da casca, ou seja, o grão absorveu a quantidade de água ideal sem comprometer a abertura da casca. Na região abaixo da ideal (temperatura de 58 - 60 °C e tempo de imersão inferior a 250 min), o conteúdo de umidade no grão causa quebra durante o polimento e resulta em textura inadequada após cocção (YANASE; OHTSUBO, 1986). E nas regiões acima (temperaturas acima de 64 °C em qualquer tempo estudado), o grão absorve muita água resultando em altos índices de abertura da casca, aumentando-se esse efeito entre 70 - 72 °C. A região que empregou a faixa de temperatura de 60 - 64°C e tempos de imersão de 180 – 250 min é a mais vantajosa devido a faixa de temperatura estar abaixo da faixa de gelatinização e o menor tempo de imersão utilizados, o que representa menor custo operacional para se conseguir o objetivo final.

Verifica-se que a região ideal de absorção de água necessária para atingir 30% de umidade para as cvs. estudadas foram diferentes, justamente por elas apresentarem a geometria do grão diferentes (principalmente, espessura). Como o grão da cv. BRS Sertaneja é mais espesso (0,18 cm), comparado com o da cv. BRS Primavera (0,16 cm de espessura), é necessário um maior tempo nas mesmas condições de temperatura para que o centro da cariopse atinja 30% de umidade.

O IAA depende da disponibilidade de grupos hidrofílicos para se ligarem à molécula de água. O amido nativo, praticamente não apresenta absorção de água à frio, já um amido pré-gelatinizado apresenta valores relativamente altos, dependendo do grau de severidade do tratamento a que foi submetido (LINKO; COLONNA; MERCIER., 1981).

A absorção de água pode ser aumentada, quer por meio do aumento do tempo de imersão ou pela elevação da temperatura de imersão, o que verificou-se para as duas cvs. estudadas (Figuras 26 e 27). A análise estatística mostrou que o efeito linear da temperatura foi significativo para ambas cultivares. Segundo Ali e Pandya (1974), a dependência direta entre a taxa de absorção de água e a temperatura pode ser explicada. Com o aumento da temperatura ocorre expansão do ar nos poros, facilitando a entrada de água para os grânulos; com aumento da temperatura de maceração, a energia fornecida na forma de calor enfraquece a estrutura granular devido a ruptura das ligações de hidrogênio, ampliando a superfície para absorção de água nos grânulos; a absorção de água pelo amido é um processo que depende do coeficiente de difusão, que aumenta com a temperatura, devido a alterações de algumas propriedades, como a pressão de vapor, a viscosidade, a densidade e a tensão superficial.

O efeito linear do tempo de imersão para as duas cvs. também foram significativos. Gariboldi (1972), num dos trabalhos mais completos sobre a parboilização, publicado pela FAO, recomenda rapidez na operação para evitar os efeitos fermentativos e processos

enzimáticos, com suas consequências desfavoráveis no sabor, cor e odor do produto. Segundo Amato, Bittencourt e Guindani (1989), de fato, o binômio "tempo x temperatura" se complementam, na medida que o efeito na penetração da água, em intervalos discretos das duas variáveis, se dá na medida que o decréscimo de uma é compensado com o acréscimo da outra. E para decidir o tempo de imersão, devem ser levados em conta as características de hidratação do arroz, que dependem da variedade, das condições de cultivo e do tempo de armazenamento. Segundo Amato e Elias (2005), tempo excessivamente curto (encharcamento muito rápido), menor do que 4 h costuma apresentar problemas operacionais e de qualidade do produto. Para se conseguir encharcamento em tempo inferior a quatro horas, deve-se considerar duas situações: a) quando a temperatura é muito alta, geralmente superior a 70°C, ocorre ruptura excessiva da casca e deformação de grãos; b) quando o tempo é insuficiente para uniformizar a distribuição da água por difusão, ocorre desuniformidade na gelatinização e queda no rendimento industrial. Tempo excessivamente longo (encharcamento muito lento), maior do que 8 h, também é inconveniente pois são acompanhados por indesejáveis alterações de sabor e odor, com predisposição à posterior intensificação de cor nos grãos parboilizados.

A maior absorção de água para as duas cultivares foi encontrada em regiões com altas temperaturas e tempos de imersão, ou seja, em condições severas, que acarretaram uma destruição da estrutura cristalina dos polímeros, permitindo sua liberação e, consequentemente uma maior disponibilidade de grupos hidrofílicos para se ligarem à molécula de água.

Miah et al. (2002a) também verificaram que o encharcamento a quente por longo tempo provocaram a ruptura das ligações de hidrogênio e o enfraquecimento da estrutura micelar dos grânulos de amido, provocando maior penetração de água no grão. Pois, o encharcamento em água quente aumenta a taxa de difusão da água por capilaridade, com movimento de água da superfície até o centro do grão, também por absorção molecular e hidratação.

5.2.2 Índice de abertura da casca (IAC)

Para o IAC da cv. BRS Primavera foi possível notar pela análise de variância (Anexo B2) que, embora o modelo completo seja significativo (P = 0,0035), o R^2 seja 94,58% e o C.V médio (6,81%), a falta de ajuste foi significativa (FA = 0,0338) e o quadrado médio do erro experimental (QM = 0,4444) foi alto, o que significa que o modelo não pode ser usado para fins preditivos (WASZCZYNSKYJ et al., 1981). Apesar disso, o efeito linear da temperatura

e do tempo de imersão e o efeito quadrático do tempo de imersão foram significativos para a resposta estudada.

O IAC para a cv. BRS Sertaneja apresentou modelo completo significativo (P = 0,0183), com R^2 igual a 89,23%, e C.V. alto (11,42%). A falta de ajuste foi significativa (FA = 0,0248), e o quadrado médio do erro experimental (QM = 0,7778) também foi alto, portanto os dados experimentais não foram adequadamente ajustados ao modelo (Anexo C2). No entanto, os efeitos lineares da temperatura e do tempo de imersão foram significativos, servindo para verificar a tendência da resposta.

Para as cultivares analisadas, pode-se verificar que o rompimento da casca foi significativamente mais frequente em temperaturas elevadas (principalmente, acima de 65°C), sendo justamente neste intervalo que absorveram percentagens de umidade acima de 32% (Tabelas 8 e 10). A temperatura teve o efeito que mais contribuiu para a variação do IAC em ambas cultivares o que pode ser verificado nos Anexos B2 e C2.

Durante o encharcamento, deve-se levar em consideração a temperatura utilizada e a quantidade de água absorvida. Em temperaturas elevadas (principalmente, acima da temperatura de gelatinização) e quando a umidade do grão excede 30 - 32%, a cariopse incha consideravelmente devido a parcial gelatinização do amido, e como consequência ocorre o rompimento da casca (*splitting*). É bastante indesejável a abertura da casca, pois a água lava e arrasta muitas substâncias contidas no grão (AMATO; ELIAS, 2005). Segundo Bhattacharya (1986), o encharcamento realizado em temperaturas elevadas (principalmente, acima da temperatura de gelatinização) deve ser severamente monitorado e paralizado no ponto apropriado, quando o conteúdo de umidade estiver próximo de 30%, o que foi confirmado pelos dados obtidos neste trabalho.

5.2.3 Grau de polimento (GP)

A análise de variância para o GP da cv. BRS Primavera, mostrou que o modelo matemático completo foi significativo (P = 0,0398) e a falta de ajuste não foi significativa (FA = 0,0510), podendo ser considerado preditivo, pois apresentou coeficiente de variação (C.V.) médio (7,86%) e 85,02% das respostas explicáveis pelo modelo, sendo reduzido para 76,69% no modelo ajustado. O efeito quadrático da temperatura foi o mais importante para esta resposta, porém apesar da interação não ser significativa (0,1066), foi mantida na modelo por contribuir expressivamente com a resposta (Anexo B3).

Para o GP da cv. BRS Sertaneja foi possível verificar pela análise de variância, que o modelo foi significativo (P = 0,0144), a falta de ajuste não foi significativa (FA = 0,6388) e o

C.V. médio (5,63%), podendo ser considerado preditivo, pois apresentou 90,26% das respostas explicáveis pelo modelo completo, e 81,73% pelo modelo ajustado. O efeito linear da temperatura foi o mais importante para esta resposta. Apesar da interação não ser significativa (0,1770), também foi mantida no modelo por ser expressiva sua influência na resposta (Anexo C3).

A partir dos modelos ajustados para cada cultivar (Tabelas 13 e 15), foram traçados gráficos que apresentam a variação do GP (%) em função da temperatura (°C) e do tempo de imersão (min), como pode ser visto nas Figuras 28 e 29.

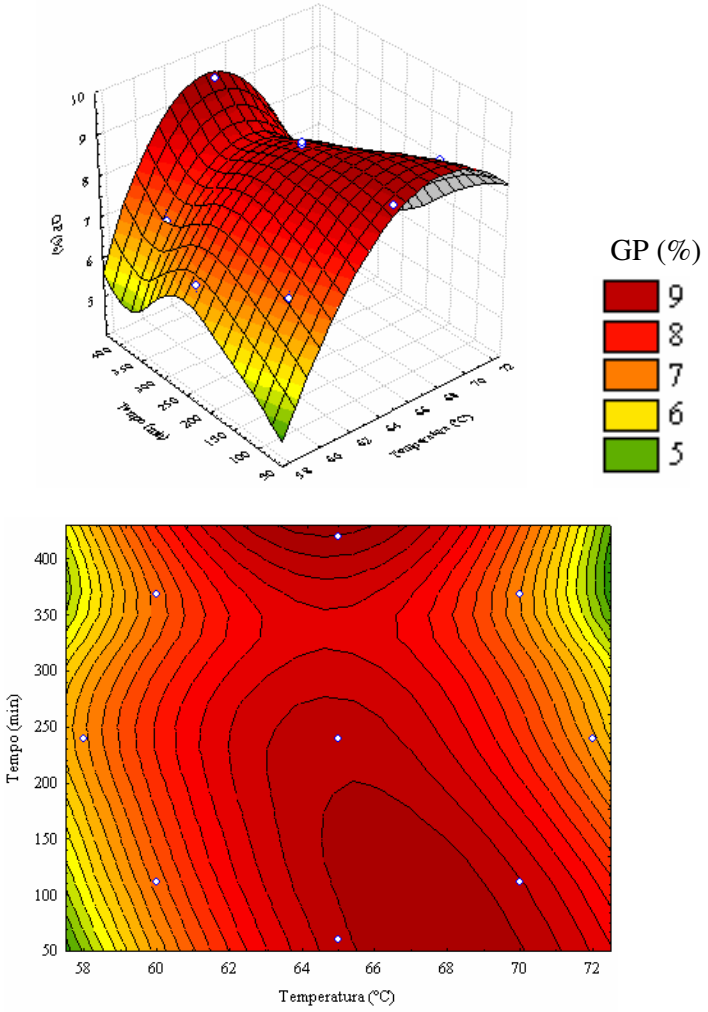


Figura 28. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o GP (%) do grãos parboilizados da cv. BRS Primavera

A Figura 28, apresenta as regiões que tem os maiores valores de GP, nessa encontram- se nas faixas de temperaturas entre 65 - 70°C e tempo de imersão entre 60 - 200 min (região central da área retangular) e na faixa de temperatura entre 62 – 68 °C e tempos de imersão

entre 380 - 420 min (circunferência superior dentro da área retangular). Ao analisar a Figura 30 de renda do benefício e rendimento de inteiros (Figura 32), verifica-se que justamente nesta região citada de maiores GP, houve também a menor renda do benefício (principalmente na temperatura de 65 °C) e rendimento de inteiros. Portanto as regiões ideais para esta variável resposta encontra-se nas faixas de temperaturas de 58 – 60 °C e tempos de imersão entre 60 – 420 min e entre 70 – 72 °C e tempos de imersão entre 240 – 420 min, pois ocorreu também a maior renda e rendimento de inteiros. Destas condições citadas a primeira combinação binária seria a ideal pois utiliza menores temperaturas e tempos de imersão para obter os mesmos resultados. Segundo Andrews et al. (1992) o aumento do grau de polimento resulta em maior remoção da camada do farelo e consequentemente uma redução na renda do benefício e no rendimento de inteiros.

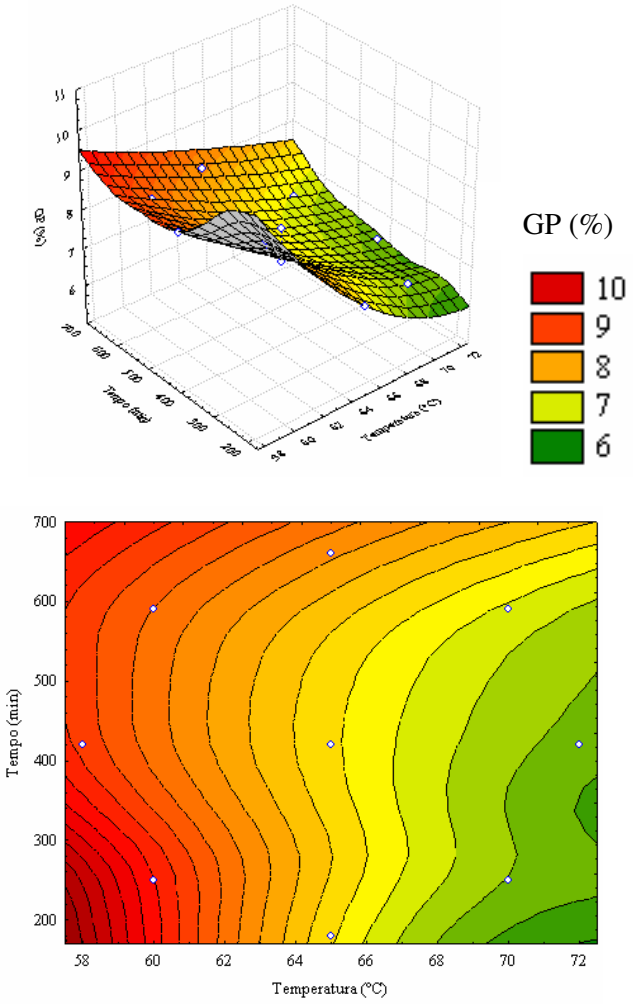


Figura 29. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o GP (%) do grãos parboilizados da cv. BRS Sertaneja

A região que apresentou o maior GP (%) para a cv. BRS Sertaneja, encontra-se na faixa de temperatura entre 58 - 60°C e nos tempos de imersão entre 180 – 660 min (Figura 29). Ao verificar os gráficos de renda do benefício (Figura 31) e rendimento de inteiros (Figura 33), verifica-se que os maiores valores encontram-se em temperaturas mais elevadas (principalmente acima de 65 °C) onde a porcentagem de farelo removido durante o polimento foi menor.

Verifica-se que nas duas cultivares estudadas, o menor grau de polimento ocorreu em temperaturas elevadas (principalmente na faixa de temperatura de gelatinização). Porém, a cv. BRS Primavera também obteve menor grau de polimento em temperaturas entre 58 – 60 °C, provavelmente por ser uma cultivar mais delgada e por isso atinge a quantidade de água ideal mais rápido que a cv. BRS Sertaneja, se preparando melhor para a gelatinização dos grãos na etapa de vaporização, e consequentemente tornando os grãos mais resistentes ao polimento.

Para fins de comparação com os dados obtidos do arroz parboilizado, os dados experimentais de GP para as amostras de arroz branco das cultivares estudadas estão na Tabela 16.

Tabela 16. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos do grau de polimento (GP) das amostras de arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja

Cultivar	GP (%)
BRS Primavera	12,49 ± 0,33
BRS Sertaneja	12,56 ± 0,42

O GP das cultivares estudadas variaram de 12,49 – 12,56 % nas amostras de arroz branco e de 6,41 – 9,33% nas amostras de arroz parboilizados. Após a parboilização, o GP da cv. BRS Primavera foi de 6,54 – 9,32% (Tabela 12), ou seja, reduziu de 3,17 – 5,95%. E para a cv. BRS Sertaneja o GP foi de 6,41 – 9,33%, ou seja, reduziu de 3,23 - 6,15% (Tabela 14). Estes dados comprovam que o arroz parboilizado realmente apresenta grãos mais resistentes à remoção da camada do farelo durante a etapa de polimento. A cv. BRS Sertaneja obteve grau de polimento maior, pois segundo Mohapatra e BAL (2006) grãos mais espessos tendem a ter maior remoção das camadas periféricas.

5.2.4 Renda do benefício

A renda do benefício para a cv. BRS Primavera, apresentou modelo completo significativo (P = 0,0325), com R^2 de 86,27%, C.V. baixo (0,75%) e falta de ajuste não significativa (FA = 0,2130), que indica bom ajuste do modelo aos dados experimentais. O

modelo foi ajustado, verificando-se que os efeitos linear e quadrático da temperatura foram significativos (Anexo B4). Para a cv. BRS Sertaneja, a renda do benefício apresentou modelo completo significativo (P = 0,0038), com R^2 igual a 94,38%, C.V. baixo (0,54%) e falta de ajuste não significativa (FA = 0,2198), o que indica bom ajuste do modelo aos dados experimentais. O efeito linear e quadrático da temperatura também foram significativos (Anexo C4).

A partir dos modelos ajustados para a renda do benefício (Tabelas 13 e 15) foram elaborados gráficos de regressão simples para as duas cultivares estudadas, pois a variável tempo de imersão não foi significativa (Anexos B4 e C4), estes apresentam a variação da resposta em função da temperatura da água de imersão, conforme as Figuras 30 e 31.

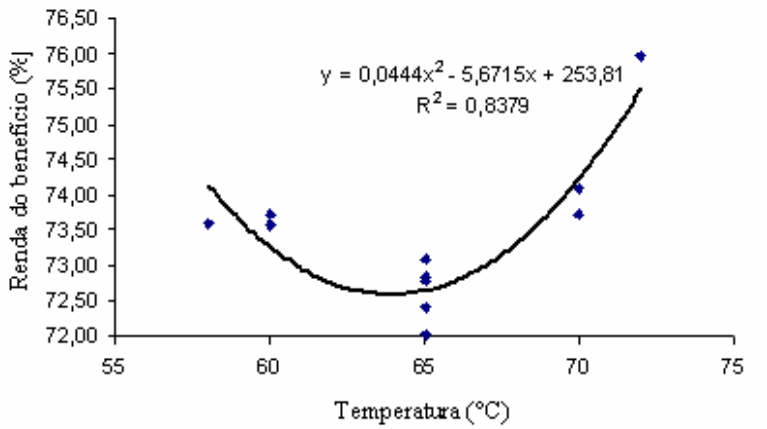


Figura 30. Efeito da temperatura da água de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre a renda do benefício da cv. BRS Primavera

A Figura 30 apresenta a variação da renda do benefício em função da temperatura utilizada na etapa de encharcamento para a cv. BRS Primavera e pode-se verificar que o ponto de mínimo ocorreu na temperatura de 64 °C. Este fato ocorreu provavelmente devido o maior grau de polimento (Figura 28), e o menor rendimento de inteiros (Figura 32), ou seja, a maior quantidade de grãos quebrados ocorreram principalmente nas temperaturas próximas de 65 °C independente do tempo de encharcamento utilizado. Segundo Menezes et al. (1997) a diminuição da renda do benefício ocorre quanto mais grãos quebrados são originados, pois estes são facilmente eliminados juntamente com a casca e o farelo durante o processo de beneficiamento.

Para a cv. BRS Sertaneja, na Figura 31 verifica-se que a renda do benéfico aumentou com o aumento da temperatura, obtendo-se maior percentual a 72 °C, provavelmente devido

ao maior número de grânulos de amido gelatinizados e consequentemente maior a resistência dos grãos ao descascamento e ao polimento (menor grau de polimento), retendo mais farelo (Figura 29).

Para as duas cultivares, a única variável significativa foi à temperatura empregada durante o encharcamento. Os gráficos apresentam, que a renda do benefício foi maior nos tratamentos que empregaram temperaturas mais elevadas durante a maceração. Isso significa que os tratamentos empregados permitiram que as camadas externas (que formam o pericarpo, tegumento, nucela, células aleurônicas do endosperma e parte do embrião, principalmente o escutelo) fossem "afrouxadas" parcialmente e agregadas ao endosperma amiláceo da cariopse, de forma que o embrião se mantém no seu lugar, não sendo fácil seu desprendimento durante o polimento e a brunição, gerando maior renda no benefício (AMATO; ELIAS, 2005). Além do mais, temperaturas na faixa de 69 - 73 °C, são capazes de promover a gelatinização do amido das cvs. estudadas e aumentar a resistência do grão e consequentemente a renda proveniente do benefício.

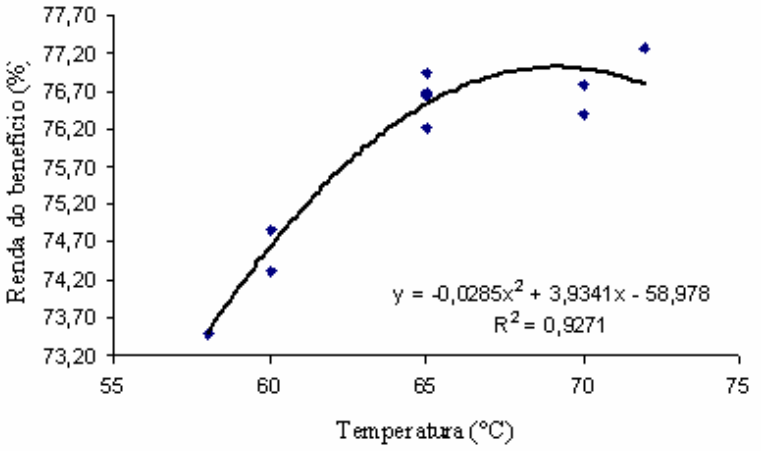


Figura 31. Efeito da temperatura da água de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre a renda do benefício da cv. BRS Sertaneja

Os dados experimentais da renda do benefício para as amostras de arroz branco das cvs. estudadas estão apresentados na Tabela 17, para fins de comparação com os dados obtidos do arroz parboilizado (Tabelas 12 e 14).

A cv. BRS Primavera apresentou uma renda do benefício de 69,24%, estando muito próximo do valor encontrado (67%) por Lanna, Ferreira e Barrigossi (2003). Já a cv. BRS Sertaneja obteve uma renda de 70,64%, semelhante ao valor encontrado (70,3%) por Lopes (2007). Após a parboilização, a renda do benefício da cv. BRS Primavera foi de 72,02 –

75,97% (Tabela 12), ou seja, aumentou de 2,78 - 6,73%. E para a cv. BRS Sertaneja a renda foi de 73,48 - 77,26%, ou seja, aumentou de 3,18 - 6,96% (Tabela 14).

Tabela 17. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos da renda do benefício do arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja

Cultivar	Renda do benefício (%)
BRS Primavera	69,24 ± 0,39
BRS Sertaneja	70,64 ± 0,42

5.2.5 Rendimento de inteiros

O rendimento de inteiros da cv. BRS Primavera apresentou um modelo preditivo pela análise de variância, pois o modelo completo foi significativo (P = 0,0021), com R^2 de 95,59%, C.V. (0,75%) baixo e a falta de ajuste não significativa (FA = 0,7386). O modelo ajustado apresentou R^2 de 87,19% e os termos significativos foram a temperatura quadrática e o tempo linear (Anexo B5).

A cv. BRS Sertaneja também apresentou um modelo adequado pela análise de variância, pois o modelo completo foi significativo (P = 0,0246), o R^2 foi igual a 87,81%, o C.V. (0,77%) baixo e a falta de ajuste não significativa (FA = 0,0733). O modelo foi ajustado pela retirada dos termos não significativos (tempo linear, e a interação). O tempo quadrático não foi significativo (P = 0,0512), porém foi mantido no modelo porque apresentou um efeito expressivo sobre a resposta, ficando com R^2 de 77,98% (Anexo C5).

A partir dos modelos ajustados para o rendimento de inteiros de cada cultivar (Tabelas 13 e 15), foram elaborados gráficos de superfície de resposta e curvas de nível, que apresentam a variação da resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado nas Figuras 32 e 33.

O gráfico da Figura 32 apresenta que o rendimento de inteiros dos grãos parboilizados da cv. BRS Primavera foi maior na faixa de temperatura entre 58 - 60 °C e tempos de imersão de 60 - 240 min. As faixas de temperatura de 71 - 72 °C e de tempos de imersão de 60 - 150 min, também obtiveram bom rendimento de inteiros. O alto rendimento nas regiões que utilizaram temperaturas mais baixas (58 - 60°C), se justifica por coincidir com a região ideal de absorção de água, ou seja, o grão absorveu a quantidade de água ao redor de 30%, se preparando desta forma para uma ótima gelatinização dos grânulos e consequentemente uma "soldagem" dos grãos de arroz que estariam propícios a quebra durante a operação de beneficiamento. Já em temperaturas mais altas (> 70 °C), uma maior quantidade de grânulos são gelatinizados, e a retrogradação durante o resfriamento, faz com que o grão adquira maior

resistência a quebra (ELIAS et al., 2006).

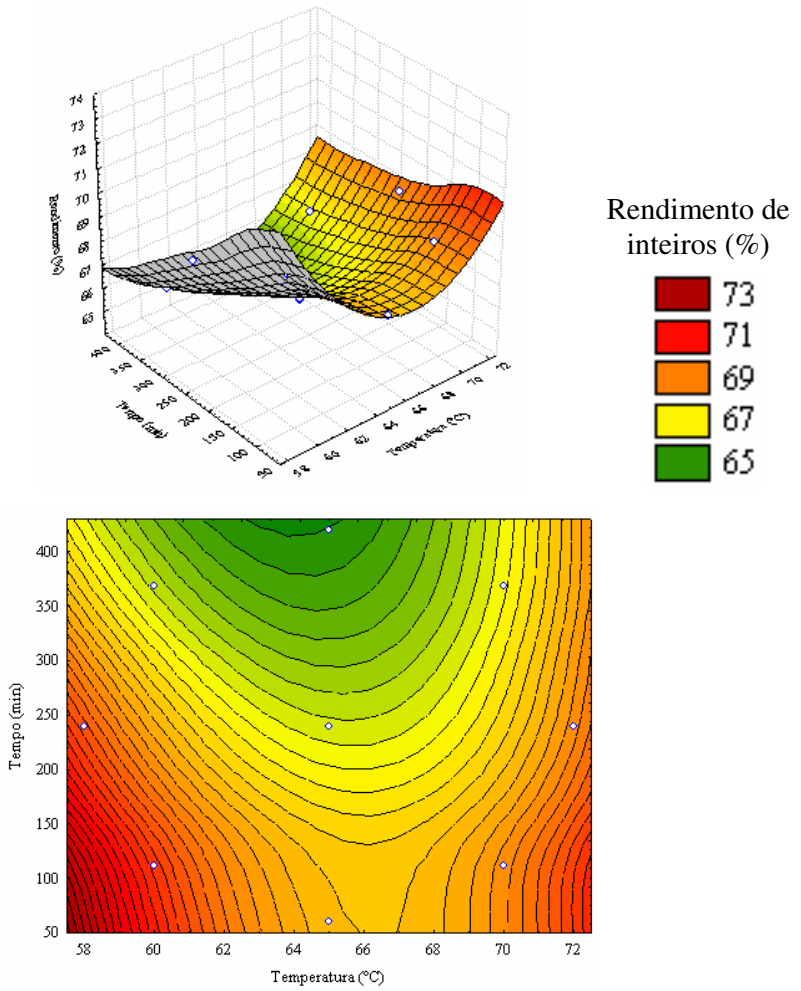


Figura 32. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento sobre o rendimento de inteiros dos grãos parboilizados da cv. BRS Primavera

Para a cv. BRS Sertaneja verifica-se que o maior rendimento de inteiros foi obtido em na faixa de temperatura de 65 – 72 °C e tempos de imersão de 180 - 660 min. Observa-se que os menores GP (Figura 29) e as menores percentagens de GNG (principalmente em tempos de imersão acima de 250 min) (Tabela 21), encontram-se acima de 65 °C, indicando que nestas faixas de temperatura uma maior quantidade de grânulos foram gelatinizados e com o resfriamento, e subsequente retrogradação os grãos tornaram-se mais resistentes a quebra (ELIAS et al., 2006).

As Figuras 32 e 33 apresentam que as cultivares possuem comportamento muito distintos quanto ao rendimento de inteiros. A própria característica do grão de cada cultivar e as condições de processamento influenciam o rendimento do arroz no beneficiamento

(BHATTACHARYA, 1980), uma vez que a cv. BRS Primavera apresenta um endosperma mais delgado e longo, o que contribui para um menor rendimento de inteiro (BHATTACHARYA, 1980).

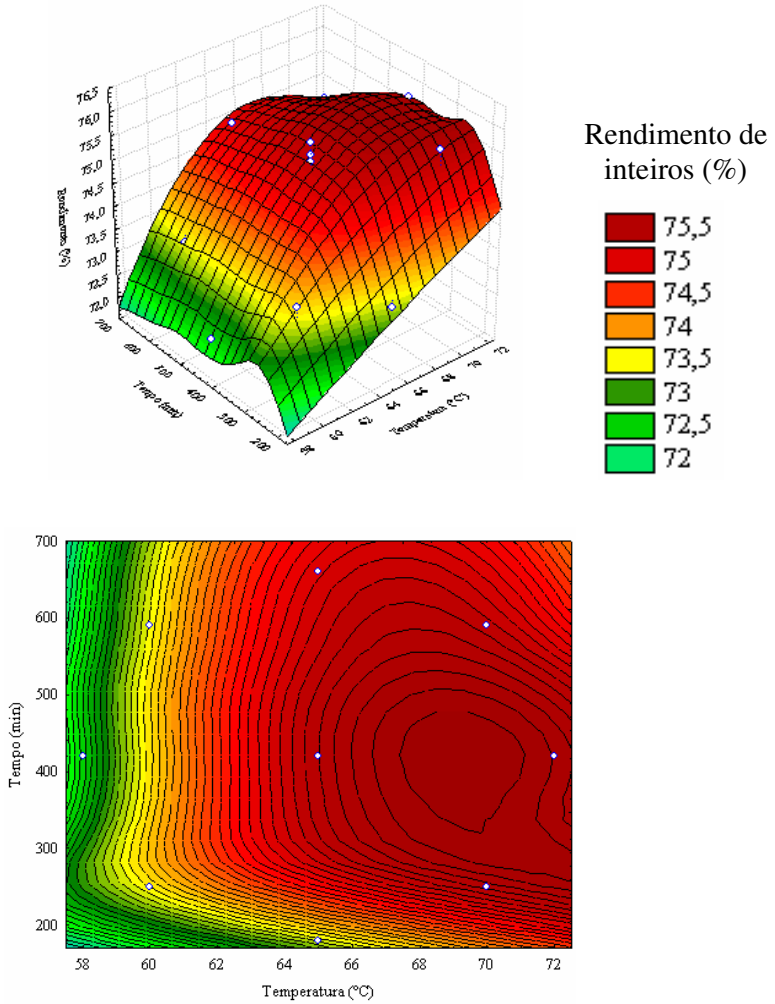


Figura 33. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o rendimento de inteiros dos grãos parboilizados da cv. BRS Sertaneja

Durante o beneficiamento, um considerável número de grãos é quebrado dependendo das condições de parboilização. Miah et al. (2002a) estudaram a cultivar BR4 desenvolvida pela Bangladesh Rice Research Institute e observaram que tanto as fissuras quanto os grãos quebrados diminuíram com o aumento da absorção de água durante o encharcamento. Segundo estes autores, as causas para o aumento de grãos inteiros na parboilização é que a casca recobre o endosperma mais livremente, o que contribui para menor quebra durante o descascamento. O arroz branco quebra mais facilmente, porque o endosperma contém poros e espaços vazios, que o torna mais suscetível a quebra. Durante prolongado tempo de

encharcamento em temperatura elevada e subsequente vaporização, o volume hidrodinâmico do amido no endosperma aumenta devido ao inchamento irreversível causado pela gelatinização, causando rompimento da casca e consequentemente facilitando o descascamento. Durante o encharcamento a quente, a água penetra os espaços vazios do endosperma, selando as fissuras internas do grão.

Durante a gelatinização, qualquer fissura da cariopse é soldada e desaparece, contribuindo para aumentar a quantidade de grãos inteiros após o beneficiamento. Mais importante que a soldagem dos grãos são os efeitos de reestruturação do grão, que lhe dá maior resistência, pois a textura do endosperma torna-se compacta e translúcida (AMATO; ELIAS, 2005). Outras etapas que podem influenciar na quantidade de grãos inteiros é a secagem, o armazenamento e o polimento. Um controle de qualidade inadequado em qualquer dessas etapas pode resultar em fissuras, que reduzem o rendimento de inteiros (SHIMIZU et al., 2008).

Miah et al. (2002b) estudaram a relação entre o tempo de encharcamento a quente durante a parboilização do arroz em casca e a percentagem de amido gelatinizado da cultivar BR4. Durante o encharcamento ocorre uma gelatinização parcial do amido, onde os grânulos que já estavam inchados pela penetração de moléculas de água apresentam moléculas de amilose lixiviadas e rodeadas por moléculas de amilopectina. Durante o resfriamento e o armazenamento, os grânulos sofrem retrogradação, que muda a rede original dos grânulos, e a estrutura da amilose fora do grânulo inibe o posterior inchamento deste. Isso significa que com o aumento do tempo do encharcamento a quente durante a parboilização, maior quantidade de grânulos individuais são gelatinizados e consequentemente ocorre maior retrogradação, e os grãos tornam-se mais resistentes a quebra.

Este fato ocorre devido a gelatinização do amido de arroz, que ocorre na faixa de 69 - 72 °C (ponto de máximo), provocando a soldagem de grãos que já vem trincados da lavoura (AMATO; SILVEIRA FILHO, 1995). Ou seja, elevando a temperatura na maceração, a renda dos grãos aumenta (BHATTACHARYA, SUBBA RAO, 1966).

Os dados experimentais do rendimento de inteiros para o arroz branco das cultivares estudadas estão na Tabela 18, para fins de comparação com os dados obtidos do arroz parboilizado (Tabelas 12 e 14).

Para as amostras de arroz polido (Tabela 18), os valores de rendimentos de inteiros encontrados foram próximos dos observados por Lopes (2007) e Morais et al. (2004), que encontraram valores iguais a 51,4% para a cv. BRS Primavera e 57,0% para a cv. BRS Sertaneja, respectivamente. Segundo Breseghello et al. (2006) a cv. BRS Sertaneja apresenta

rendimento de inteiros mais alto e estável que a cv. BRS Primavera, pois o ponto de colheita para a cv. BRS Sertaneja é mais flexível que o da BRS Primavera, o que dá ao produtor maior margem de segurança, caso haja algum imprevisto no campo.

Tabela 18. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais obtidos do rendimento de inteiros do arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja

Cultivar	Rendimento de inteiros (%)
BRS Primavera	50,33 ± 0,37
BRS Sertaneja	60,89 ± 1,42

Após a parboilização, o rendimento de inteiros da cv. BRS Primavera foi de 64,77 - 70,21% (Tabela 12), ou seja, aumentou de 14,44 - 19,88%. Para a cv. BRS Sertaneja o rendimento foi de 72,41 - 75,71% (Tabela 14), ou seja, aumentou de 11,52 - 14,20%. Com o processo de parboilização a cv. BRS Primavera acaba tendo um aumento relativo do rendimento de inteiros que a cv. BRS Sertaneja, pois é uma cultivar mais delgada e com maior propensão as quebras que a BRS Sertaneja.

Com relação as características tecnológicas do arroz parboilizado, tanto para a BRS Primavera quanto para a BRS Sertaneja, levando em consideração o custo operacional e o tempo gasto na etapa de encharcamento, a região ideal é abaixo da faixa de temperatura de gelatinização (58 - 68°C) com os menores tempos de imersão possíveis.

5.3 EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE IMERSÃO DA ETAPA DE ENCHARCAMENTO SOBRE OS DEFEITOS DOS GRÃOS DE ARROZ PARBOILIZADOS

As médias dos defeitos (danificados, bananas, manchados e picados e GNG) dos grãos parboilizados da cv. BRS Primavera e BRS Sertaneja, em função da temperatura e do tempo de imersão no encharcamento da parboilização estão nas Tabelas 19 e 21, respectivamente.

Para a cv. BRS Primavera, as análises estatísticas resumidas estão nos Anexos B6, B7, B8 e B9 e a Tabela 20 apresenta os modelos de regressão ajustados e o coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas. As análise estatísticas resumidas, para a cv. BRS Sertaneja, estão nos Anexos C6, C7, C8 e C9 e a Tabela 22 apresenta os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas.

Tabela 19. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais dos defeitos (danificados, bananas, manchados e picados e GNG) dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS (%)			
	X_1 (°C)	X_2 (min)	Danificados	Bananas	Manchados e picados*	GNG
1	60	112	16,6 ± 4,9	0,8 ±0,4	7,6 ± 3,6	0,8 ± 1,1ab
2	60	368	24,4 ± 7,0	2,4 ± 0,5	5,4 ± 3,4	0,0 ± 0,0b
3	70	112	16,0 ± 2,9	4,2 ± 0,4	3,6 ± 2,4	0,0 ± 0,0b
4	70	368	21,4 ± 5,3	5,0 ± 1,4	6,2 ± 1,8	0,0 ± 0,0b
5	65	60	16,2 ± 1,3	1,2 ± 1,1	4,8 ± 1,9	2,0 ± 0,0a
6	65	420	31,4 ± 3,6	4,2 ± 1,6	5,2 ± 2,0	0,0 ± 0,0b
7	58	240	22,0 ± 7,3	1,4 ± 0,5	3,8 ± 1,9	0,4 ± 0,9b
8	72	240	19,8 ± 2,8	5,0 ± 1,4	4,4 ± 1,8	0,0 ± 0,0b
9	65	240	19,2 ± 2,6	4,4 ± 1,3	5,2 ± 2,9	0,0 ± 0,0b
10	65	240	19,4 ± 4,8	4,2 ± 0,4	5,8 ± 2,4	0,0 ± 0,0b
11	65	240	19,8 ± 3,6	4,4 ± 1,8	7,0 ± 3,4	0,0 ± 0,0b

VAR. IND.: Variáveis independentes; * Os dados médios de grãos manchados e picados não diferiram significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 20. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) dos defeitos dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTA (%)	MODELO*	R^2
Danificados	$y_i = 20{,}5636 + 4{,}3463x_2$	77,12
Bananas	$y_i = 4{,}3315 + 1{,}3939x_1 - 0{,}5336x_1^{\,2} + 0{,}8320x_2 - 0{,}7820x_2^{\,2}$	95,01
Manchados e picados	—	—
GNG	$y_i = -0{,}0592 - 0{,}4792x_2 - 0{,}4590x_2^{\,2}$	74,27

y_i :resposta; x_1 : Temperatura (°C); x_2 : Tempo (min); * P ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo teste F)

Tabela 21. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais dos defeitos (danificados, grão banana, manchados e picados e GNG) da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS (%)			
	X_1 (°C)	X_2 (min)	Danificados	Bananas	Manchados e picados	GNG
1	60	250	6,4 ± 0,9	0,2 ± 0,4	5,2 ± 2,2	0,0 ± 0,0
2	60	590	9,4 ± 3,6	0,8 ± 0,4	5,2 ± 1,8	0,0 ± 0,0
3	70	250	11,8 ± 3,0	3,6 ± 0,9	5,6 ± 1,1	0,0 ± 0,0
4	70	590	14,6 ± 1,8	4,0 ± 1,0	11,2 ± 2,9	0,0 ± 0,0
5	65	180	5,8 ± 2,3	0,4 ± 0,5	3,6 ± 3,2	1,2 ± 1,8
6	65	660	19,4 ± 4,8	2,4 ± 0,9	10,6 ±1,1	0,0 ± 0,0
7	58	420	2,4 ± 0,5	0,0 ± 0,0	4,8 ± 2,7	0,0 ± 0,0
8	72	420	16,6 ± 3,4	4,0 ± 1,0	4,6 ± 2,5	0,0 ± 0,0
9	65	420	8,8 ± 2,6	0,2 ± 0,4	4,4 ± 1,3	0,0 ± 0,0
10	65	420	8,6 ± 4,2	0,4 ± 0,5	3,6 ± 0,9	0,0 ± 0,0
11	65	420	9,4 ± 1,5	0,2 ± 0,4	2,8 ± 0,8	0,0 ± 0,0

VAR. IND.: Variáveis independentes;

Tabela 22. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) dos defeitos dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTA (%)	MODELO*	R^2
Danificados	$y_i = 10{,}2909 + 3{,}8485x_1 + 3{,}1304x_2$	73,62
Grão banana	$y_i = 0{,}2633 + 1{,}5404x_1 + 0{,}9968x_1^2 + 0{,}4788x_2 + 0{,}6774x_2^2$	94,52
Manchados e picados	$y_i = 4{,}3268 + 1{,}9386x_2 + 1{,}7537x_2^2$	64,71
GNG	—	—

y_i :resposta; x_1 : Temperatura (°C); x_2 : Tempo (min); *P ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo teste F)

5.3.1 Grãos danificados

O modelo completo para grãos danificados da cv. BRS Primavera foi significativo (P = 0,0256), apresentando R^2 de 87,61% e C.V. alto (10,69%). A falta de ajuste foi significativa (FA = 0,0116), porém foi considerada aparente porque o quadrado médio do erro experimental foi baixo (QM = 0,0933), podendo o modelo ser usado com fins preditivos (WASZCZYNSKYJ et al., 1981). Somente o efeito linear do tempo de imersão foi significativo (Anexo B6).

Para a cv. BRS Sertaneja, o modelo completo dos grãos danificados foi significativo (P = 0,0345), apresentando R^2 igual a 85,92%, C.V. alto (25,67%) e falta de ajuste significativa (FA = 0,0149), porém esta pode ser considerada aparente, porque o quadrado médio do erro experimental (QM = 0,1733) foi baixo, podendo este modelo também ser utilizado para fins peditivos (WASZCZYNSKYJ et al., 1981). O efeito linear da temperatura e do tempo de imersão foram significativos para esta resposta, sendo que o modelo ajustado apresentou R^2 igual a 73,62% (Anexo C6).

A partir dos modelos ajustados para os grãos danificados de cada cultivar (Tabelas 20 e 22) foram elaborados gráficos de regressão simples e de superfície de resposta, que apresentam, respectivamente, a variação da resposta em função do tempo de imersão e da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado nas Figuras 34 e 35.

Com o aumento do tempo de imersão dos grãos na etapa de encharcamento, a incidência de grãos deformados aumentou. Este resultado pode ter ocorrido, porque o grão tende a absorver mais água em longos períodos de encharcamento, apesar do incremento ter gradualmente diminuído com o passar do tempo. E também, devido ao processo de imersão o grão pode saturar-se de água e apresentar grande ruptura longitudinal, deformando-se mais facilmente, como o grão que estoura (pipoca), pois torna-se menos rígido.

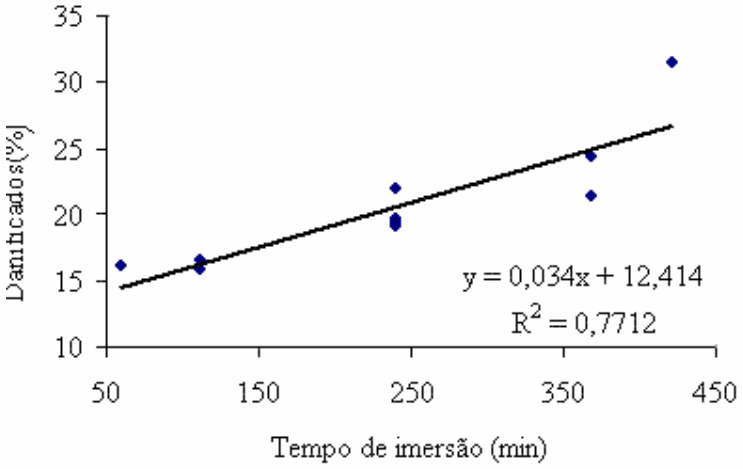


Figura 34. Efeito do tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre os grãos danificados da cv. BRS Primavera

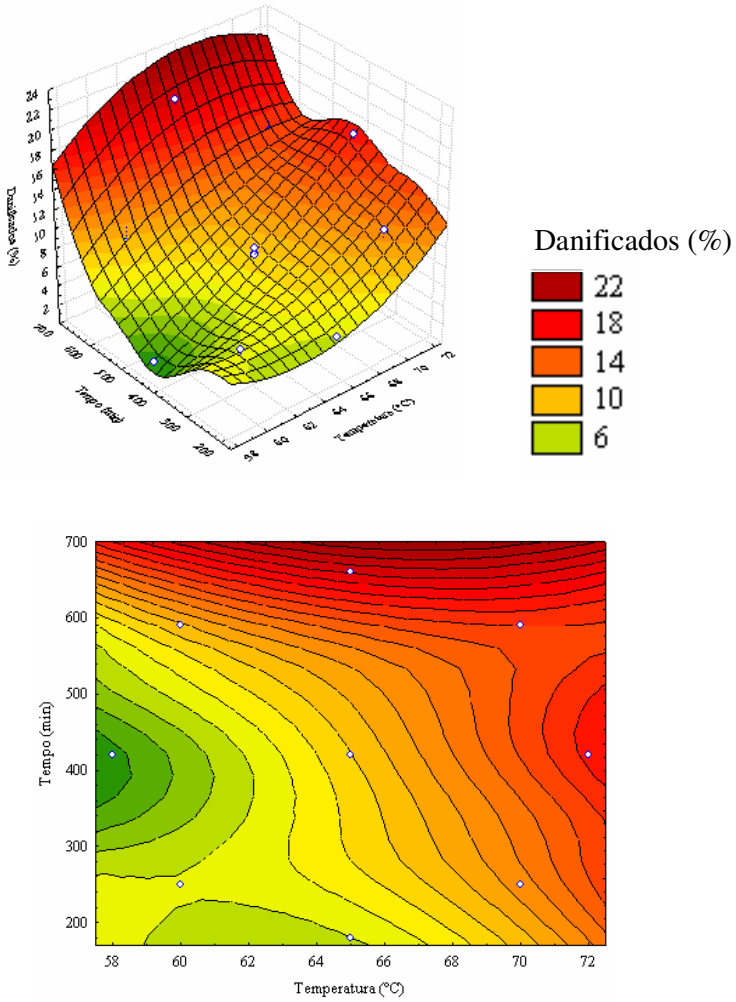


Figura 35. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização nos grãos danificados da cv. BRS Sertaneja

Para a cv. BRS Sertaneja, verifica-se que tanto a temperatura (P = 0,028) quanto o tempo de imersão (P = 0,0086) influenciaram significativamente a porcentagem de grãos danificados (Anexo C6). A Figura 35 apresenta que a região que utilizou longo período de imersão (acima de 590 min) foi a que apresentou o maior teor de grãos danificados.

Com relação a temperatura empregada, observa-se que a quantidade de grãos danificados aumentaram com o aumento da temperatura da água de imersão. Não foi encontrado nenhum relato, relacionando a etapa de encharcamento da parboilização com o índice de grãos danificados, mas a medida que aumenta a temperatura e o tempo de imersão, o grão absorve mais água e torna-se menos rígido devido o calor aplicado, ficando consequentemente mais sujeito às deformações.

As características dos grãos, como a espessura e a largura, podem contribuir bastante para a deformação do grão. Verifica-se que o teor de grãos danificados para a cv. BRS Primavera foi mais alto, variando numa faixa de 16,0 – 31,4%, pois se trata de uma cultivar que tem a cariopse mais delgada, consequentemente a transferência de calor e absorção de água é mais fácil que na cv. BRS Sertaneja. Esta apresentou grãos danificados variando de 2,4 – 19,4% que possui dimensões maiores e por isso se deforma com menos facilidade.

5.3.2 Grãos bananas

Apesar de não se saber de relatos sobre a percentual de grãos bananas em arroz parboilizado, deve-se ressaltar a importância em quantificá-los. Por meio de observações dos grãos, antes e após a parboilização, feitas em laboratório, verifica-se que este defeito é um tipo de grão danificado, e que a incidência de grãos com o formato de banana (Figura 17b) torna-se maior após a parboilização, principalmente em condições extremas de encharcamento, ou seja, em altas temperaturas (acima de 65 °C) e longo tempo de imersão. Este fato provavelmente ocorre porque nessas condições o grão absorve muita água (acima de 32%) e incha. Em temperaturas elevadas (69 - 72 °C) ocorre a gelatinização do amido, provocando o extravasamento do endosperma e o rompimento da casca. A presença destes grãos não são desejáveis, pois ao romper a casca do arroz, alguns constituintes solúveis do grão são transferidos para a água de imersão, ao mesmo tempo em que os pigmentos solúveis da casca presente na água são absorvidos pelo endosperma, tornando o grão mais escuro.

A cv. BRS Primavera apresentou modelo completo para os grãos banana significativo (P = 0,0005), R^2 de 97,64%, C.V. alto (10,28%) e a falta de ajuste não significativa (FA = 0,0654), indicando um bom ajuste do modelo aos dados experimentais. Os efeitos lineares e quadráticos das variáveis foram significativos para esta resposta (Anexo B7). A partir do

modelo ajustado para grãos bananas (Tabela 20) foi elaborado gráfico, tri e bidimensionais, que apresenta a variação da resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado na Figura 36.

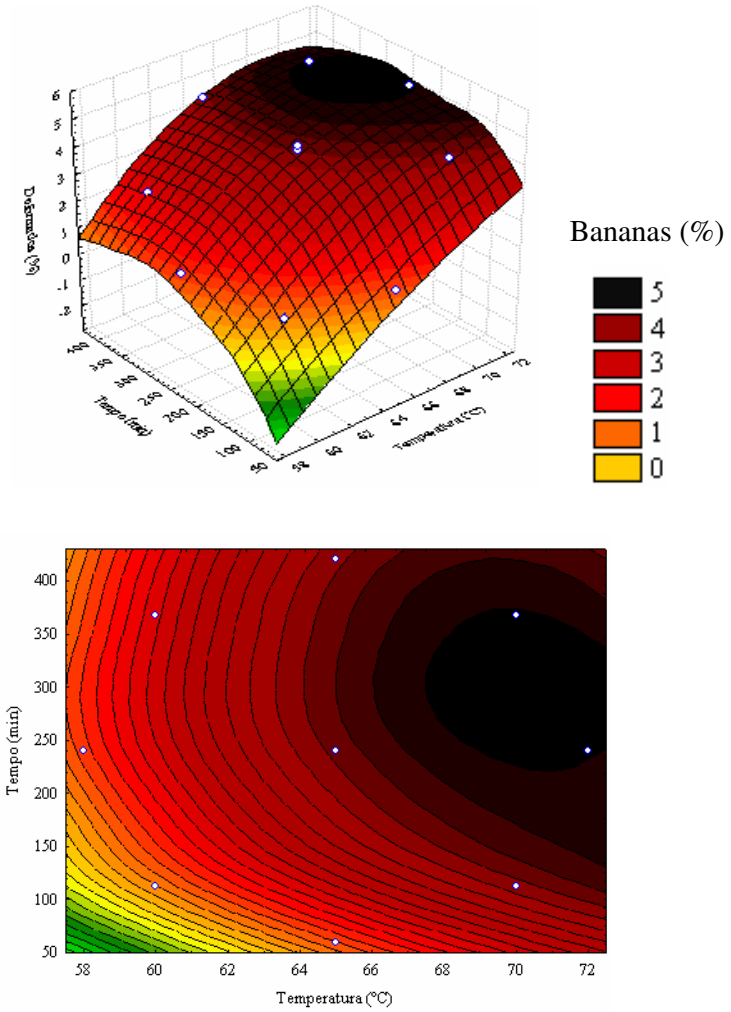


Figura 36. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização no percentual de grãos bananas da cv. BRS Primavera

Verifica-se que a quantidade de grãos banana para a cv. BRS Primavera é maior em temperaturas mais elevadas (> 65 °C), principalmente em temperaturas igual ou superior a 68 °C e tempos de imersão entre 240 - 368 min. Se compararmos o gráfico de índice de absorção de água (Figura 26) e abertura da casca (Tabela 8), verificamos que é nesta região que o grão absorve água acima de 32% e apresenta abertura da casca acima de 50%.

Para a cv. BRS Sertaneja, os grãos bananas apresentaram R^2 igual a 96,63%, sendo reduzido para 94,52% no modelo ajustado (tendência da resposta). O modelo foi significativo (P = 0,0011), a falta de ajuste foi significativa (FA = 0,0422), porém foi considerada aparente

porque o quadrado médio do erro experimental (QM = 0,0133) foi baixo (WASZCZYNSKYJ et al., 1981), podendo o modelo ser considerado preditivo. Os efeitos lineares e quadráticos da temperatura e do tempo de imersão foram significativos (Anexo C7).

Verifica-se na Figura 37, que região que apresenta a maior quantidade de grãos banana para a cv. BRS Sertaneja, foi em temperaturas acima de 70 °C. Esta cultivar apresentou maior resistência a formação desse tipo de defeito, provavelmente por apresentar um endosperma mais resistente a deformações provocadas por excesso de calor e umidade.

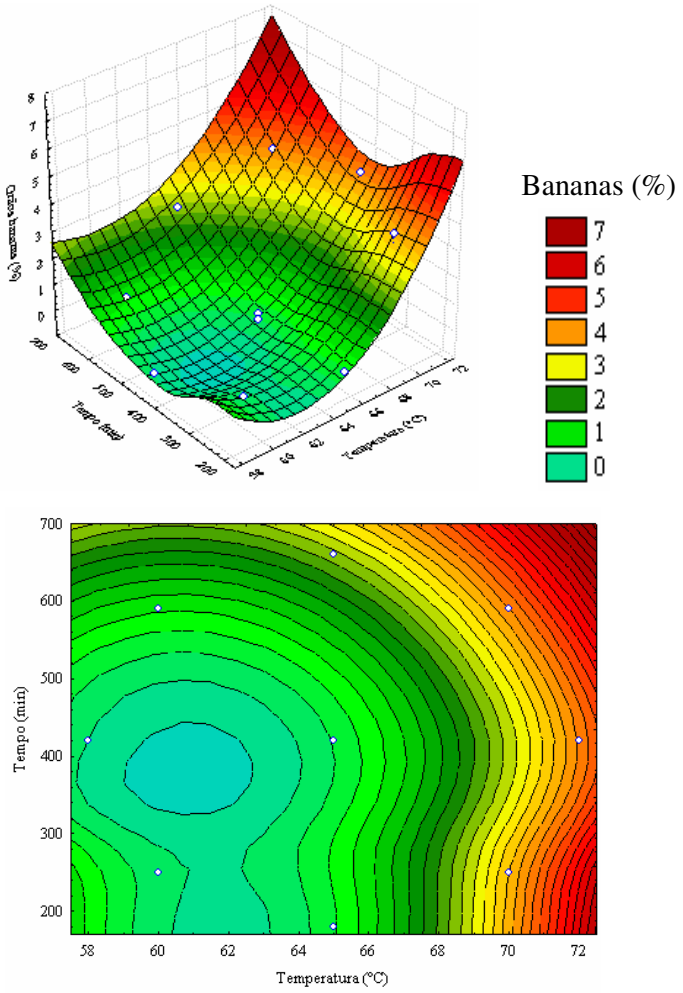


Figura 37. Efeito da temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização no percentual de grãos bananas da cv. BRS Sertaneja

A cv. BRS Primavera é mais propícia a formação dos grãos banana, justamente devido ao formato de sua cariopse, sendo mais suscetível a absorção de água e a transferência de calor.

5.3.3 Grãos manchados e picados

O modelo de regressão para grãos manchados e picados (Anexo B8) da cv. BRS Primavera não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro (P = 0,3574), ou seja, as variáveis tempo e temperatura do encharcamento não afetaram significativamente a porcentagem de grãos manchados e picados. Este tipo de defeito não é inerente à parboilização, pois trata-se de manchas escuras ou esbranquiçadas, bem como perfurações por insetos ou outros agentes. No entanto, pelos resultados obtidos a parboilização torna mais facilmente visível a olho nu este tipo de defeito.

A análise de variância e teste F não foram significativos para grãos manchados e picados da cv. BRS Primavera.

O modelo completo para grãos manchados e picados (Anexo C8) para a cv. BRS Sertaneja foi significativo (0,0352), a falta de ajuste não foi significativa (FA = 0,1733), o R^2 do modelo completo foi de 85,79%, sendo reduzido para 64,71% no modelo ajustado. O efeito linear e quadrático do tempo de imersão foram significativos para a resposta estudada (Figura 38).

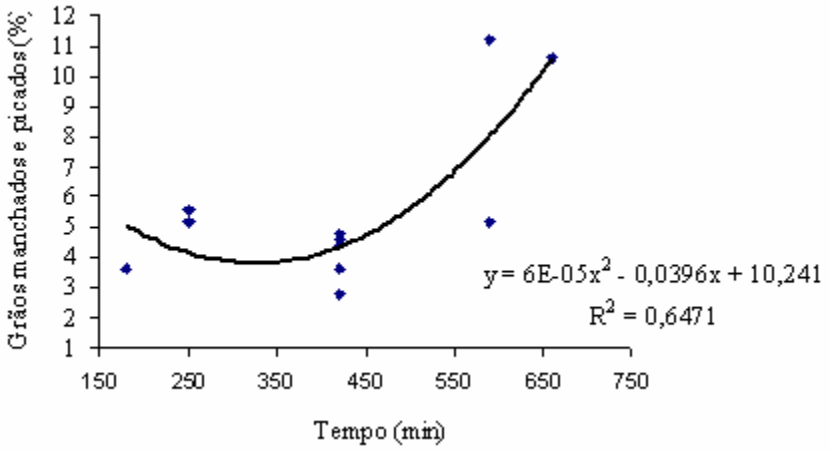


Figura 38. Efeito do tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o percentual de grãos manchados e picados da cv. BRS Sertaneja

O gráfico da Figura 38 apresenta que com o tempo de imersão de 180 - 660 min, o percentual de grãos manchados e picados visualizados variou de 2,8 - 11,2%. A partir de 340 min de imersão, tornou-se crescente a visualização dos grãos que apresentavam-se com manchas escuras ou esbranguiçadas, bem como, os perfurados por insetos ou outros agentes, talvez pelo fato dos grãos tornarem-se levemente mais escuros. Com estes resultados verifica-se que realmente a parboilização facilita a visualização dos grãos com esse tipo de defeito,

pois no arroz branco (Tabela 23) a média encontrada foi de 3% e no parboilizado (Tabela 21) chegou a 11,2%.

Isso significa que o tempo de imersão contribuiu de forma significativa para facilitar a visualização desse tipo de defeito, pois não pode contribuir para aumentar ou reduzir o percentual de manchados e picados, uma vez que a parboilização apenas destaca as manchas escuras ou esbranguiçada e as perfurações dos insetos.

5.3.4 Grãos não gelatinizados (GNG)

O modelo de regressão para GNG da cv. BRS Primavera (Anexo B9.1) não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro (P = 0,095), porém o efeito do tempo de imersão foi significativo (P = 0,0265). O modelo ajustado é apresentado na Tabela 20. A Figura 39 apresenta a influência do tempo de imersão sob a percentual de GNG.

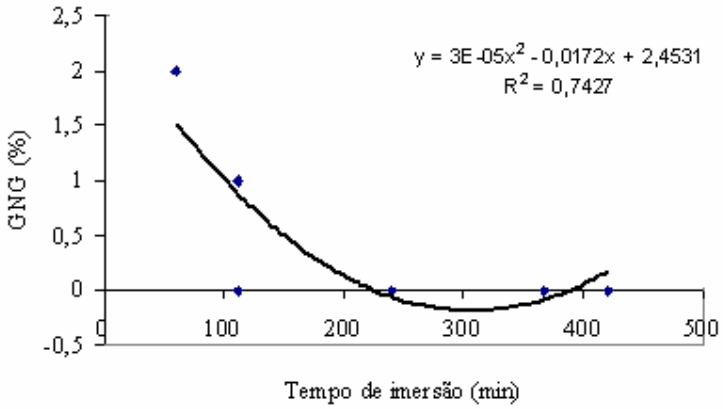


Figura 39. Efeito do tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização sobre o percentual de GNG da cv. BRS Primavera

O gráfico da Figura 39 apresenta que com o aumento do tempo de imersão da etapa de encharcamento a quantidade de GNG diminuiu, variando de 0 – 2%, ou seja, de 98 – 100% de grãos totalmente translúcidos. Observa-se que é necessário um certo tempo de imersão (≥ 240 min) para que os grânulos de amido possam absorver a quantidade de água suficiente para que ocorra a total gelatinização do amido na etapa de vaporização, tornando o endosperma translúcido.

Apesar do valor de F da Anova para a regressão não ter sido significativo foi realizado o teste Tukey para saber se houve diferença significativa entre os tratamentos (Anexo B9.2). Na Tabela 19 verifica-se que o tratamento que utilizou a combinação binária de 65 °C/ 60 min não apresentou diferença significativa (P > 0,05) do tratamento que empregou 60 °C/ 112

min, mas foi significativamente diferente dos demais tratamentos. Esses dois tratamentos que não se diferenciaram foram justamente os que utilizaram os menores tempos de imersão, encontrando-se nesses tratamentos as maiores quantidades de grânulos opacos.

Para a cv. BRS Sertaneja o modelo não foi significativo (P = 0,3564), o C.V. foi alto (301,84) e a falta de ajuste significativa (FA = 0,0000). Apesar do valor de F para a regressão não ter sido significativo foi realizado o teste Tukey para saber se houve diferença significativa entre os tratamentos (Anexo C9). Na Tabela 21 observa-se que a quantidade de GNG variou de 0 – 1,2%, ou seja, 98,8 – 100% de grãos totalmente translúcido. Apesar dos tratamentos não apresentarem diferença significativa (P > 0,05), o que utilizou a combinação binária de 65 °C/ 180 min, que também foi o que utilizou o menor tempo de imersão, apresentou numericamente a maior percentagem de GNG.

Miah et al. (2002b) estudaram o efeito das condições encharcamento (temperatura de 80 °C e tempo de imersão de 15, 30, 45, 60 e 120 min de imersão) na percentagem de grãos gelatinizados da cultivar BR4. Em apenas 45 min de imersão, os grãos opacos começaram a perder a sua opacidade e a translucidez do endosperma começou a aparecer. Após 120 min de imersão, 86% dos grãos haviam gelatinizado, dos quais apenas 26% estavam totalmente translúcidos. Apesar destes autores terem utilizado temperaturas mais elevados e tempos de imersão mais curtos, verifica-se que a percentagem de grão translúcidos foi inferior ao encontrado nesse trabalho (Tabelas 19 e 21), pois avaliaram o grau de gelatinização apenas após a etapa de encharcamento, ou seja, os grãos não foram submetidos a vaporização.

O grau de translucidez aceitável para o arroz parboilizado de qualidade é a partir de 80% dos grãos (PILLAIYAR, 1988 apud KAR; JAIN; SRIVASTAC, 1999). As médias experimentais apresentadas nas Tabelas 19 e 21 estão de acordo com os valores encontrados (98 – 99% de tranlucidez) por Kar, Jain e Srivastac (1999), que estudaram o grau de translucidez das cultivares de arroz Pankaj, Kavirajsal, IR-36 e Swarna, descacasdas e submetidas a parboilização. Este fato demonstra que as combinações binárias aplicadas para as cultivares foram suficientes para gelatinizar 100% dos grãos analisados, com exceção da combinação binária de 58 °C/ 240 min (0,4%), 60 °C/ 112 min (0,8% GNG) e 65 °C/ 60 min (2% GNG) para a cv. BRS Primavera e apenas a combinação binária de 65 °C/ 180min (1,2% GNG) para a cv. BRS Sertaneja.

Os grãos não gelatinizados, segundo Marshall et al. (1993) resultam de uma parboilização incompleta com amido parcialmente gelatinizado no centro. A secagem do endosperma produz translucidez na camada externa e o centro do grão fica opaco devido o amido não estar gelatinizado.

Para fins de comparação com os dados obtidos do arroz parboilizado (Tabelas 19 e 21), as médias dos defeitos dos grãos para o arroz branco das cvs. estudadas estão apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23. Médias e desvios-padrão dos defeitos (danificados, bananas, manchados e picados) dos grãos do arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja

Cultivar	Defeitos gerais (%)		
	Danificados	**Bananas**	**Manchados e picados***
BRS Primavera	10,6 ± 4,7	0,6 ± 0,9	1,4 ± 0,9
BRS Sertaneja	0,4 ± 0,5	0,0 ± 0,0	3,0 ± 0,7

Comparando os resultados obtidos na Tabela 23 com as Tabelas 19 e 21, verifica-se que no arroz parboilizado esses defeitos realmente foram realçados, uma fez que ficaram mais visíveis. Para a cv. BRS Primavera, a média dos grãos danificados do arroz branco foi de 10,6%, enquanto variou entre 16,0 – 31,4% no arroz parboilizado. A média dos grãos bananas no arroz branco foi de 0,6% e no parboilizado oscilou entre 0,8 – 5,0%. E para os grãos manchados e picados foi de 1,4% no arroz branco e entre 3,6 – 7,6% no arroz parboilizado.

Com relação aos defeitos dos grãos da cv. BRS Sertaneja, o percentual de grãos danificados no arroz branco foi de 0,4% e variou entre 2,4 – 19,4% no parboilizado. A média de grãos bananas no arroz branco foi 0% e no parboilizado oscilou entre 0,0 – 4,0%. Para o arroz branco a média dos grãos manchados e picados foi de 3,0%, variando entre 2,8 – 11,2% no arroz parboilizado.

O aumento de incidência dos grãos danificados nos grãos parboilizados ocorrem devido ao processo de imersão ou de secagem a que esses são submetidos, apresentando ruptura no sentido longitudinal, bem como, o grão que estoura (pipoca) (BRASIL, 1988).

Já com relação aos grãos bananas, a incidência aumenta principalmente quando se emprega elevadas temperaturas durante o encharcamento, comprovando que o calor aliado ao excesso de umidade (> 30%) é o grande responsável pelo formato de banana que o grão apresenta.

Os grãos manchados e picados, que apresentam manchas escuras ou esbranquiçadas, bem como perfurações provocadas principalmente pelos percevejos-dos-grãos, ficaram mais fáceis de ser visualizados no arroz parboilizado, que apresenta uma coloração amarelada.

Elias et al. (2008) avaliaram os efeitos do tempo de armazenamento na incidência de defeitos na parboilização de grãos de arroz da cultivar EMBRAPA-6 (Chuí), de grãos longo-finos. Concluíram que o tempo de armazenamento intensifica a ocorrência de grãos

manchados, picados, ardidos e pretos, sem alterar os teores de quebrados, danificados, gessados e rajados.

As condições hidrotérmicas ideais com relação aos defeitos do arroz parboilizado são as que utilizam baixa temperatura (< 65°C) e tempos de imersão (< 590 min) pois os grãos tornam-se nessas condições menos suscetíveis a alterações físicas.

5.4 EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE IMERSÃO DA ETAPA DE ENCHARCAMENTO SOBRE A COR DA FARINHA DE ARROZ PARBOILIZADO

A cor é um dos mais importantes atributos sensoriais de qualidade na aceitação de produtos (PRACHAYAWARAKORN et al., 2004). A formação da cor durante o processamento pode fornecer importante informação sobre o grau do tratamento térmico (LINKO; COLONNA; MERCIER, 1981). As alterações na cor durante o processamento térmico de alimentos é resultado principalmente de reações não enzimáticas e da destruição dos pigmentos presentes, especialmente carotenóides e clorofilas (MASKAN, 2001).

Na parboilização, as causas da variação da cor são inúmeras, e como exemplos pode-se citar algumas interações entre os fatores envolvidos no encharcamento, como, utilização de água suja (devido às argilas em suspensão) associada à tendência do grão em abrir a casca, e coloração da casca de determinada variedade de arroz frente a excessos de tempo de imersão e da temperatura aplicada durante essa operação unitária (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002)

5.4.1 Parâmetros instrumentais de cor (L*, a*, b* e ΔE) da farinha dos grãos de arroz

As médias dos parâmetros instrumentais de cor da farinha dos grãos para a cv. BRS Primavera estão na Tabela 24. As análises estatísticas resumidas de L*, a*, b* e ΔE* estão nos Anexos B10, B11, B12 e B13, respectivamente, e a Tabela 25 apresenta os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas.

A média dos parâmetros instrumentais de cor da farinha dos grãos para a cv. BRS Sertaneja estão na Tabela 26. As análises estatísticas resumidas, de L*, a*, b* e ΔE* estão nos Anexos C10, C11, C12 e C13 e a Tabela 27 apresenta os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas.

Tabela 24. Médias e desvios-padrão dos parâmetros instrumentais de cor das farinhas dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS			
	X_1(°C)	X_2(min)	L*	a*	b*	ΔE*
1	60	112	85,67 ± 0,24	0,55 ± 0,03	9,89 ± 0,19	5,58 ± 0,24
2	60	368	85,82 ± 0,32	0,56 ± 0,01	9,96 ± 0,11	5,53 ± 0,18
3	70	112	84,06 ± 0,41	0,79 ± 0,01	11,83 ± 0,10	8,10 ± 0,32
4	70	368	84,10 ± 0,15	0,79 ± 0,04	11,67 ± 0,30	7,96 ± 0,28
5	65	60	85,97 ± 0,55	0,55 ± 0,04	9,88 ± 0,36	5,37 ± 0,59
6	65	420	84,85 ± 0,10	0,72 ± 0,03	10,14 ± 0,24	6,37 ± 0,12
7	58	240	85,15 ± 0,36	0,54 ± 0,03	9,91 ± 0,08	5,97 ± 0,31
8	72	240	82,60 ± 0,05	1,20 ± 0,03	12,04 ± 0,15	9,34 ± 0,13
9	65	240	84,77 ± 0,19	0,81 ± 0,03	10,57 ± 0,11	6,73 ± 0,07
10	65	240	84,96 ± 0,38	0,80 ± 0,01	10,88 ± 0,09	6,81 ± 0,28
11	65	240	84,83 ± 0,42	0,82 ± 0,03	10,58 ± 0,13	6,70 ± 0,39

VAR. IND.: Variáveis independentes; L*: luminosidade (100 = claro; 0 = escuro), coordenadas de cromaticidade: a* (-) verde vermelho (+) e b* (-) azul amarelo (+), ΔE*: diferença de cor

Tabela 25. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) dos parâmetros instrumentais de cor da farinha dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTA (%)	MODELO*	R^2
L*	$y_i = 84{,}8504 - 0{,}8725x_1 - 0{,}4251x_1^2 + 0{,}3518x_2^2$	87,20
a*	$y_i = 0{,}8215 + 0{,}1740x_1 - 0{,}1139x_2^2$	81,73
b*	$y_i = 10{,}6730 + 0{,}8372x_1 + 0{,}2422x_1^2 - 0{,}2479x_2^2$	91,83
ΔE*	$y_i = 6{,}7442 + 1{,}2230x_1 + 0{,}4714x_1^2 - 0{,}4356x_2^2$	95,24

y_i: resposta; x_1: Temperatura (°C); x_2: Tempo (min); * P $\leq$ 0,05 (nível de probabilidade pelo teste F)

Tabela 26. Médias e desvios-padrão dos parâmetros instrumentais de cor das farinhas dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS			
	X_1(°C)	X_2 (min)	L*	a*	b*	ΔE*
1	60	250	83,49 ± 0,10	0,97 ± 0,01	11,46 ± 0,09	7,08 ± 0,08
2	60	590	84,38 ± 0,44	0,76 ± 0,01	10,14 ± 0,60	5,51 ± 0,38
3	70	250	83,20 ± 0,25	1,01 ± 0,04	11,46 ± 0,12	7,27 ± 0,25
4	70	590	83,17 ± 0,13	1,01 ± 0,14	11,48 ± 0,17	7,31 ± 0,16
5	65	180	83,46 ± 0,18	0,81 ± 0,01	10,98 ± 0,07	6,72 ± 0,08
6	65	660	84,41 ± 0,06	0,78 ± 0,02	9,95 ± 0,19	5,33 ± 0,17
7	58	420	83,04 ± 0,01	1,00 ± 0,01	11,63 ± 0,09	7,50 ± 0,06
8	72	420	81,99 ± 0,11	1,27 ± 0,02	12,55 ± 0,14	8,91 ± 0,15
9	65	420	83,45 ± 0,18	0,86 ± 0,01	11,26 ± 0,16	6,94 ± 0,02
10	65	420	83,58 ± 0,17	0,86 ± 0,05	11,21 ± 0,01	6,82 ± 0,11
11	65	420	83,42 ± 0,18	0,89 ± 0,01	11,31 ± 0,21	7,00 ± 0,23

VAR. IND.: Variáveis independentes; L*: luminosidade (100 = claro; 0 = escuro); coordenadas de cromaticidade: a* (-) verde vermelho (+) e b* (-) azul amarelo (+), ΔE* : diferença de cor

Tabela 27. Modelos de regressão ajustados ou completos e coeficiente de determinação (R^2) de cor da farinha dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTA(%)	MODELO*	R^2
L*	$y_i = 83,4806 - 0,3744x_1 - 0,4048x_1^2 + 0,2736x_2 + 0,3138x_2^2$	80,60
a*	$y_i = 0,8691 + 0,0842x_1 + 0,1283x_1^2 - 0,0304x_2 - 0,0451x_2^2 + 0,0533x_1x_2$	93,85
b*	$y_i = 11,2645 + 0,3320x_1 + 0,3829x_1^2 - 0,3459x_2 - 0,4381x_2^2 + 0,3342x_1x_2$	97,83
ΔE *	$y_i = 6,9226 + 0,5023x_1 + 0,5702x_1^2 - 0,4373x_2 - 0,5341x_2^2 + 0,4025x_1x_2$	94,24

y_i: resposta; x_1: °C; x_2: min; * P ≤ 0,05 (nível de probabilidade pelo teste F); itálico = o efeito apesar de não ser significativo ao nível de 5%, contribuiu com a resposta

5.4.1.1 Luminosidade L*

Para a farinha de arroz da cv. BRS Primavera, o modelo para L* foi significativo (P = 0,0049), o coeficiente de determinação dos modelo matemático completo explicou 93,78% das respostas, o C.V. foi baixo (0,40%), a falta de ajuste foi significativa (FA = 0,0490) (Anexo B10), mas o quadrado médio do erro experimental foi baixo (QM = 0,0094), podendo este modelo pode ser utilizado para fins preditivos segundo Waszczynskyj et al. (1981).

A partir do modelo ajustado (Tabela 25), foram traçados gráficos de superfície de resposta que apresentam a variação desta resposta em função da temperatura e do tempo de imersão empregados durante o encharcamento. Os efeitos linear e quadrático da temperatura e o efeito quadrático do tempo de imersão foram significativos para a resposta estudada (Figura 40).

Verifica-se que a região ideal (Figura 40) para a luminosidade L* (valores de L próximos de 100) encontra-se na faixa de temperatura de 58 - 66 °C e nos tempos de imersão de 60 - 420 min. A redução dos valores de L a medida que aumenta a temperatura da água de imersão, pode ter ocorrido devido o grão de arroz absorver água rapidamente em temperaturas mais elevadas, e na temperatura que tem início a faixa de temperatura de gelatinização (69 °C) ocorre o maior inchamento dos grãos a ponto de romper a casca e consequentemente o endosperma absorve os pigmentos dissolvidos na água de imersão (ALI; OJHA, 1976 apud MARTINEZ, 1984). Gariboldi (1974) e Jayanarayanan (1965) verificaram que a farinha de arroz parboilizado torna-se mais escura quando o arroz é encharcado a temperaturas maiores que 70 °C.

O modelo completo para luminosidade L* da cv. BRS Sertaneja foi significativo (P = 0,0052), com C.V. baixo (0,28%), falta de ajuste não significativa (FA = 0,0740) e R^2 de 93,64%, sendo reduzido para 80,60% no modelo ajustado. O efeito linear e quadrático da

temperatura e do tempo de imersão foram significativos para a resposta estudada (Anexo C10). A partir do modelo ajustado (Tabela 27), foram traçados gráficos de superfície de resposta que apresentam a variação desta resposta em função da temperatura e do tempo de imersão empregados durante o encharcamento (Figura 41).

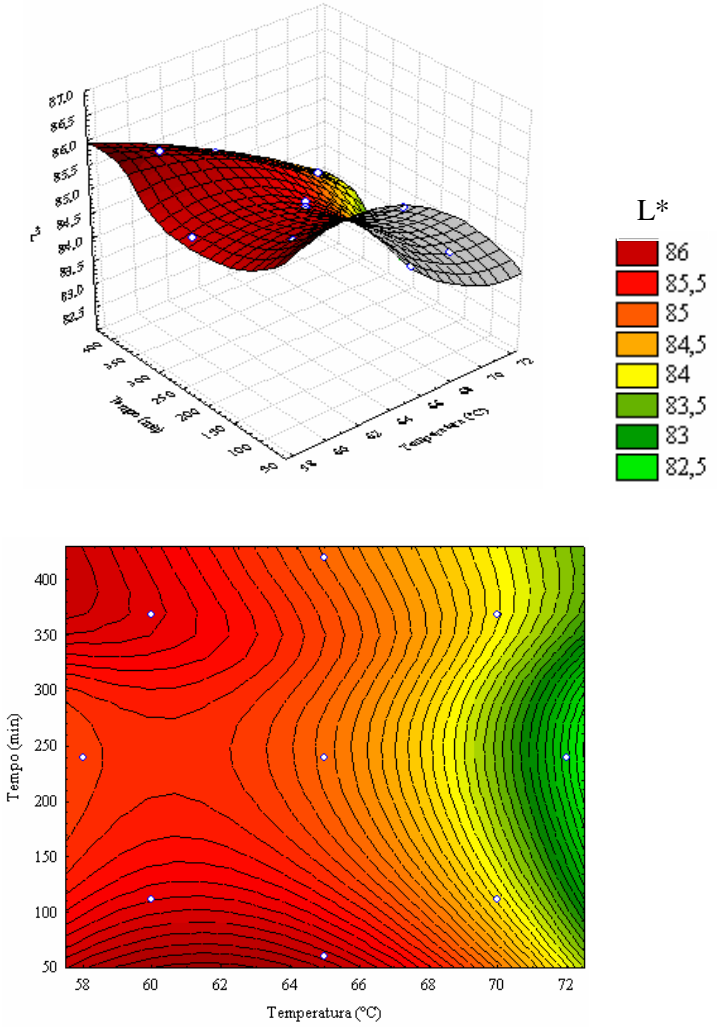


Figura 40. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a luminosidade L* da farinha da cv. BRS Primavera

Na Figura 41, podemos verificar que a região que utilizou a faixa de temperatura superior a 70 °C apresentou os menores valores de L* (< 83), ou seja, as farinhas mais escuras. A região ideal quanto o parâmetro L* (mais clara) foi a que utilizou temperaturas abaixo da faixa de temperatura de gelatinização (69 - 73 °C) e tempos de imersão superiores a 500 min. Para esta cultivar observa-se que os maiores tempos de imersão utilizados sob baixas temperaturas de encharcamento não contribui para o escurecimento da farinha, pois o

tempo empregado não foi suficiente para dissolver certas substâncias presentes no arroz e contribuir para a redução do valor de L* nesta região. Na temperatura de 58 °C e tempo de imersão abaixo de 300 min, a farinha obtida também foi escura. Este fato pode ter ocorrido, porque a etapa de encharcamento da parboilização é similar a fase inicial de germinação, quando ocorrem as mudanças enzimáticas, provocadas principalmente por amilases, que hidrolisam amido e consequentemente liberam um alto conteúdo de açúcar que é normalmente observado no arroz em casca e na água do encharcamento (XAVIER; ANTHONI RAJ, 1996; BHATTACHARYA; ALI, 1985).

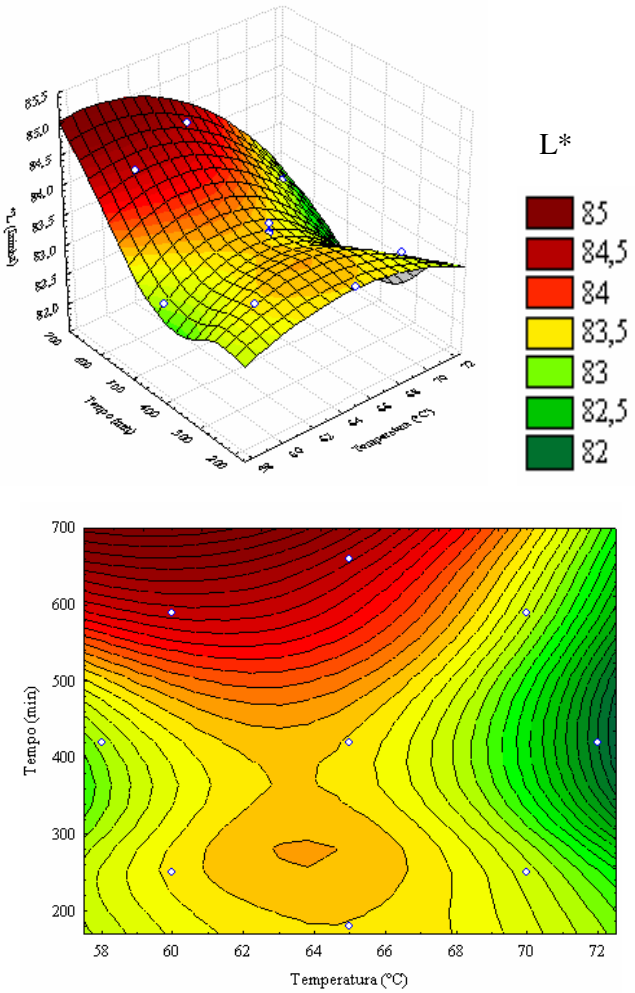


Figura 41. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a luminosidade L* da farinha da cv. BRS Sertaneja

Na literatura, os valores de L* encontrados para a farinha do arroz parboilizado da cultivar IR 20 variaram de 82,3 - 94,4 comparado com 95,5 para a farinha do arroz não parboilizado, indicando que o processo de parboilização escurece os produtos parboilizado,

indicando que o processo de parboilização escurece os produtos (BHATTACHARYA, 1996). Nos gráficos de superfície para a luminosidade das farinhas (Figuras 40 e 41), pode-se observar que as farinha mais escura (menor valor de L*) foi obtida em temperatura ≥ de 70 °C. Segundo Lamberts et al. (2006b), isto ocorre devido à difusão de componentes presentes na camada do farelo para o interior do endosperma (difusão interna) e a migração de componentes do arroz (lipídios) do endosperma para a superfície (migração externa). Segundo Gariboldi (1974) e Jayanarayanan (1965), o arroz torna-se mais escuro quando macerado a temperaturas maiores que 70 °C. Neste trabalho, a cor mais escura foi observada com temperaturas de água ≥ 70 °C com tempos de imersão de 100 - 350 min e 300 - 600 min, para as cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente.

O efeito do tempo de imersão e da temperatura na cor do arroz parboilizado foi explicado por Gariboldi (1974). Segundo este autor o aumento da temperatura permite que o grânulo de amido absorva água e gelatinize, facilitando a hidrólise do amido pelas enzimas com consequente produção de açúcares redutores, que podem reagir com aminoácidos produzindo as melanoidinas, de pigmentação marrom. Esta reação é mais intensa em função da concentração de açúcares e das altas temperaturas. Investigações têm demonstrado que a temperatura ideal para a atividade amilolítica é de 60 °C.

5.4.1.2 Coordenada de cromaticidade a*

O modelo completo para a coordenada de cromaticidade a* (Anexo B11) para a cv. BRS Primavera foi significativo (P = 0,0256), com R^2 de 87,61%, C.V. alto (13,01%) e a falta de ajuste significativa (FA = 0,0065). Porém o quadrado médio do erro experimental foi baixo (QM = 0,0001), podendo o modelo ser usado para fins preditivos (WASZCZYNSKYJ et al., 1981). Os efeitos linear da temperatura e quadrático do tempo de imersão foram significativos. A partir do modelo ajustado para a coordenada a* (Tabela 25) foram elaborados gráficos tri e bidimensionais, que apresentam a variação desta resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado na Figura 42.

A coordenada de cromaticidade a* da cv. BRS Primavera, apresentou uma região ideal (valores de a* próximos de 0) na faixa de temperatura entre 58 - 63 °C e tempos de imersão de 60 - 420 min. A partir de 65 °C e tempo de imersão acima de 100 min verifica-se que os valores de a* foram maiores, principalmente na faixa de tempo de imersão de 112 - 368 min. Porém, pode-se observar que em temperaturas acima de 65 °C e tempos de imersão superior a 368 min a cor da farinha foi mais clara que nas regiões que utilizaram a mesma faixa de temperatura e tempos de imersão menores. Esse resultado não está de acordo com a literatura,

pois nessa faixa espera-se encontrar valores de a* maiores, pois utilizou condições de encharcamento severas, ou seja, alta temperatura e tempo de imersão.

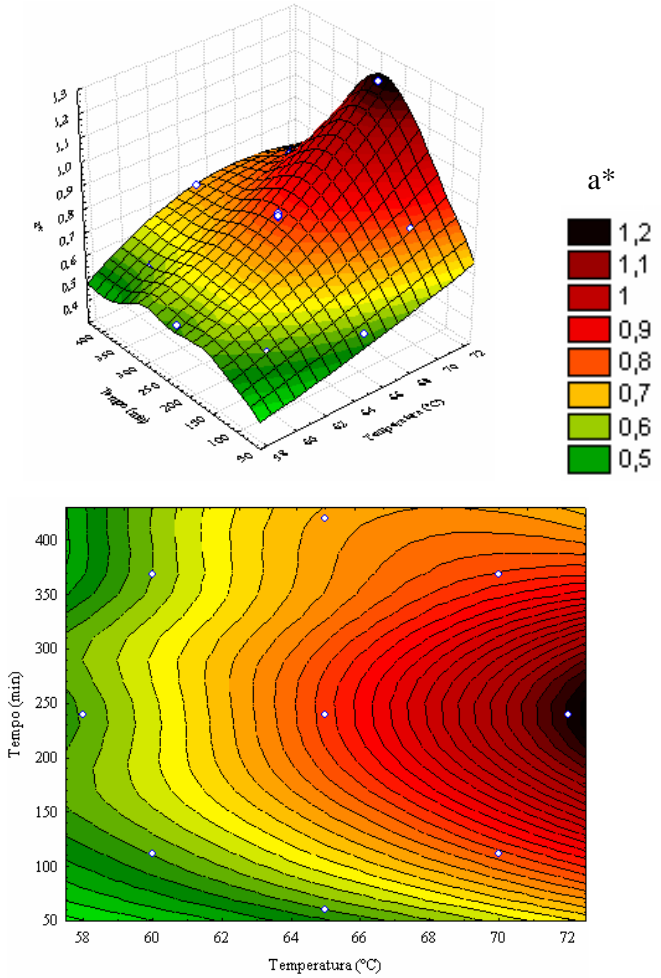


Figura 42. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a coordenada a* da farinha da cv. BRS Primavera

A cv. BRS Sertaneja apresentou modelo completo para a coordenada de cromaticidade a* significativo (P = 0,0008), com R^2 de 97,06%, C.V. baixo (3,81%) e falta de ajuste não significativa (FA = 0,1169), indicando que o modelo pode ser usado com fins preditivos (Anexo C11). Todos os efeitos lineares e quadráticos, assim com a interação entre a temperatura e o tempo de imersão foram significativos. A partir do modelo completo (Tabela 27) foram elaborados gráficos, tri e bidimensionais, que apresentam a variação da resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado na Figura 43.

Observa-se que a região ideal para o parâmetro a* da cv. BRS Sertaneja (Figura 43), encontra-se na faixa de temperatura 58 - 68 °C e tempo de imersão acima de 590 min. A faixa

de temperatura de 61 - 67 °C e tempo de imersão de 180 - 660 min também obteve baixos valores de a*. Os maiores valores de a* foram encontrados em temperaturas acima de 70 °C e tempos de imersão de 180 - 660 min, pois apresentam condições severas de encharcamento.

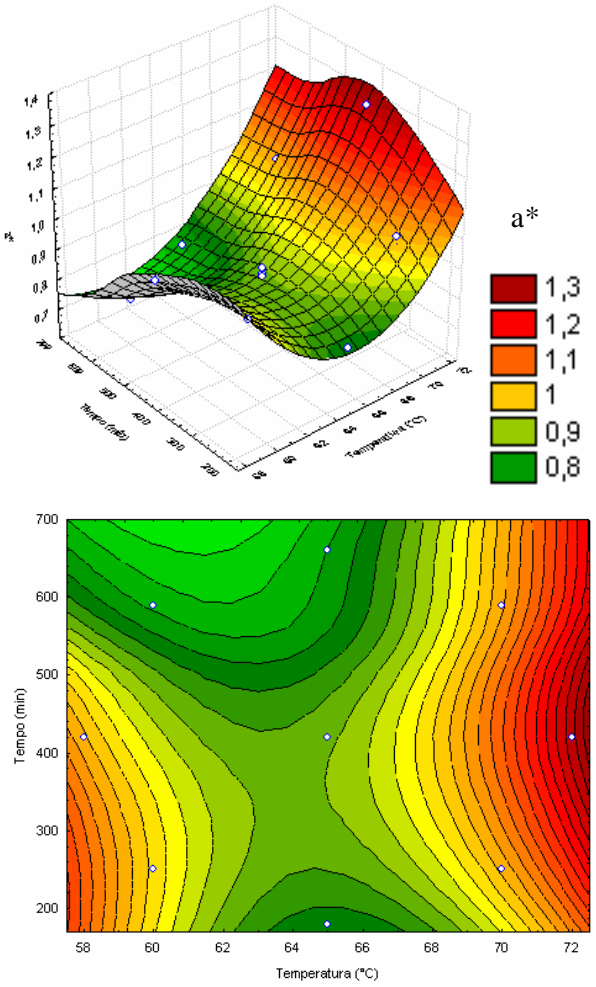


Figura 43. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a coordenada a* da farinha da cv. BRS Sertaneja

Nas temperaturas de 58 - 70 °C, as farinhas apresentaram coloração muito semelhante, mostrando a significância da interação entre a temperatura e o tempo de imersão, pois no ensaio 7 (58 °C/ 420 min) apesar de ter utilizado a temperatura mais baixa o tempo de imersão utilizado foi alto, ao passo que no ensaio 3 (70 °C/ 250 min), a temperatura foi alta, porém o tempo de imersão foi menor.

Os valores da coordenada a* para a farinha do arroz parboilizado da cultivar IR 20, variaram de 1,4 a 0,2 comparado com valores muito baixo (-2,3) para o arroz não parboilizado (BHATTACHARYA, 1996). Nos gráficos de superfície para a coordenada a* das farinhas de

arroz parboilizado (Figuras 42 e 43), pode-se observar que os maiores valores de a (farinha mais avermelhada) foi obtida em alta temperatura (acima de 70 °C). As farinhas com menores valores de a* foram obtidas na temperatura de 65°C, independente do tempo de imersão utilizado. Segundo Lamberts et al. (2006b), os valores elevados de a* em altas temperaturas ocorreram devido a difusão de pigmentos vermelhos da camada do farelo para o interior do endosperma.

5.4.1.3 Coordenada de cromaticidade b*

Para a cv. BRS Primavera, o modelo completo para b* foi significativo (P = 0,0036), com R^2 de 94,50%, C.V. baixo (2,58) e falta de ajuste (FA = 0,2363) não significativa, portanto este modelo pode ser utilizado para fins preditivo (Anexo B12). Apenas o efeito linear da temperatura foi significativo. Com o modelo ajustado (Tabela 25) foram elaborados gráficos, tri e bidimensionais, que apresentam a variação da resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado na Figura 44.

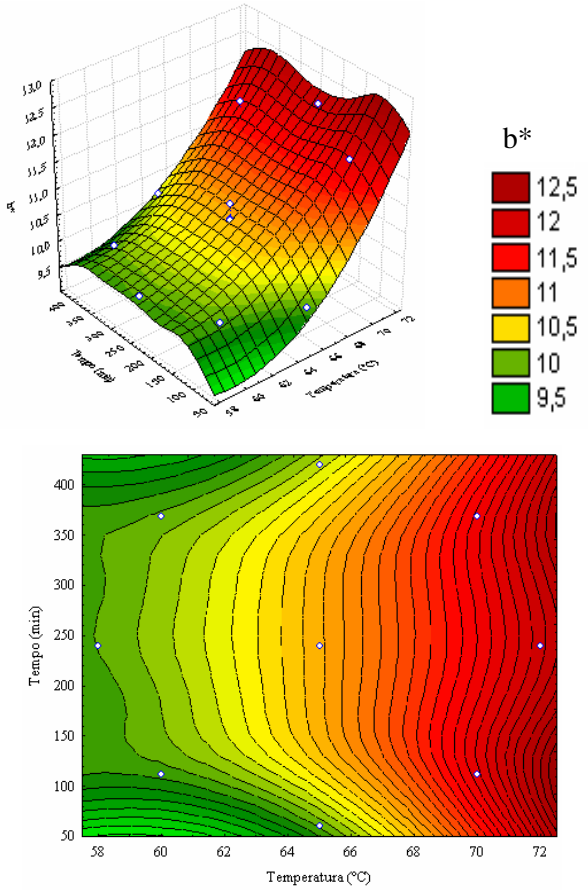


Figura 44. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a coordenada b* da farinha da cv. BRS Primavera

Verifica-se que a região ideal do parâmetro b* da cv. BRS Primavera (< 10,5, ou seja, farinhas menos amareladas) encontra-se na faixa de temperatura de 58 - 65 °C e tempos de imersão de 60 - 420 min. Nesta resposta, a temperatura do encharcamento teve maior influência no valor de b*. Nas temperaturas elevadas (> 68 °C) o valor de b* aumentou, pois nesta faixa o grão absorve mais água (Figura 26) e gelatiniza, provocando maior abertura da casca (Tabela 8) e consequentemente o endosperma do grão absorve mais os pigmentos amarelos da camada do farelo para o interior do endosperma (LAMBERTS et al., 2006b).

O modelo completo para a coordenada de cromaticidade b* da cv. BRS Sertaneja foi significativo (P = 0,0001), apresentando R^2 de 98,99% e C.V. baixo (0,89%). A falta de ajuste não foi significativa (FA = 0,1456), podendo o modelo ser usado com fins preditivos (Anexo C12). Todos os efeitos foram significativos para a resposta estudada. A partir do modelo ajustado da coordenada b* (Tabela 27), foram traçados gráficos, bi e tridimensionais, que apresentam a variação desta resposta em função da temperatura e do tempo de imersão empregados durante o encharcamento (Figura 45).

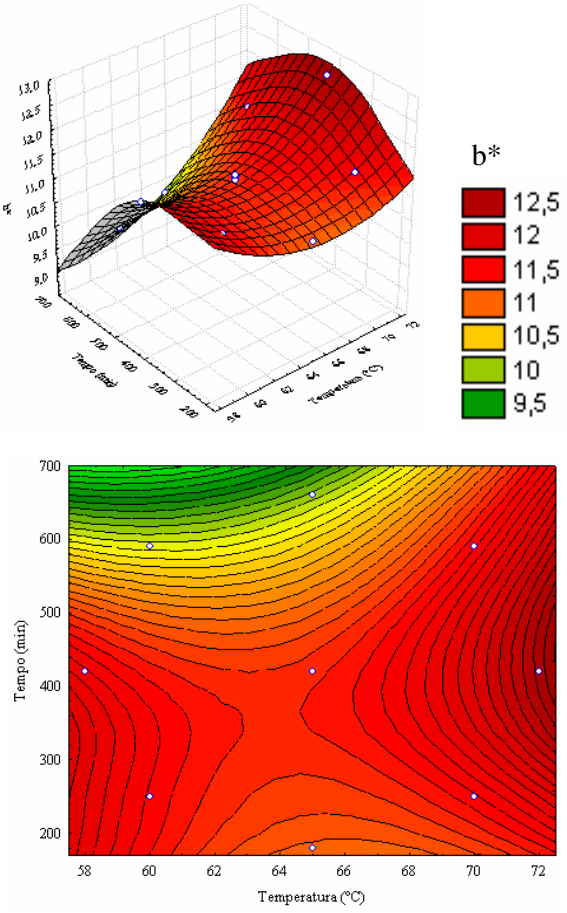


Figura 45. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a coordenada b* da cv. BRS Sertaneja

A região ideal (< 10) para a coordenada de cromaticidade b* para a cv. BRS Sertaneja esta na faixa de temperatura entre 58 - 68 °C com tempo de imersão entre 590 - 660 min. Na temperatura acima de 70 °C e tempo de imersão entre 300 - 590 min obteve-se os maiores valores de b* (12,5). De acordo com a Figura 27 esta é a região que obteve a maior absorção de água e a maior abertura da casca (Tabela 10), consequentemente a maior absorção de pigmentos amarelos do farelo para o interior do endosperma. Nas temperaturas entre 58 - 72 °C e tempos de imersão entre 180 - 590 min, obteve-se valores altos de b (11 – 12), porém menos intensos que a região citada anteriormente.

De acordo com Bhattacharya (1996) os valores da coordenada b* para a farinha de arroz parboilizado da cultivar IR 20, variaram de 5,5 a 12,8 comparado com 5,4 para o arroz não parboilizado, estando os valores encontrados neste trabalho dentro desta faixa. Neste trabalho, os maiores valores de b* (12,5) para as cvs. estudadas foram obtidos nas temperatura acima de 70 °C, pois nessas temperaturas, pode ocorrer abertura da casca (*splitting*), com consequente absorção pelo endosperma de pigmentos dissolvidos da casca (AMATO et al., 1990). A variável temperatura é mais importante que o tempo de residência na determinação da cor do parboilizado (AMATO; BITTENCOURT; GUINDANI, 1989). Cor amarela intensa da farinha podem ser atribuídos à difusão de pigmentos amarelos do farelo para o endosperma. O aumento do valor de b* também é atribuído à descoloração enzimática. Por exemplo, os compostos fenólicos são oxidados por enzimas oxido-redutase, como a polifenol oxidase (PPO) que esta presente no farelo e sua atividade diminui do farelo para o centro do endosperma. Consequentemente, o aumento da cor amarela é resultado da difusão interna de pigmentos amarelos, bem como da atividade enzimática durante o encharcamento, sendo que a umidade após o encharcamento contribui para estes efeitos (LAMBERTS et al., 2006b).

5.4.1.4 Diferença de cor

O modelo de regressão para a cv. BRS Primavera foi significativo (P = 0,0004), com C.V. baixo (3,82%) e falta de ajuste significativa (FA = 0,0318), no entanto o quadrado médio do erro experimental foi baixo (QM = 0,0036) (Anexo B13), podendo o modelo ser usado com fins preditivos segundo Waszczynskyj et al. (1981). Os efeitos linear e quadrático da temperatura e quadrático do tempo de imersão foram significativos. Com o modelo ajustado (Tabela 25) foram elaborados gráficos que apresentam a variação da resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado na Figura 46.

A diferença de cor para a cv. BRS Primavera apresentou uma redução na faixa de

temperaturas de 58 - 64 °C (região ideal, ou seja, com menor ΔE*), e a partir dessa temperatura da água de imersão esta diferença começou a aumentar. Verifica-se que na faixa de temperatura que utilizou temperaturas acima de 68 °C a diferença de cor das amostras parboilizadas em relação a padrão (arroz branco) foi maior. Este resultado era esperado uma vez que em altas temperaturas, o efeito de abertura da casca é mais intenso e consequentemente a absorção pelo endosperma dos pigmentos dissolvidos da casca também é maior (BHATTACHARYA, 1986; GARIBOLDI, 1974).

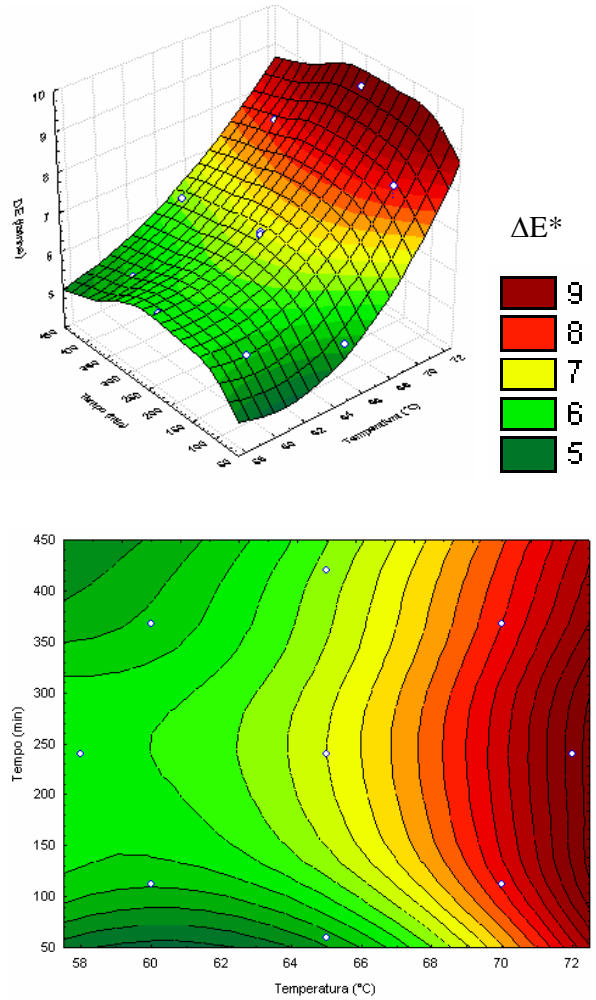


Figura 46. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre a diferença de cor da farinha da cv. BRS Primavera

A análise de Anova apresentada no Anexo C13 para a cv. BRS Sertaneja mostrou que o modelo completo para ΔE*, foi significativo (P = 0,0007), com R^2 igual a 97,24%, C.V. baixo (3,24%), e falta de ajuste (FA = 0,0969) não significativa, podendo este modelo ser usado com fins preditivos. Todos os efeitos foram significativos. A partir do modelo completo

Tabela 27) foram traçados gráficos (Figura 47) para a diferença de cor das farinhas.

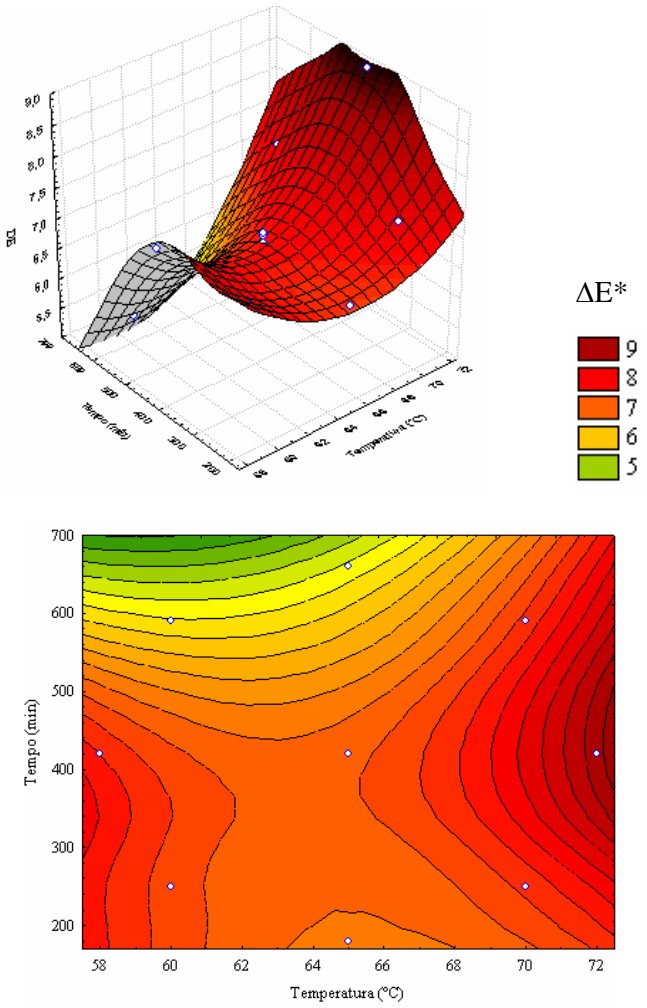


Figura 47. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento sobre a diferença de cor da farinha da cv. BRS Sertaneja

Verifica-se na Figura 47 que a região que obteve a maior diferença de cor (ΔE = 9) entre as amostras parboilizadas e a de arroz branco, foram as que utilizaram temperaturas entre 70 – 72 °C e tempos de imersão entre 250 - 590 min. Nesta faixa, de acordo com a Figura 27 (IAA) obteve-se a maior absorção de água e a maior abertura da casca (Tabela 10), consequentemente a maior absorção de pigmentos do farelo para o interior do endosperma (Figuras 41, 43 e 45). Nas temperaturas de 58 - 70 °C e tempos de imersão inferior a 590 min, obteve valores altos (ΔE entre 7 e 8), porém menos intensos que a região citada anteriormente.

Para as duas cultivares estudadas, observa-se que o efeito da variável temperatura foi mais expressivo em relação ao ΔE*, sendo que a medida que aumenta a temperatura

(principalmente acima de 70 °C) a diferença de cor entre as amostras submetidas ao tratamento hidrotérmico e as amostras de arroz branco aumenta. Esse fato é de se esperar uma vez que é inerente ao processo de parboilização a agregação de coloração, a ponto da legislação nacional vigente reconhecer esta característica, em decorrência do tratamento hidrotérmico (AMATO et al., 1990).

A produção de farinhas mais escuras e com tons mais intensos de amarelo e vermelho sob temperaturas mais altas, podem ser explicados devido a reação de escurecimento não enzimático (Reação de Maillard), ou seja, pela reação de aminoácidos livres com açúcares redutores, presentes em grande quantidade nas farinhas de arroz. Um alto conteúdo de umidade durante o encharcamento também resulta em maior difusão interna de pigmentos amarelos e vermelhos do farelo (LAMBERTS et al., 2006b).

As médias dos dados experimentais dos parâmetros instrumentais de cor da farinha grãos de arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja estão na Tabela 28, para fins de comparação com os dados obtidos do arroz parboilizado (Tabelas 24 e 26).

Tabela 28. Dados experimentais dos parâmetros instrumentais de cor da farinha dos grãos polidos ou brancos das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja

CULTIVAR	PARÂMETROS INSTRUMENTAIS		
	L*	a*	b*
BRS Primavera	89,58	-0,37	6,02
BRS Sertaneja	87,97	-0,17	6,10

Ao observar as Tabelas 24 e 26, as farinhas de arroz branco quanto à luminosidade L* apresentam-se com valores maiores (3,56 – 6,98% mais claras) que as farinhas de arroz parboilizado. Para a coordenada a*, as amostras de arroz branco apresentaram valores mais próximos de zero, ou seja, as amostras ficaram “menos vermelhas” que as amostras de arroz parboilizado, pois os valores de a* para as amostras parboilizadas tendem mais para a cor avermelhada (escala positiva) do que o arroz branco. A coordenada b* para as amostras de arroz branco apresentam menores valores (6,02 – 6,10), indicando a menor participação do amarelo em relação as amostras parboilizadas.

Para as variáveis respostas cor da farinha, as condições hidrotérmicas ideais em geral foram temperaturas abaixo da faixa de gelatinização (< 69 °C), pois apresentam baixo índices de abertura da casca do grão, reduzindo a quantidade de pigmentos amarelo e vermelho absorvidos pela cariopse e além do mais não intensifica a reação de Maillard.

5.5 EFEITO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE IMERSÃO DA ETAPA DE ENCHARCAMENTO DA PARBOILIZAÇÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE IMERSÃO

Para a cv. BRS Primavera, as médias dos dados experimentais do teor de STS e pH da água de imersão da etapa de encharcamento estão na Tabela 29.

Tabela 29. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais do teor de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS	
	X_1(°C)	X_2(min)	STS (%)	pH
1	60	112	0,18 ± 0,00	6,76 ± 0,02
2	60	368	0,46 ± 0,00	5,08 ± 0,03
3	70	112	0,26 ± 0,00	6,68 ± 0,01
4	70	368	0,70 ± 0,00	6,21 ± 0,04
5	65	60	0,17 ± 0,00	6,64 ± 0,01
6	65	420	0,67 ± 0,00	5,18 ± 0,01
7	58	240	0,35 ± 0,00	6,44 ± 0,05
8	72	240	0,60 ± 0,01	6,24 ± 0,01
9	65	240	0,41 ± 0,00	6,39 ± 0,02
10	65	240	0,39 ± 0,01	6,45 ± 0,03
11	65	240	0,34 ± 0,05	6,41 ± 0,01

VAR. IND.: Variáveis independentes

As análises estatísticas resumidas estão nos Anexos B14 e B15 e os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para essas respostas estão na Tabela 30.

Tabela 30. Modelos de regressão ajustados e coeficientes de determinação (R^2) do teor de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTAS	MODELO*	R^2
STS (%)	$y_i = 0{,}3877 + 0{,}0846x_1 + 0{,}0335x_1^2 + 0{,}1789x_2 + 0{,}0400x_1x_2$	96,10
pH	$y_i = 6{,}3958 - 0{,}5265x_2 - 0{,}2355x_2^2 + 0{,}3033x_1x_2$	86,28

y_i:resposta; x_1: Temperatura (°C); x_2: Tempo (min); * P≤0,05 (nível de probabilidade pelo teste F); itálico = o efeito apesar de não ser significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro, contribuiu com a resposta.

As médias dos dados experimentais do teor de STS e pH da água de imersão para a cv. BRS Sertaneja estão na Tabela 31. As análises estatísticas resumidas estão nos Anexos C14 e C15 e a Tabela 32 apresenta os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 31. Médias e desvios-padrão dos dados experimentais do teor de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão da cv. BRS Sertaneja em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

ENSAIO	VAR. IND.		RESPOSTAS	
	X_1(°C)	X_2(min)	STS (%)	pH
1	60	250	0,26 ± 0,01	6,64 ± 0,02
2	60	590	0,58 ± 0,01	5,20 ± 0,01
3	70	250	0,46 ± 0,00	6,49 ± 0,02
4	70	590	0,81 ± 0,01	6,24 ± 0,01
5	65	180	0,23 ± 0,00	6,68 ± 0,02
6	65	660	0,81 ± 0,01	5,45 ± 0,01
7	58	420	0,43 ± 0,00	5,43 ± 0,01
8	72	420	0,74 ± 0,01	6,10 ± 0,01
9	65	420	0,50 ± 0,01	6,04 ± 0,01
10	65	420	0,50 ± 0,01	5,67 ± 0,01
11	65	420	0,52 ± 0,00	6,25 ± 0,01

VAR. IND.: Variáveis independentes

Tabela 32. Modelos de regressão e coeficientes de determinação (R^2) do teor de sólidos totais secos (STS) e pH da água de imersão da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (x_1) e tempo de imersão (x_2) na etapa de encharcamento da parboilização

RESPOSTAS	MODELO*	R^2
STS (%)	$y_i = 0{,}5070 + 0{,}1091x_1 + 0{,}0332x_1^2 + 0{,}1864x_2$	98,25
pH	$y_i = 6{,}0176 + 0{,}2304x_1 - 0{,}4272x_2 + 0{,}2967x_1x_2$	79,77

y_i :resposta; x_1 :temperatura (°C); x_2 :tempo de imersão (min); * P≤0,05 (nível de probabilidade pelo teste F);

5.5.1 Sólidos Totais Secos (STS)

A análise de Anova apresentada no Anexo B14 para a cv. BRS Primavera mostrou que o modelo completo para STS da água de imersão foi significativo (P = 0,0003), com R^2 de 97,92%, C.V. alto (9,08) e falta de ajuste não significativa (FA = 0,4748), sendo o modelo preditivo para esta resposta. Os efeitos lineares e quadráticos da temperatura, linear do tempo de imersão e a interação foram significativos para STS. A partir do modelo ajustado (Tabela 30) foram elaborados gráficos que apresentam a variação da resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado na Figura 48.

Verifica-se que a região de maior perda de STS foi a que utilizou faixas de temperaturas entre 65 - 72 °C e tempos de imersão entre 300 - 420 min. O aumento na perda de sólidos solúveis na água de maceração aumenta com o tempo de imersão (OLIVEIRA et al., 2005; GUTKOSKI; ELIAS, 1994; SUBRAMANIAN; DAKSHINAMURTHY, 1977) e com a elevação da temperatura (BÜTTOW, 1984). Esse fato ocorre devido às condições severas da parboilização, que ocasiona perdas de componentes do grão para a água de

maceração, como proteína e carboidratos solúveis (SUBRAMANIAN; DAKSHINAMURTHY, 1977).

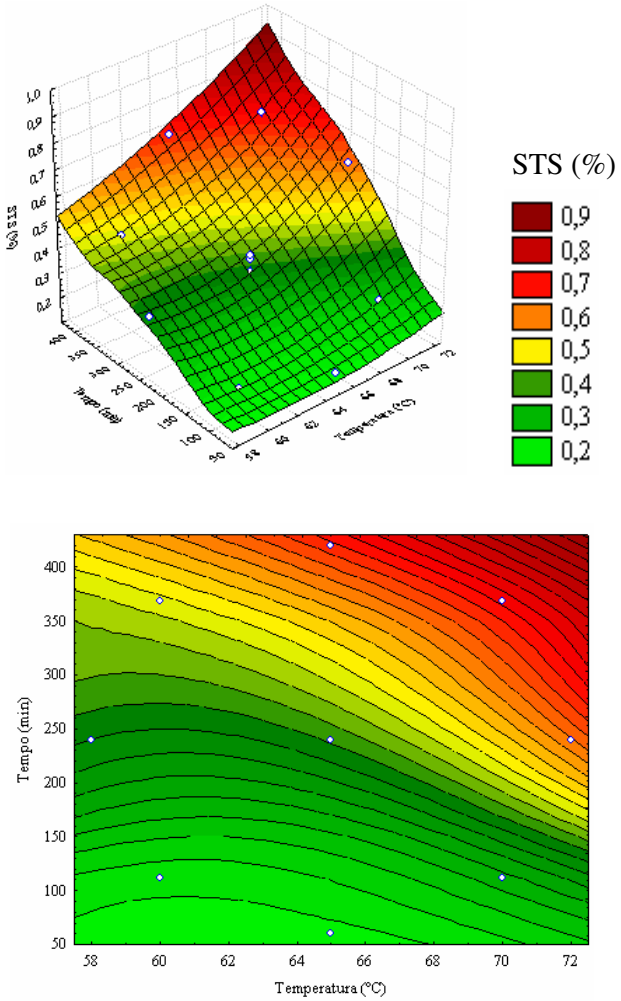


Figura 48. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento sobre os STS (%) da água de imersão da cv. BRS Primavera

Para a cv. BRS Sertaneja, os STS na água de maceração apresentaram modelo completo significativo (P = 0,0001), R^2 igual a 98,81%, C.V. médio (5,71) e falta de ajuste não significativa (FA = 0,0839), sendo os modelos preditivos para esta resposta. Os efeitos lineares para a temperatura e o tempo de imersão e o efeito quadrático para a temperatura foram significativos para a resposta estudada (Anexo C14). Com o modelo ajustado (Tabela 32) foram elaborados gráficos de superfície de resposta que apresentam a variação da resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado na Figura 49.

Na Figura 49, as menores perdas de STS para a água de maceração encontra-se na faixa de temperatura entre 58 – 66 °C e tempos de imersão entre 180 – 250

min. À medida que aumenta a temperatura e o tempo de imersão os teores de STS aumentam.

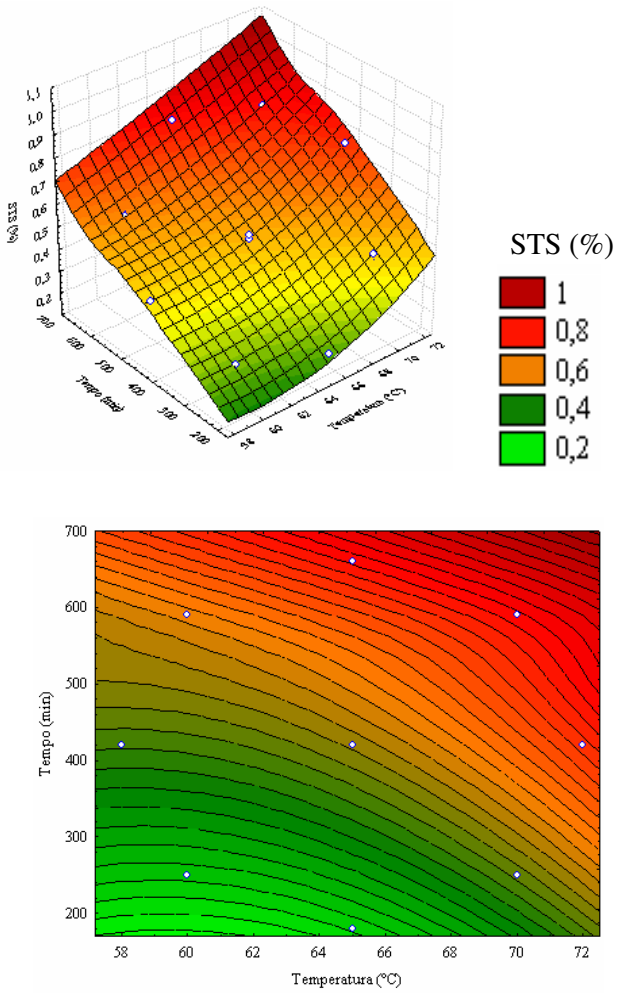


Figura 49. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre os STS (%) da água de imersão da cv. BRS Sertaneja

O aumento na perda de sólidos solúveis na água de imersão aumentou com o prolongamento do tempo de encharcamento, o mesmo verificado por Oliveira et al. (2005); Gutkoski; Elias (1994) e Subramanian; Dakshinamurthy (1977) e também com a elevação da temperatura (BÜTTOW, 1984). A região ideal (menor perda de sólidos) ocorreu na faixa de temperatura de entre 58 - 66 °C e tempo de imersão inferior a 250 min. Esse fato ocorreu devido as condições severas da parboilização ocasionarem perdas de constituintes do grão para a água de maceração, como proteína e carboidratos solúveis (SUBRAMANIAN; DAKSHINAMURTHY, 1977).

Elias et al. (1995) estudando a cultivar BR-IRGA 410 de arroz de grãos longo fino (agulinha), submetidas ao encharcamento (60 °C/ 6 h), encontraram teores de sólidos totais na

água de imersão variando de 0,1 - 0,8%, sendo que a medida que aumentou o tempo de encharcamento obteve maiores perdas de sólidos totais. Portanto, os valores encontrados neste trabalho estão próximos ao citado, pois as perdas de sólidos na água de maceração variaram de 0,18 - 0,70% para a cv. BRS Primavera e 0,26 - 0,81% para a cv. BRS Sertaneja. Ao compararmos as perdas de sólidos entre as duas cultivares percebe-se que a BRS Sertaneja apresentou maiores perdas, provavelmente pelo fato de ter sido submetida a tempos mais prolongados de encharcamento.

5.5.2 pH

Para pH, a cv. BRS Primavera apresentou modelo significativo (P = 0,0068), R^2 de 92,88%, C.V. baixo (3,44%) e falta de ajuste significativa (FA = 0,0134), porém o quadrado médio do erro experimental foi baixo (QM = 0,0010), podendo o modelo ser usado com fins preditivos segundo Waszczynskyj et al. (1981). Os efeitos linear e quadrático para o tempo de imersão e o efeito da interação foram significativos para esta resposta (Anexo B15). A partir do modelo ajustado para o pH (Tabela 30) foram elaborados gráficos, tri e bidimensionais, que apresentam a variação da resposta em função da temperatura e do tempo de imersão, conforme observado na Figura 50.

Pode-se observar que a faixa ideal do pH da água de imersão da cv BRS Primavera (pH próximo a neutralidade) encontra-se na faixa de temperatura de entre 58 - 72 °C e tempo de imersão entre 60 - 300 min. Para esta resposta a variável tempo de imersão foi mais expressiva que a temperatura, pois a medida que se prolongou o tempo de encharcamento, mais ácida ficou a água residuária (APHA, 1995). Verifica-se no gráfico que a região que utilizou a faixa de temperatura entre 58 - 65 °C e tempos longos de encharcamento (entre 350 - 420 min) obtiveram os valores mais baixos de pH, pois nesta região pode ter aumentado a atividade enzimática no arroz (lípase, peroxidase, lipoxigenase) e os grãos podem ter fermentado, reduzindo assim o pH (AMATO; ELIAS, 2005).

A análise de Anova apresentada no Anexo C15 para a cv. BRS Sertaneja mostrou que o modelo para pH foi significativo (P = 0,0175), com R^2 de 89,44%, C.V. baixo (3,89%), e falta de ajuste (FA = 0,7759) não significativa, podendo este modelo ser usado com fins preditivos. Os efeitos lineares para a temperatura e o tempo de imersão e a interação foram significativos. A partir do modelo ajustado (Tabela 32) foram traçados gráficos (Figura 51) para o pH da água de imersão.

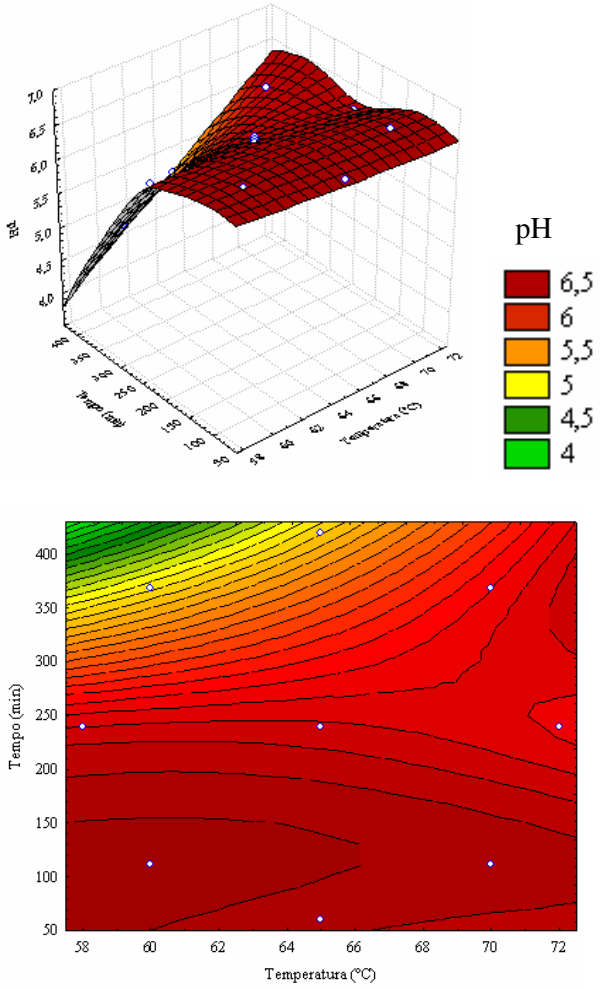


Figura 50. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento da parboilização sobre o pH da água de imersão da cv. BRS Primavera

Para o pH da água de imersão da cv. BRS Sertaneja, verifica-se que a região ideal para o pH da água de imersão (próximo da neutralidade), encontra-se na faixa de temperatura entre 58 - 71 °C e tempo de imersão entre 60 - 250 min. O efeito do tempo de imersão foi mais expressivo nesta resposta do que o da temperatura, podendo este fato ser percebido facilmente no gráfico, pois a medida que aumenta o tempo de maceração o pH da água de imersão reduz, ou seja, torna-se mais ácida (APHA, 1995). Observa-se que a região ideal para o pH coincide com a região de menor perda de sólidos solúveis (Figura 49), além do mais, a região que utilizou faixa de temperatura entre 58 - 65 °C e tempos de encharcamento prolongado (entre 450 – 660 min) apresentaram valores mais baixos de pH, pois nesta região pode ter aumentado a atividade enzimática no arroz e os grãos fermentaram, reduzindo o pH (AMATO; ELIAS, 2005).

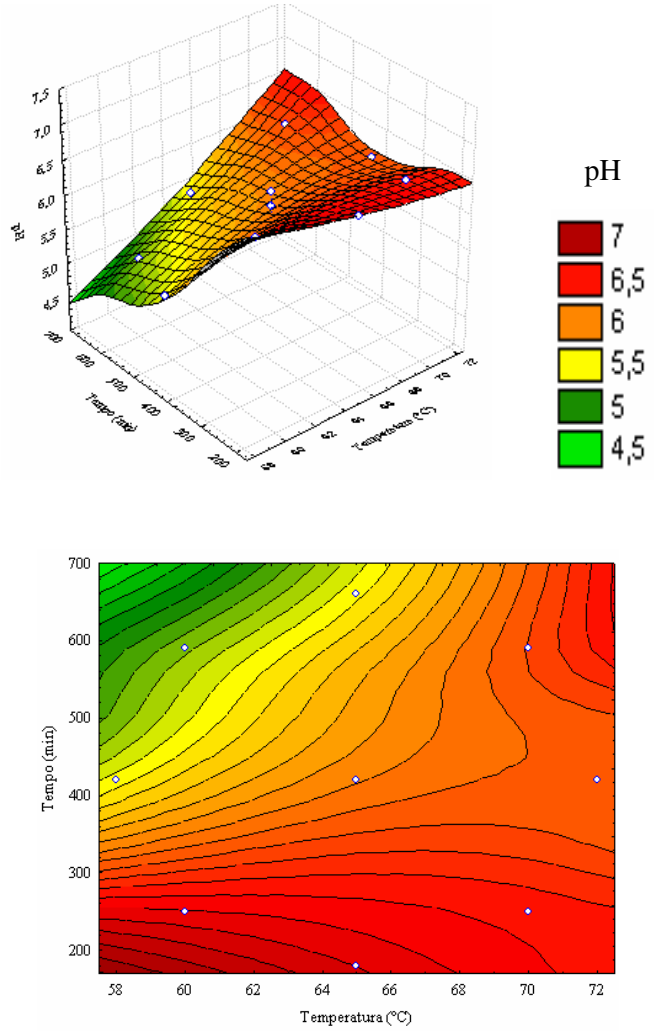


Figura 51. Efeito da temperatura e tempo de imersão da etapa de encharcamento sobre o pH da água de imersão da cv. BRS Sertaneja

Elias et al. (1995) estudando a cultivar BR-IRGA 410 de arroz de grão longo fino (agulhinha), submetidas ao encharcamento (60 °C/ 6 h), obtiveram uma faixa de pH variando de 5,9 - 6,4. Apesar das condições utilizadas neste trabalho não serem exatamente as mesmas (qualidade da água, cultivar, etc), verifica-se que os resultados obtidos para as duas cultivares estudadas estão próximas dos encontrados por esses autores, pois a cv. BRS Primavera obteve um pH na faixa de 4,0 - 6,5 e a cv. BRS Sertaneja uma faixa de pH entre 4,5 - 7,0. Comparando o comportamento das duas cultivares pode-se verificar que foram semelhantes, pois obtiveram valores de pH mais baixos nos maiores tempo de encharcamento (368 - 420 min para a cv. BRS Primavera e 590 - 660 min para a cv. BRS Sertaneja).

5.6 SELEÇÃO DOS TRATAMENTOS PARA ANÁLISE NUTRICIONAL, SENSORIAL E DE COCÇÃO

A partir das variáveis respostas obtidas, os seguintes critérios para seleção dos experimentos, que serão avaliados em relação às características físico-químicas, de cozimento e sensoriais, foram adotados: a) índice de absorção de água (~ 30%); b) Índice de abertura da casca (menores porcentagens); c) Grau de polimento (menores valores); d) Renda do benefício (maiores porcentagens); e) Rendimento de inteiros (maiores porcentagens); f) defeitos: danificados; grãos bananas; manchados e picados (menores porcentagens); g) Cor: L* (valores próximos de 100); a* (valores positivos próximos de 0); b* (valores positivos próximos de 0) e ΔE* (menores valores); h) STS (menores perdas); i) pH (próximo a neutralidade).

Os modelos que apresentaram-se significativos foram analisados dentro da região estudada. Modelos não significativos e que não apresentaram nenhuma variável significativa foram analisados com base nas diferenças de médias dos dados experimentais. As Tabelas 33 e 34 apresentam as médias dos dados experimentais mais positivos (melhores resultados) obtidos em cada experimento, com base nos critérios citados anteriormente para a cv. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente.

De acordo com os critérios estabelecidos estão apresentados na Tabela 35 os tratamentos selecionados e as médias dos dados experimentais obtidos para cada variável resposta analisada para a cv. BRS Primavera.

A partir dos critérios considerados para a cv. BRS Sertaneja, selecionou-se experimentais, sendo as médias dos dados experimentais obtidos para cada variável resposta analisada apresentados na Tabela 36.

Na Tabela 35 verifica-se que as faixas selecionados para cada variável resposta encontra-se de 29,06 - 29,37% para o IAA, de 27,67 - 33,67% para o IAC, de 6,76 – 8,91% para o GP, de 72,73 - 73,72% para renda do benéfico e de 67,79 - 70,21% para rendimento de inteiros. Quanto aos defeitos os valores apresentam-se entre 16,2 - 22,0% de grãos danificados, 0,8 - 1,4% de grãos bananas, 3,8 - 7,6% de grãos manchados e picados, e de 0 - 1% de GNG. A cor da farinha dos grãos apresentaram parâmetro L* entre 85,15 - 85,97, cromaticidade a* entre 0,54 - 0,55, coordenada b* entre 9,88 - 9,91 e diferença de cor entre 5,53 - 5,97. Para as análise feitas na água de imersão, as faixas encontraram-se entre 0,17 - 0,35% de STS e pH entre 6,44 - 6,76.

Tabela 33. Dados experimentais médios mais positivos obtidos em cada experimento para a cv. BRS Primavera

VARIÁVEIS DEPENDENTES	ENSAIOS / TRATAMENTOS (°C/ min)										
	58/ 240	60/ 112	60/ 368	65/ 60	65/ 240	65/ 240	65/ 240	65/ 420	70/ 112	70/ 368	72/ 240
Características tecnológicas (%)											
IAA	29,37	29,06	-	29,22	-	-	-	-	-	-	-
IAC	33,67	31,67	-	27,67	-	-	-	-	-	-	-
GP	-	6,76	-	-	-	-	-	-	-	6,62	6,54
Renda do benefício	-	73,72	-	-	-	-	-	-	73,72	74,09	75,97
Rendimento de inteiros (%)	69,58	70,21	-	-	-	-	-	-	68,70	-	-
Defeitos (%)											
Danificados	-	16,6	-	16,2	-	-	-	-	16,0	-	-
Bananas	1,4	0,8	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-
Manchados e picados	3,8	-	-	-	-	-	-	-	3,6	-	4,4
GNG	-	-	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cor da farinha											
L*	-	85,67	85,82	85,97	-	-	-	-	-	-	-
a*	0,54	0,55	0,56	0,55	-	-	-	-	-	-	-
b*	9,91	9,89	-	9,88	-	-	-	-	-	-	-
ΔE	-	5,58	5,53	5,37	-	-	-	-	-	-	-
Água de imersão											
STS (%)	-	0,18	-	0,17	-	-	-	-	0,26	-	-
pH	-	6,76	-	6,64	-	-	-	-	6,68	-	-
Total de respostas positivas*	**07**	**13**	04	**10**	01	01	01	01	07	03	04

* No total de respostas positivas as que estão em negrito foram selecionadas para a avaliação nutricional, sensorial e de cocção

Tabela 34. Dados experimentais médios mais positivos obtidos em cada experimento para a cv. BRS Sertaneja

VARIÁVEIS DEPENDENTES	ENSAIOS / TRATAMENTOS (°C/ min)										
	58/ 420	60/ 250	60/ 590	65/ 180	65/ 420	65/ 420	65/ 420	65/ 660	70/ 250	70/ 590	72/ 420
Características tecnológicas (%)											
IAA	29,68	29,51	30,71	-	-	-	-	-	-	-	-
IAC	27,67	29,33	-	26,00	-	-	-	-	-	-	-
GP	-	-	-	-	-	-	-	-	6,55	6,92	6,41
Renda do benefício	-	-	-	-	-	-	-	76,94	76,79	-	77,26
Rendimento de inteiros	-	-	-	-	-	-	75,62	-	75,58	-	75,71
Defeitos (%)											
Danificados	2,4	6,4	-	5,8	-	-	-	-	-	-	-
Bananas	0,0	0,2	-	0,4	0,2	0,4	0,2	-	-	-	-
Manchados e picados	-	-	-	3,6	4,4	3,6	2,8	-	-	-	-
GNG	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cor da farinha											
L*	-	-	84,38	-	-	83,58	-	84,41	-	-	-
a*	-	-	0,76	0,81	-	-	-	0,78	-	-	-
b*	-	-	10,14	10,98	-	-	-	9,95	-	-	-
ΔE	-	-	5,51	6,72	-	-	-	5,33	-	-	-
Água de imersão											
STS (%)	0,43	0,26	-	0,23	-	-	-	-		-	-
pH	-	6,64	-	6,68	-	-	-	-	6,49	-	-
Total de respostas selecionadas	06	**07***	06	**09**	03	04	**04****	06	05	02	04

Tratamentos que não tiveram o maior número de resposta positivas, mas foram selecionados por apresentarem as melhores respostas para: * STS e pH da água de imersão; ** Rendimento de inteiros e defeitos

Tabela 35. Experimentos selecionados e as médias dos dados experimentais obtidos para cada variável resposta analisada da cv. BRS Primavera

Variáveis dependentes	Experimentos selecionados		
	58 °C/ 240 min	**60°C/ 112 min**	**65 °C/ 60 min**
Características tecnológicas (%)			
IAA	29,37	29,06	29,22
IAC	33,67	31,67	27,67
GP	8,69	6,76	8,91
Renda do benefício	73,60	73,72	72,83
Rendimento de inteiros	69,58	70,21	67,79
Defeitos (%)			
Danificados	22,0	16,6	16,2
Bananas	1,4	0,8	1,2
Manchados e picados	3,8	7,6	4,8
GNG	0,4	0,8	2,0
Cor da farinha			
L*	85,15	85,67	85,97
a*	0,54	0,55	0,55
b*	9,91	9,89	9,88
ΔE	5,97	5,58	5,53
Água de imersão			
STS (%)	0,35	0,18	0,17
pH	6,44	6,76	6,64

Tabela 36. Experimentos selecionados e as médias dos dados experimentais obtidos para cada variável resposta analisada da cv. BRS Sertaneja

Variáveis dependentes	Experimentos selecionados		
	60 °C/ 250 min	**65°C/ 180 min**	**65 °C/ 420 min**
Características tecnológicas (%)			
IAA	29,51	30,85	32,70
IAC	29,33	26,00	36,67
GP	9,33	7,26	6,98
Renda do benefício	74,31	76,66	76,62
Rendimento de inteiros	73,65	73,26	75,62
Defeitos (%)			
Danificados	6,4	5,8	9,4
Banana	0,2	0,4	0,2
Manchados e picados	5,2	3,6	2,8
GNG	0,0	1,2	0,0
Cor da farinha			
L*	83,49	83,46	83,42
a*	0,97	0,81	0,89
b*	11,46	10,98	11,31
ΔE	7,08	6,72	7,00
Água de imersão			
STS (%)	0,26	0,23	0,52
pH	6,64	6,68	6,25

Os tratamentos selecionados para cv. BRS Sertaneja (Tabela 36) apresentam para cada

variável resposta as seguintes faixas de valores: 29,51 - 32,70% para o IAA, 26,00 - 36,67% para o IAC, 6,98 – 9,33% para o GP, 74,31 - 76,66% para renda do benéfico e 73,26 - 75,62% para rendimento de inteiros. Já os defeitos apresentam-se com valores entre 5,8 - 9,4% de grãos danificados, 0,2 - 0,2% de grãos bananas, 2,8 - 5,2% de grãos manchados e picados, e de 0 - 1% de GNG. Para a cor das farinhas o L* esteve entre 83,42 - 83,46, cromaticidade a* entre 0,81 - 0,97, coordenada b* entre 10,98 - 11,46 e diferença de cor entre 6,72 - 7,08. A água de imersão dos tratamentos selecionados apresentaram valores entre 0,23 - 0,52% de STS e pH de 6,25 - 6,68.

5.7 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Após a moagem dos grãos de arroz branco e parboilizado, as farinhas obtidas foram peneiradas. Os resíduos de cada peneira e do fundo foram pesados em balança semi-analítica e os resultados expressos em porcentagem (Tabelas 37 e 38).

Tabela 37. Percentual de material retido de partículas de farinha de arroz polido e parboilizados da cv. BRS Primavera em conjunto de peneiras e perdidos durante manipulação

Malha (mesh)	**35**	**60**	**100**	**140**	**270**	**Fundo**	**Perdas***
Abertura (mm)	**0,50**	**0,250**	**0,150**	**0,106**	**0,053**	**< 0,149**	
Farinha de arroz	**MATERIAL RETIDO (%)**						
Branco	-	1,57	52,97	41,33	1,58	-	2,55
Parboilizado							
58 °C/ 240 min	0,13	7,73	45,82	40,31	3,33	0,16	2,52
60 °C/112 min	0,02	9,50	18,94	57,17	10,01	2,39	1,97
65 °C/60 min	0,01	1,79	33,10	47,87	14,63	0,60	2,00

*Perda de material durante a retirada da farinha das peneiras

Tabela 38. Percentual de material retido de partículas de farinha de arroz polido e parboilizados da cv. BRS Sertaneja em conjunto de peneiras e perdidos durante manipulação

Malha (mesh)	**35**	**60**	**100**	**140**	**270**	**Fundo**	**Perdas***
Abertura (mm)	**0,50**	**0,250**	**0,150**	**0,106**	**0,053**	**< 0,149**	
Farinha de arroz	**MATERIAL RETIDO (%)**						
Branco	-	3,03	45,32	42,76	5,94	0,62	2,33
Parboilizado							
60 °C/250 min	0,01	2,24	39,17	39,90	15,42	0,81	2,45
65 °C/180 min	-	1,94	49,49	38,25	8,79	0,13	1,40
65 °C/420 min	0,01	2,39	45,42	41,46	8,62	0,28	1,82

*Perda de material durante a retirada da farinha das peneiras

Pode-se observar que o tamanho de partículas predominante nas farinhas de arroz

polido e parboilizado estão compreendidos entre 0,150 - 0,106 mm (mais de 70%), ou seja, o material que ficou retido nas peneiras de 100 e 140 mesh. As farinhas foram armazenadas sob refrigeração (5 °C), em sacos de polietileno de baixa densidade e acondicionados em potes brancos de polipropileno, até o momento das análises.

A Tabela 39 apresenta a composição centesimal (base seca) do arroz branco e das amostras parboilizadas selecionadas da cv. BRS Primavera, enquanto a Tabela 40 da cv. BRS Sertaneja.

Tabela 39. Composição centesimal (em base seca) da farinha de arroz branco e parboilizadas selecionadas da cv. BRS Primavera

Constituintes (g/ 100 g)	Arroz branco	Arroz parboilizado		
		58 °C/ 240 min	60°C/ 112 min	65°C/ 60 min
Umidade	11,28 ± 0,07a	9,79 ± 0,12b	9,45 ± 0,05b	9,65 ± 0,09b
Cinzas	0,50 ± 0,02d	0,89 ± 0,01a	0,79 ± 0,00b	0,67 ± 0,02c
Proteínas*	11,22 ± 0,02a	11,09 ± 0,08a	10,94 ± 0,06ab	10,70 ± 0,07b
Lipídios	0,55 ± 0,00b	1,00 ± 0,04a	0,65 ± 0,14b	0,54 ± 0,01b
Fibra bruta	0,30 ± 0,07a	0,49 ± 0,02a	0,29 ± 0,02a	0,39 ± 0,03a
Carboidratos**	87,44 ± 0,12a	86,53 ± 0,06b	87,33 ± 0,17a	87,70 ± 0,04a

* Proteína: N x 5,95; ** Carboidratos: Calculados por diferença [100-(proteína bruta + cinzas + lipídios + fibra bruta)]; Resultados representam a média de duas determinações ± desvio-padrão; Letras diferentes nas linha diferem significativamente pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$)

Tabela 40. Composição centesimal (em base seca) da farinha de arroz branco e parboilizadas selecionadas da cv. BRS Sertaneja

Constituintes (%)	Arroz branco	Arroz parboilizado		
		60 °C/ 250 min	65°C/ 180 min	65°C/ 420 min
Umidade	11,63 ± 0,07 a	10,75 ± 0,02c	10,50 ± 0,03d	11,09 ± 0,04b
Cinzas	0,56 ± 0,00 c	0,89 ± 0,03 b	0,94 ± 0,01 a	0,90 ± 0,01 ab
Proteínas*	10,90 ± 0,12 b	11,07 ± 0,00b	11,94 ± 0,01 a	11,98 ± 0,17 a
Lipídios	0,59 ± 0,07 b	1,10 ± 0,01a	1,00 ± 0,01 a	0,66 ± 0,10 b
Fibra bruta	0,30 ± 0,02 b	0,43 ± 0,01 a	0,48 ± 0,02 a	0,44 ± 0,01 a
Carboidratos**	87,65 ± 0,20a	86,51 ± 0,03b	85,63 ± 0,02 c	86,01 ± 0,29bc

* Proteína: N x 5,95; ** Carboidratos: Calculados por diferença [100-(proteína bruta + cinzas + lipídios + fibra bruta)]; Resultados representam a média de duas determinações ± desvio-padrão; Letras diferentes nas linha diferem significativamente pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$);

Os dados de composição físico-química das amostras de arroz branco e parboilizado apresentados nas Tabelas 39 e 40 não diferem dos que vem sendo encontrados nos levantamentos realizados empregando-se outras variedades de cultivares, bem como por outros autores (Tabela 5).

Quando compara-se o arroz parboilizado com o arroz branco, verifica-se que as cinzas, a gordura, e a fibra foram os constituintes que apresentaram um incremento nos valores para o

arroz parboilizado das duas cultivares estudadas. Este fato pode ser devido a migração destes das camadas periféricas para o interior dos grãos durante o processo de parboilização, como observado por Gularte et al. (2005) e Vieira et al. (2006). Além disso, segundo Amato e Elias (2005), o tratamento hidrotérmico permite que as camadas externas (que formam o pericarpo, o tegumento, a nucela, as células aleurônicas do endosperma e parte do embrião, principalmente o escutelo) fossem "afrouxadas" parcialmente e agregadas ao endosperma amiláceo da cariopse, de forma que o embrião se mantém no seu lugar, não sendo fácil seu desprendimento durante o descascamento, gerando o incremento observado.

5.7.1 Umidade

Com relação ao teor de umidade da cv. BRS Primavera (Tabela 39) houve diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre a amostra de arroz branco e as parboilizadas, porém entre as amostras que sofreram tratamento hidrotérmico não houve diferença significativa (Figura 52a). Já para a cv. BRS Sertaneja (Tabela 40) houve diferença significativa entre a amostra de arroz branco e as parboilizadas e também estas diferiram entre si (Figura 52b).

As médias para os teores de umidade variaram entre 11,28–11,63 g/ 100 g para as amostras de arroz branco e de 9,45–9,79 g/ 100 g para as amostras de arroz parboilizado da cv. BRS Primavera e 10,50–11,09 g/ 100 g para a cv. BRS Sertaneja. Estes resultados estão próximos dos valores encontrados por Heinemann et al. (2005) (Tabela 5), que utilizou para estudo cultivares de arroz irrigado.

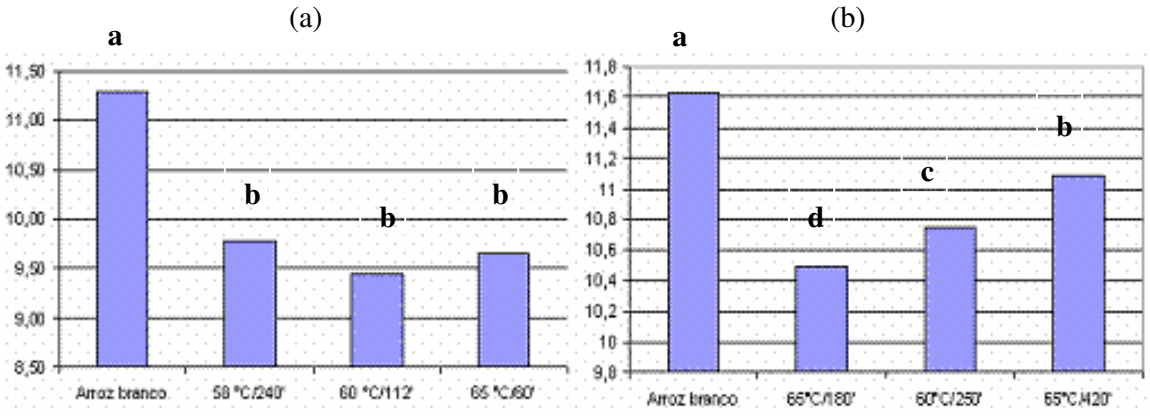


Figura 52. Efeito da parboilização no teor de umidade do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b)

Verifica-se que a cv. BRS Primavera apresentou teores de umidade mais baixos que a cv. BRS Sertaneja, talvez pelo fato desta cultivar apresentar grãos mais delgados e

consequentemente o deslocamento da água por difusão é mais rápido durante o processo de secagem. Entre os tratamentos, o que apresentou maior teor de umidade foi aquele que utilizou um maior tempo de encharcamento (420 min). Este resultado esta conforme o esperado, pois a absorção de água aumenta com o aumento da temperatura e do tempo do encharcamento (MIAH et al., 2002a) e em função do cozimento (MARSHALL et al., 1993).

5.7.2 Cinzas

A cv BRS Primavera apresentou diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre todos os tratamentos. O tratamento que apresentou o maior teor de cinzas foi a combinação binária de 58 °C/ 240', seguido pelos tratamentos de 60 °C/ 112 min, 65 °C/ 60 min e amostra sem parboilização (Figura 53a). Este resultado é devido ao fato dos maiores tempos de encharcamento resultarem em maior migração para o endosperma amiláceo dos minerais solúveis presentes nas camadas externas do grão (DORS; PINTO; FURLONG-BADIALE, 2009; EGGUM et al., 1993; AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002).

Os teores de cinzas para a cv BRS Sertaneja entre as amostras de arroz branco e parboilizadas também diferiram entre si ($P \leq 0,05$). Entre as amostras parboilizadas, o tratamento que empregou 65 °C/ 420 min não diferiu das demais amostras parboilizadas, porém essas diferiram entre si. O tratamento que obteve o maior teor de cinzas foi o que empregou temperatura mais elevada (65°C) por 180 min, porém esta não diferiu do que empregou a mesma temperatura por um tempo maior (420 min) (Figura 53b).

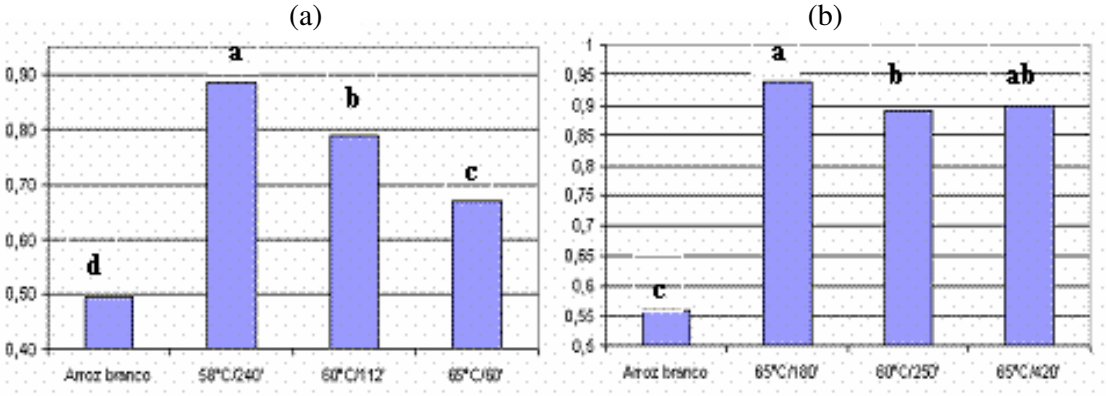


Figura 53. Efeito da parboilização no teor de cinzas do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b)

As médias para o teor de cinzas variaram entre 0,50 - 0,89 g/ 100 g e entre 0,56 - 0,94 g/ 100 g, respectivamente para a cv. BRS Primavera e Sertaneja. Os teores médios de cinzas

da cv BRS Primavera sem parboilizar (0,50 g/ 100 g) e da cv. BRS Sertaneja (0,56 g/ 100 g) estão próximos dos encontrados por Silva et al. (2003) de 0,53g/ 100g e por Heinemann et al. (2005) de 0,47 g/ 100 g, que trabalharam com amostras de arroz irrigado. Porém, a média está abaixo dos valores encontrados por Dors, Pinto e Badiale-Furlong (2009), para amostra de arroz cultivada na região do Taim –RS e Vieira et al. (2008), para a cv. Br-IRGA 410, como apresentado na Tabela 5. As amostras parboilizadas apresentaram teores mais elevados de matéria mineral que as amostras de arroz branco, estando de acordo com os resultados encontrados por Vieira et al. (2006); Heinemann et al. (2005); Storck, Silva e Comarella (2005); USDA (2005) e Silva et al. (2003). Isto pode ser explicado porque neste processo, minerais solúveis em água, presentes na camada externa do grão (farelo), migram para o endosperma amiláceo, causando aumento nos teores destes componentes (BHATTACHARYA; ALI, 1985). A partir disto, pode ser esperada melhoria no valor nutricional da porção amilácea, conforme mencionaram Eggum et al. (1993); Amato, Carvalho e Silveira Filho (2002), se os minerais migrados forem essenciais. Outra possibilidade seria resultante da menor remoção de minerais durante o polimento do arroz parboilizado em relação ao polido (WIMBERLY, 1983). Pois, os grãos resultantes do processo de parboilização apresentam uma consistência física mais dura, deste modo, a remoção dos minerais pode ser menor. De acordo com Juliano e Bechtel (1985), o conteúdo de cinzas de arroz submetidos a parboilização variam de 0,3% para 0,8%. Portanto, os valores médios de cinzas em arroz encontrados no presente trabalho esta dentro dessa faixa.

Comparando os resultados encontrados para as duas cultivares verifica-se que a BRS Primavera sofreu mais influência do tempo utilizado no encharcamento que a BRS Sertaneja, pois quanto maior o tempo, maior o teor de cinzas, ao passo que para a BRS Sertaneja o tratamento que empregou o maior tempo (420 min) não diferiu dos que empregaram tempos menores, talvez pelo fato de que acima de 180 min não ocorre mais migração de constituintes da parte externa do grão para o endosperma amiláceo.

5.7.3 Proteínas

Para o teor de proteínas da cv. BRS Primavera, verifica-se que a amostra sem parboilizar não diferiu ($P > 0,05$) das amostras que empregaram os tratamentos de 58 °C/ 240 min e 60 °C/ 112 min (Figura 54a). O tratamento que apresentou o menor teor de proteínas foi o que utilizou 65 °C/ 60 min. Já para a cv BRS Sertaneja o arroz sem parboilizar não diferiu ($P > 0,05$) do tratamento que empregou 60 °C/ 250 min, mas diferiu ($P < 0,05$) dos que aplicaram 65 °C/ 180 min e 65 °C/ 420 min, sendo que estes não diferiram entre si ($P > 0,05$)

(Figura 54b).

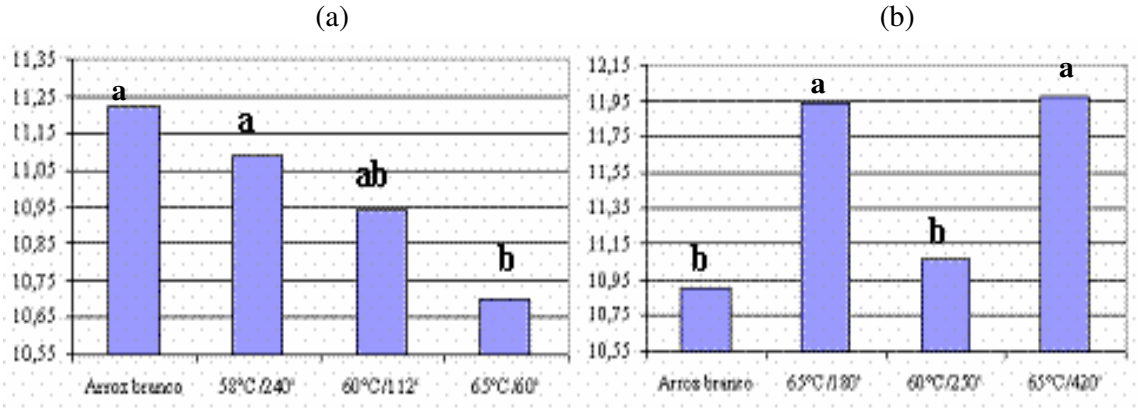


Figura 54. Efeito da parboilização no teor de proteínas do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b)

De acordo com Kennedy e Burlingame (2003), é difícil comparar os dados de composição de arroz para proteínas, principalmente devido à falta de descrição de subespécies e padronização no fator de conversão de nitrogênio para proteínas, que variam de 5,7 a 6,25, bem como diferenças na expressão dos resultados.

As médias para o teor de proteínas apresentadas nas Tabelas 39 e 40 tanto para as amostras branco polidas como para as parboilizadas foram superiores aos valores de proteínas apresentados na Tabela 5. Segundo Adu-Kwarteng et al. (2003), os altos índices de proteínas podem ser atribuídos a influências varietais e ambientais, tais como altos níveis de fertilizantes, períodos curtos de crescimento da planta, salinidade ou alcalinidade do solo. Porém, os dados deste trabalho estão dentro das faixas obtidas por Lam-Sanchez et al. (1993) (3,81 a 13,62 g/ 100 g) e por Kennedy e Burlingame (2003) (4,28 a 15,14 g/ 100 g proteína em base seca).

Para as cvs. BRS Primavera e Sertaneja, as combinações binárias de 58 °C/ 240 min e 60 °C/ 250 min, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas quanto ao teor de proteína bruta em relação ao arroz branco, estando de acordo com os dados relatados por Singh, Kalia e Malhotra (1999), em que o processo de parboilização não causa alterações significativas no teor de proteína bruta do arroz. Os demais tratamentos empregados para a cv BRS Primavera reduziram os teores de proteína bruta no arroz (Figura 54a). De acordo com Amato, Carvalho e Silveira Filho (2002), a redução do teor de proteínas do arroz parboilizado é possível devido à dificuldade de migração das proteínas (por causa do tamanho das moléculas) e à dificuldade de solubilização destas, porém estes teores podem aumentar com a

elevação do tempo no processo de parboilização, conforme demonstrado nos tratamentos da cv. BRS Sertaneja que apresentaram teor de proteínas mais elevado que o arroz branco. Esses autores citaram que a maior concentração de proteína favorece a reação de Maillard. Para a cv. BRS Primavera verifica-se que com o aumento da temperatura, o teor de proteínas reduziu, provavelmente devido à desnaturação, que diminui a solubilidade das proteínas presentes na solução. Já a cv. BRS Sertaneja, apresenta uma maior estabilidade de suas proteínas à desnaturação, já que foi submetida às mesmas temperaturas e por tempo mais prolongado de encharcamento sem sofrer redução no seu teor. Segundo Amato e Elias (2005), quando ocorre a gelatinização do amido, as substâncias protéicas ficam separadas e submersas na massa compacta de amido gelatinizado, que resulta em maior dificuldade de extração durante o polimento.

5.7.4 Lipídios

O teor de lipídios da amostra sem parboilização da cv. BRS Primavera não diferiu ($P > 0,05$) dos tratamentos parboilizados que aplicaram 60 °C/ 112 min e 65 °C/ 60 min. Porém, estes tratamentos diferiram ($P \leq 0,05$) do tratamento a 58 °C/ 240 min (Figura 55a). Para a cv. BRS Sertaneja a amostra de arroz branco não diferiu ($P > 0,05$) do tratamento de 65 °C/ 420 min. Estas amostras diferiram ($P \leq 0,05$) dos tratamentos a 60 °C/ 250 min e 65 °C/ 180 min (Figura 55b).

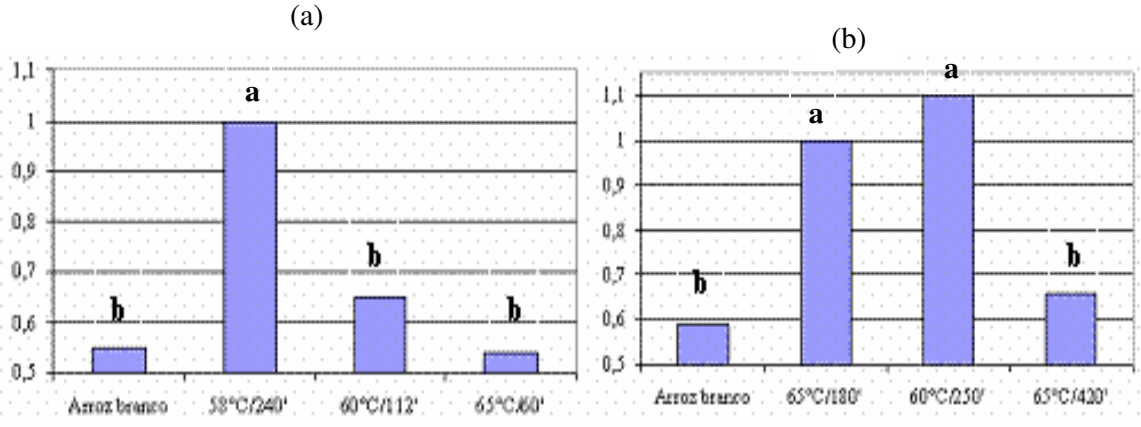


Figura 55. Efeito da parboilização no teor de lipídios do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b)

As médias do teores de lipídios variaram entre 0,55 - 1,00 g/ 100 g e entre 0,59 - 1,10 g/ 100 g para as cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente. Os resultados para o arroz branco da cv. BRS Primavera (0,55 g/ 100 g) e Sertaneja (0,59 g/ 100 g) estão dentro

das faixas encontradas por Lai (2001), que variou entre 0,37 - 0,72g/ 100g e por Heinemann et al. (2005), que variou de 0,38 g/ 100 g a 0,59 g/ 100 g. Para as amostras parboilizadas, as médias variaram entre 0,54 - 1,00 g/ 100 g para a cv. BRS Primavera e entre 0,66 - 1,10 g/ 100 g para a cv. BRS Sertaneja. Estes dados estão de acordo com valores encontrados pelo USDA (2005) e por Lai (2001) e Storck, Silva e Comarella (2005).

Para as amostras de arroz parboilizadas os teores de lipídios aumentaram em relação a amostra de arroz branco, porém esta diferença foi significativa apenas em um tratamento (58 °C/ 240 min) empregado para a cv. BRS Primavera e dois tratamentos empregados para a cultivar Sertaneja (60 °C/ 250 min e 65 °C /180 min) (Figura 55). Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que os grãos resultantes deste processo tornam-se de consistência física mais rígida sendo mais resistentes a retirada do farelo, consequentemente, preservam maior proporção das camadas externas, nas quais estes componentes se encontram em maior abundância.

Além dos mais, segundo Prieto (1981), o aumento do teor de lipídeos no arroz parboilizado é explicado pelo rompimento dos glóbulos oleosos, presentes nas camadas externas do grão (tegumento e aleurona), por causa do tratamento térmico, disseminando-os no endosperma, juntamente com substâncias lipossolúveis como vitamina E e pigmentos. Ao contrário do que se imaginava, segundo Bhattacharya e Ali (1985), não ocorre uma migração de lipídeos para a centro do endosperma durante a parboilização, devido as suas características hidrofóbicas. Portanto, a maior ou menor retenção desses componentes provavelmente depende do grau de polimento.

5.7.5 Fibra bruta

Com relação aos teores de fibra bruta para a cv. BRS Primavera, os tratamentos não diferiram entre si ($P > 0,05$) (Figura 56a). Para a cv. BRS Sertaneja a amostra sem parboilização diferiu ($P \leq 0,05$) das demais amostras (Figura 56b).

Os teores médios de fibra bruta variaram entre 0,30 - 0,49 g/ 100 g e entre 0,30 - 0,48 g/ 100 g nas cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente. Os resultados de fibra bruta obtidos neste trabalho para o arroz branco das duas cultivares (0,30 g/ 100 g) são menores que os valores encontrados por Vieira et al. (2006); Dors; Pinto; Badiale-Furlong (2009) e Sujatha; Rasheed Ahmad; Rama Bhat (2004), porém os resultados das amostras parboilizadas estão próximos aos descritos por esses autores (Tabela 5).

Os teores de fibras do endosperma amiláceo não sofreram alteração significativa para

a maioria dos tratamentos hidrotérmicos empregados (Tabelas 39 e 40). No caso dos tratamentos da cv. BRS Sertaneja, ocorreu um aumento significativo ($P < 0,05$) nos teores de fibras que pode ser devido a contribuição do amido resistente formado no farelo durante o processo de parboilização. Assim como os lipídios, estes componentes também se encontram em maior abundância nas camadas externas do grão. É importante salientar que o aumento dos teores de fibras pode resultar da contribuição do amido resistente formado no farelo durante o processo de parboilização (GONI et al., 1996).

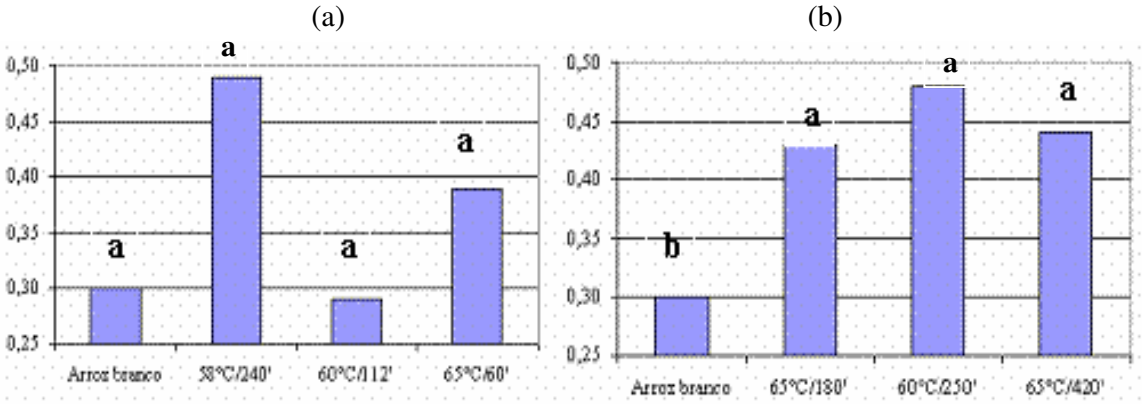


Figura 56. Efeito da parboilização no teor de fibra bruta do grão da cv BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b)

5.7.6 Carboidratos

Em relação aos carboidratos, o arroz branco da cv. BRS Primavera não diferiu ($P > 0,05$) dos tratamentos que empregaram a combinação binária no encharcamento de 60 °C / 112 min e 65 °C/ 60 min, mas estes apresentaram teores maiores ($P \leq 0,05$) que o de 58 °C/ 240 min (Figura 57a). Os menores teores de carboidratos encontrados neste tratamento pode ser resultado de um encharcamento mais prolongado, o que contribui para uma maior lixiviação de amilose e açúcares simples para a água de maceração.

O arroz branco da cv. BRS Sertaneja apresentou maior teor de carboidratos que as amostras parboilizadas ($P \leq 0,05$), seguido pelos tratamentos que empregaram 60°C/ 250 min, 65 °C/ 420 min e 65 °C/ 180 min, sendo que o tratamento 65 °C/ 420 min não diferiu dos demais tratamentos que sofreram parboilização ($P > 0,05$), mas o tratamento 65 °C/ 180 min diferiu do tratamento 60°C/ 250 min ($P \leq 0,05$) (Figura 57b). Este fato ocorreu devido a amostra de arroz branco não ter sido submetida ao encharcamento, consequentemente não houve nenhuma perda de seus constituintes para a água de maceração. O tratamento que

empregou 65 °C/ 180 min foi o que apresentou o menor teor de carboidratos, ou seja, o que sofreu maior lixiviação de seus constituintes. Dentre as amostras parboilizadas, o tratamento que empregou a menor temperatura (60 °C) foi o que apresentou o maior teor de carboidratos, ou seja, houve menor lixiviação dos constituintes do arroz para a água de imersão, como pode ser observado na Figura 49, pois a medida que aumentou a temperatura no encharcamento a perda de STS também aumentou.

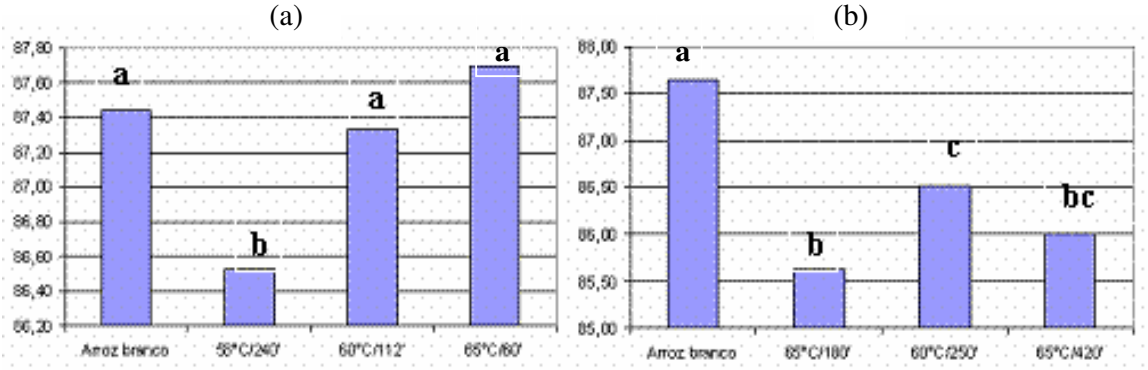


Figura 57. Efeito da parboilização no teor de carboidratos do grão da cv BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b)

Os teores de carboidratos obtidos neste trabalho variaram entre 87,44 – 87,65 g/ 100 g para as amostras de arroz branco, apresentando valores superiores aos encontrados pelo USDA (2005) (Tabela 5), porém estão de acordo com os valores encontrados por Juliano e Bechetel (1985), que encontraram valores entre 77 - 89 g/ 100 g.

Comparando os resultados obtidos para as duas cultivares verifica-se que foram muito próximos, porém entre as amostras parboilizadas, a cv. BRS Sertaneja apresentou teor de carboidratos mais baixos. Estes resultados estão de acordo com os dados experimentais obtidos para o teor de STS (Tabela 31) dos tratamentos selecionados, onde pode ser verificado que esta cultivar apresentou maior perda de STS (0,23 - 0,52%) que a cv. BRS Primavera (0,17 - 0,35%) (Tabela 29).

5.7.7 Teor de amilose aparente

Construiu-se a curva de calibração (Figura 58) para determinar o teor de amilose, servindo como referência para os teores de amilose das amostras teste. O valor do coeficiente de determinação da curva (R^2) foi muito próximo de 1, comprovando a confiança dos resultados obtidos. As cultivares utilizadas como testemunhas foram Colômbia (TA baixo),

Bluebonnet 50 (TA intermediária) e IR 8 (TA alto).

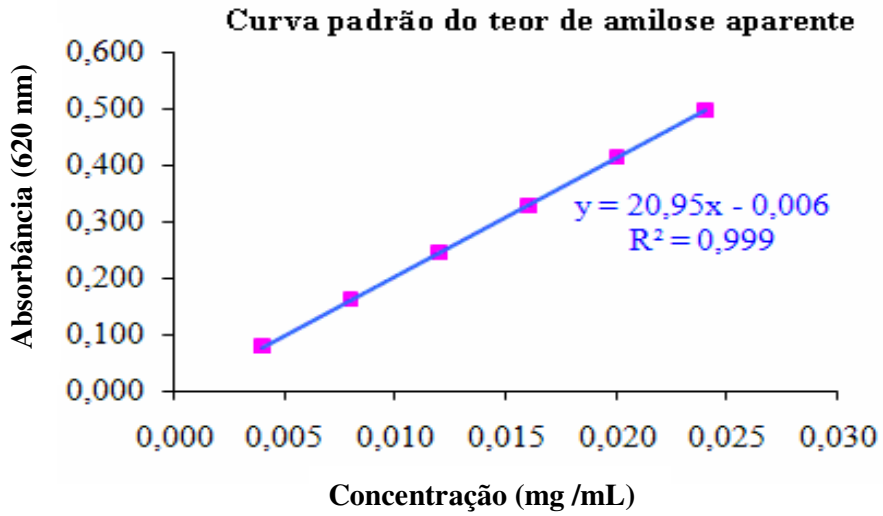


Figura 58. Curva de calibração da amilose padrão

As testemunhas são cultivadas sob condições similares e no mesmo ano das amostras teste e, portanto, servem como referência para inferir interações genótipo x ambiente em relação às características do teor de amilose. A média do conteúdo de amilose das amostras estudadas estão apresentados na Tabela 41 e na Figura 59.

Tabela 41. Teor de amilose aparente para as amostras de arroz branco e parboilizadas

Cultivar	Tratamento	Teor de amilose aparente	Descrição
BRS Primavera	Arroz branco	24,80 ± 0,02 b	I
	58°C/ 240 min	25,50± 0,03 a	I
	60°C/ 112 min	24,30 ± 0,01 c	I
	65°C/ 60 min	24,35 ± 0,02 c	I
BRS Sertaneja	Arroz branco	24,33 ± 0,78 b	I
	60°C/ 250 min	24,65 ± 0,01 a	I
	65°C/ 180 min	22,90 ± 0,80 d	I
	65°C/ 420 min	23,62 ± 0,01 c	I

Resultados representam a média de duas determinações ± desvio-padrão; Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste Tukey (p≤0,05); * Teor intermediário (23% a 27%)

Com relação ao teor de amilose da cv. BRS Primavera verifica-se na Figura 59a que a amostra sem parboilizar diferiu ($P \leq 0,05$) das amostras parboilizadas, porém os tratamentos que empregaram 60 °C/ 112 min e 65 °C/ 60 min não diferiram entre si ($P > 0,05$). O tratamento que obteve o maior teor de amilose foi o que utilizou 58 °C/ 240 min ($P \leq 0,05$).

Esta característica possivelmente é decorrente do tratamento hidrotérmico do grão, que utilizou maior tempo de imersão, propiciando melhor separação entre amilose e amilopectina para a determinação analítica (VIEIRA et al., 2006). Já a cv BRS Sertaneja apresentou diferenças (P > 0,05) entre todas amostras em relação ao teor de amilose (Figura 59b).

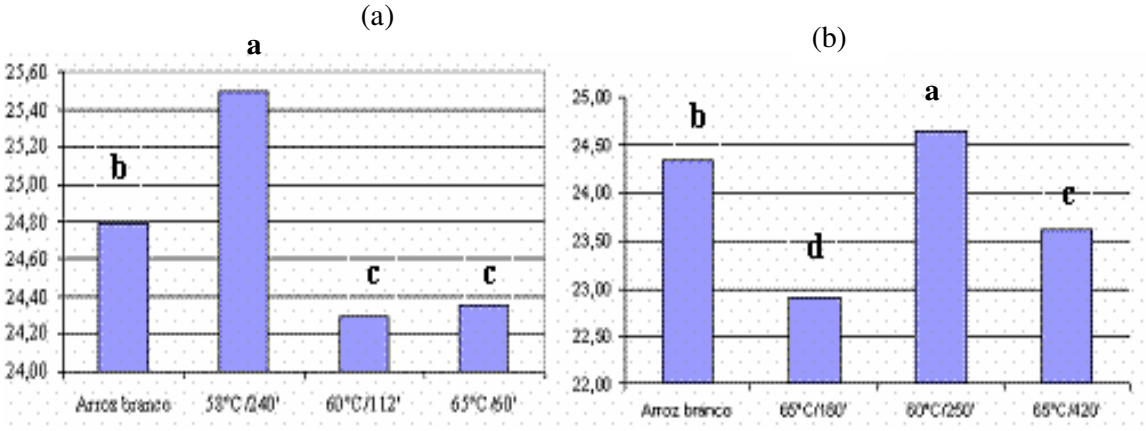


Figura 59. Efeito da parboilização no teor de amilose aparente do grão da cv. BRS Primavera (a) e da cv. BRS Sertaneja (b)

Estes resultados mostram pouca influência do processo de parboilização sobre o conteúdo de amilose das amostras de arroz, pois todas as amostras das cultivares analisadas apresentaram teor de amilose intermediária, ou seja, os grãos tendem a ser macios e soltos após o cozimento. O mesmo resultado (TA intermediário) foi encontrado para a cv. BRS Primavera por Ferreira e Pinheiro (2003). Essa cultivar se destaca no quesito qualidade de grãos, sendo considerada padrão entre as cultivares de terras altas. Vieira et al. (2006) estudando a cv. BR-IRGA 410 e Sujatha; Rasheed Ahmad e Rama Bhat (2004) estudando as cultivares Jaya e Kayame, verificaram que o teor de amilose das amostras de arroz aumentaram após o processo de parboilização, respectivamente 3,7%, 1,6% e 2%.

Mas segundo Raghavendra e Juliano (1970), o teor de amilose no arroz não é modificado pelo processo de parboilização e as mudanças na textura do arroz parboilizado cozido, como aumento da dureza, parece estar mais relacionado com uma maior adesão/ coesão dos grânulos de amido do endosperma, o que pode influenciar na solubilização do amido e das proteínas na água de cocção. A variação nos teores de amilose não afeta o valor nutritivo do arroz, mas influi grandemente nas qualidades culinárias, de tal forma que, quanto maior for o teor de amilose tanto mais secos e mais separados ficarão os grãos depois de cozidos (ELIAS et al., 2003; GONZALES; LIVORE; PONS, 2004).

5.8 MINERAIS

A água utilizada no encharcamento é considerada dura, de acordo com análises realizadas pela EMBRAPA, portanto os teores de Ca e Mg podem estar superestimados neste trabalho. As Tabelas 42 e 43 apresentam os teores de macro (K, P, Ca e Mg) e microelementos (Cu, Mn, Zn) (mg/ 100 g) das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, antes e após a parboilização.

Tabela 42. Teores de alguns minerais (mg/ 100 g) da cv. BRS Primavera, antes e após a parboilização sob diferentes condições de temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização

Minerais	Arroz branco	Arroz parbpolizado		
		58 °C/ 240 min	60 °C/ 112 min	65 °C/ 60 min
K*	280,76 ± 12,63a	297,10 ± 18,29a	301,42 ± 11,19a	311,58 ± 0,53a
P*	195,21 ± 13,50a	179,12 ± 4,25a	189,32 ± 36,25a	153,42 ± 8,52a
Ca**	87,74 ± 0,07a	86,12 ± 0,01b	43,06 ± 0,14c	43,28 ± 0,07c
Mg**	43,87 ± 0,03a	43,06 ± 0,00b	43,06 ± 0,14b	43,28 ± 0,07b
Cu**	0,55 ± 0,03a	0,56 ± 0,06a	0,45 ± 0,03ab	0,35 ± 0,00b
Mn*	1,97 ± 0,49a	1,29 ± 0,12a	1,25 ± 0,36a	1,08 ± 0,31a
Zn*	1,27 ± 0,20a	1,03 ± 0,01a	1,37 ± 0,22a	1,07 ± 0,00a

Resultados expressos em base seca e representam a média de duas determinações ± desvio-padrão
***** não apresentaram resultados significativos pelo teste Tukey (P > 0,05); ** Resultados significativos pelo teste Tukey (P ≤ 0,01).

Tabela 43. Teores de alguns minerais (mg/ 100 g) da cv. BRS Sertaneja, antes e após a parboilização sob diferentes condições de temperatura e tempo de imersão na etapa de encharcamento da parboilização

Minerais	Arroz branco	Arroz parbpolizado		
		60 °C/ 250 min	65 °C/ 180 min	65 °C/ 420 min
K*	273,88 ± 11,75b	293,75 ± 1,01b	364,65 ± 23,75a	307,01 ± 4,84ab
P*	159,47 ± 3,94b	293,13 ± 18,42a	270,45 ± 15,98a	246,71 ± 6,22a
Ca**	44,18 ± 0,12a	43,20 ± 0,15b	43,41 ± 0,10b	43,24 ± 0,18b
Mg**	44,18 ± 0,12a	43,20 ± 0,15b	43,41 ± 0,10b	43,24 ± 0,18b
Cu**	0,71 ± 0,06a	0,24 ± 0,03b	0,24 ± 0,03b	0,26 ± 0,00b
Mn*	1,65 ± 0,15a	0,86 ± 0,30a	0,72 ± 0,03a	0,71 ± 0,15a
Zn*	1,36 ± 0,06a	0,77 ± 0,03b	0,76 ± 0,02b	0,97 ± 0,13b

Resultados expressos em base seca e representam a média de duas determinações ± desvio-padrão; ***** não apresentaram resultados significativos pelo teste Tukey (P > 0,05); ** Resultados significativos pelo teste Tukey (P ≤ 0,01).

5.8.1 Potássio (K)

O potássio tem um papel importante para o relaxamento muscular, para a secreção de insulina através do pâncreas e para conservação do equilíbrio ácido/ base. Apresenta um leve efeito diurético que poderá ser benéfico para as pessoas que têm retenção de líquidos no corpo

ou em casos de hiperuricemia e hipertensão. Em caso de carências, a falta de potássio pode causar problemas de ritmo cardíaco e debilidade muscular (DE ANGELIS, 2001). Para a cv. BRS Primavera verifica-se que a amostra sem parboilizar não diferiu ($P > 0,05$) das amostras parboilizadas quanto ao teor de potássio. Já a amostra de arroz branco da cv BRS Sertaneja diferiu ($P \leq 0,05$) apenas da amostra que empregou o tratamento de 65 °C/ 180 min. Para as duas cvs., observa-se que as amostras de arroz branco (273,88 – 280,76%) tiveram teores numericamente inferiores às amostras parboilizadas (293,75 – 364,65%) apesar de não diferirem significativamente da maioria dos tratamentos aplicados. Comarella et al. (2005) e Heinemann et al. (2005) também relatam maiores concentrações de potássio no arroz parboilizado polido comparado ao branco polido.

As médias dos teores de K para a cv. BRS Primavera variaram de 280,76 - 311,58 mg/ 100 g e para a cv. BRS Sertaneja variaram de 273,88 - 364,65 mg/ 100 g. Os resultados encontrados neste trabalho, tanto para as amostras de arroz branco quanto para as amostras parboilizadas (Tabelas 42 e 43), estão acima dos valores encontrados por Denardim et al. (2004) (56,3 - 149,60 mg/ 100 g), USDA (2005) (76 - 187,0 mg/ 100 g), Heinmann et al. (2005) (65,46 - 143,21 mg/ 100 g) e Comarella et al. (2005) (83,03 - 168,74 mg/ 100 g), talvez por terem utilizado cultivares, condições de cultivo (fertilização e condições do solo) e processamento diferenciados. Alguns minerais podem migrar das camadas externas para o interior do grão durante a parboilização do arroz (FERREIRA; YOKOYAMA, 1999), o que pode justificar a maior concentração de potássio no endosperma de arroz parboilizado.

5.8.2 Fósforo (P)

O fósforo possui papel muito importante na formação dos ossos e dentes, intervindo também nas reações químicas em que se liberta energia. O fósforo faz parte integrante dos ácidos nucléicos ARN e ADN. Existe um claro aumento das necessidades de fósforo absorvido pelo organismo em períodos de crescimento ou desenvolvimento, como na alimentação de adolescentes e mulheres grávidas ou ainda em períodos de lactação. A carência poderá causar debilidade muscular, perda de apetite e dores nos ossos (SILVA; MURA, 2007).

Para a cv. BRS Primavera verifica-se que os tratamentos não diferiram entre si ($P > 0,05$). Já a amostra sem parboilizar da cv. BRS Sertaneja diferiu ($P \leq 0,05$) das amostras parboilizadas, apresentando menor teor de fósforo. USDA (2005), Heinemann et al. (2005), Comarella et al. (2005) e Denardim et al. (2004), também relatam maiores concentrações de fósforo no arroz parboilizado polido comparado ao branco polido.

Os teores médios de P variaram de 153,42 - 195,21 mg/ 100 g e 159,47 - 293,13 mg/ 100 g para as cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente. As médias dos resultados encontrados de P neste trabalho para as amostras de arroz branco (Tabelas 42 e 43) estão acima dos valores encontrados por Juliano (1985), entre 80 - 150 mg/ 100 g. Já nas amostras de arroz parboilizado da cv. BRS Primavera os teores de P estão dentro da faixa encontrada por Comarella et al. (2005) (127,85 - 200,53 mg/ 100 g) e da cv. BRS Sertaneja dentro da faixa verificada por Denardim et al. (2004) (101,8 - 321,8 mg/ 100 g).

5.8.3 Cálcio (Ca)

Os principais papéis do cálcio para a saúde verificam-se na construção e manutenção dos ossos e dentes, auxilia na transferência de íons através das membranas, atua na liberação de neurotransmissores das junções sinápticas e na regulagem dos batimentos cardíacos (SILVA; MURA, 2007).

Em relação à cv. BRS Primavera, verifica-se que o tratamento sem paboilização obteve o maior valor de Ca ($P \leq 0,05$). O tratamento 58 °C/ 240' também diferiu dos demais tratamentos ($P \leq 0,05$), sendo que estes não diferiram entre si ($P > 0,05$). Para a cv. BRS Sertaneja o teor de Ca da amostra de arroz branco também foi maior e diferiu ($P \leq 0,05$) das amostras que sofreram tratamento hidrotérmico, sendo que os tratamentos parboilizados não diferiram entre si ($P > 0,05$).

Os dados médios de Ca variaram de 43,06 - 87,74 mg/ 100 g e 43,20 - 44,18 mg/ 100 g para as cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente. As médias dos resultados encontrados neste trabalho para as amostras de arroz branco (Tabelas 42 e 43) estão acima dos valores encontrados por USDA (2005) (10mg) e Heinmann et al. (2005) (6,70 mg/ 100 g). Já para as amostra de arroz parboilizado os valores encontradas para a cv. BRS Sertaneja e dois tratamentos da cv. BRS Primavera estão abaixo dos encontrados por USDA (2005) (55 mg).

5.8.4 Magnésio (Mg)

O magnésio exerce papel fundamental em diversas reações intracelulares, incluindo produção e consumo de energia, além das reações enzimáticas, como a fosforilação da glicose e suas ramificações na via glicolítica (NELSON; COX, 2002).

A amostra sem parboilização das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja diferiram ($P \leq 0,05$) das amostras parboilizadas, sendo que essas não diferiram entre si ($P > 0,05$). Os teores de Mg das amostras de arroz branco das duas cultivares foram maiores que as parboilizadas e variaram de 43,06 - 43,87 mg/ 100 g e 43,20 - 44,18 mg/ 100 g para as cvs. BRS Primavera e

BRS Sertaneja, respectivamente. Os dados obtidos neste trabalho para o arroz branco estão dentro da faixa encontrada por Juliano (1985), que observou uma variação entre 20 - 50 mg/ 100 g. Já as amostras parboilizadas estão abaixo dos valores encontrados por Denardim et al. (2004) (59,5 - 142,4 mg/ 100 g) e acima dos valores encontrados pelo USDA (2005) (27 mg) e por Heinmann et al. (2005) (15,43 mg/ 100 g).

5.8.5 Cobre (Cu)

O cobre exerce papel catalítico e promove mobilização do ferro para a síntese de hemoglobina (ANDRADE, 2002). Para cv. BRS Primavera, o teor de Cu do tratamento sem parboilização não diferiu ($P > 0,05$) dos parboilizados que empregaram 58 °C/ 240 min e 60 °C/ 112 min. Os tratamentos 65 °C/ 60 min e 60 °C/ 112 min também não diferiram entre si ($P \leq 0,05$). Para a cv. BRS Sertaneja o tratamento sem parboilização obteve o maior teor de Cu ($P \leq 0,05$), diferindo dos tratamentos parboilizados, que não diferiram entre si ($P > 0,05$). As médias dos teores de Cu para o arroz parboilizado variaram de 0,35 - 0,56 mg/ 100 g (Tabela 42) para a cv. BRS Primavera e 0,24 - 0,26 mg/ 100 g (Tabela 43) para a cv. BRS Sertaneja. Os dados obtidos para as amostras parboilizadas estão próximos aos encontrados por Comarella et al. (2005), 0,27 - 0,60 mg/ 100 g. Pesquisadores do USDA (2005) encontraram em arroz sem parboilizar, quantidade de cálcio inferior (10,0 mg/ 100 g) à verificada nesse trabalho (0,55 – 0,71 mg/ 100 g), talvez por ter empregado um maior tempo durante o polimento.

5.8.6 Manganês (Mn)

O papel metabólico do manganês é ativar numerosas enzimas envolvidas na síntese do tecido conjuntivo, na regulação da glicose, na proteção das células contra os radicais livres e nas atividades neuro-hormonais (SILVA; MURA, 2007).

As amostras de arroz branco das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja não diferiram ($P > 0,05$) das amostras parboilizadas, porém os teores das amostras sem parboilização foram numericamente maiores (1,65 – 1,97 mg/ 100g). As médias obtidas para as amostra parboilizadas variaram de 1,08 - 1,29 mg/ 100 g e 0,71 - 0,86 mg/ 100 g para as cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja, respectivamente. Os resultados obtidos neste trabalho para as amostras de arroz branco (Tabelas 42 e 43) estão de acordo com os encontrados por Denardim et al. (2004), que variaram de 0,71 - 2,34 mg/ 100 g e por Juliano (1985) que variou de 0,6 - 1,7 mg/ 100 g. Para as amostras parboilizadas, os valores obtidos neste trabalho estão de acordo com os encontrados por Denardim et al. (2004) que variaram de 0,51 - 1,28 mg/ 100 g.

5.8.7 Zinco (Zn)

O zinco é essencial para a função de mais de 300 enzimas, participando do metabolismo de carboidratos, proteínas, lipídeos e ácidos nucléicos. O consumo adequando de Zn, pode reduzir efetivamente a severidade de morbidez de inúmeras infecções comuns na infância. Em casos de carência, poderá existir um atraso no crescimento, fraco crescimento dos testículos ou ovários e má cicatrização de feridas (SILVA; MURA, 2007; HARVESTPLUS, 2009).

Para a cv. BRS Primavera, a amostra sem parboilização não diferiu ($P > 0,05$) das amostras parboilizadas, enquanto para a cv. BRS Sertaneja diferiram ($P \leq 0,05$). As médias dos teores de Zn para a cv. BRS Primavera variaram de 1,03 - 1,37 mg/ 100 g e para a cv BRS Sertaneja de 0,76 - 1,36 mg/ 100 g. Os resultados obtidos neste trabalho para as amostras de arroz branco (Tabela 42 e 43) estão de acordo com a faixa encontrada (0,6 - 2,3 mg/ 100 g) por Juliano (1985). Os resultados obtidos das amostras de arroz parboilizado estão de acordo com a faixa encontrada por USDA (2005) (1,04 mg), Heinmann et al. (2005) (1,15 mg/ 100 g), Comarella et al. (2005) que variou de 1,10 - 1,52 mg/ 100 g e Denardim et al. (2004) (1,01 - 1,58 mg/ 100 g).

O efeito esperado da parboilização no aumento de matéria mineral do arroz, pela transferência de minerais do pericarpo para o endosperma do grão (JULIANO; BECHTEL, 1985), não se confirmou para todos os minerais analisados, conforme também observado por Comarella et al. (2005), Heinmann et al. (2005), Denardin et al. (2004), que analisaram cultivares do Instituto Rio Grandense (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, BR-IRGA 416; BR-IRGA 417; BR-IRGA 418; BR-IRGA 419; BR-IRGA 420; BR-IRGA 421 e Formosa). No caso dos avaliados neste trabalho, a farinha destes grãos comparados aos brancos, tiveram menor teor de Ca, Mg, Cu, Mn; Zn. Vários fatores podem ter influenciado na obtenção destes resultados, desde aqueles intrínsecos à planta até os de contaminações involuntárias. Além das diferenças existentes entre os beneficiamentos, não podemos descartar a variação genética, que exerce grande influência na composição química deste cereal (ZHOU et al., 2002; ZHAI et al., 2001; COFFMAN; JULIANO, 1987). Neste trabalho, observou-se que os teores de Ca do arroz branco variou bastante (44,2 a 87,7 mg/ 100 g) entre as cultivares analisadas.

Para a cv. BRS Primavera verificou-se que para a maioria dos minerais, as amostras não apresentaram diferença entre si ($P > 0,05$) em relação as condições aplicadas (sem e com tratamento hidrotérmico), apesar de não podermos afirmar conclusivamente, pois os C.V.s foram altos. Os dados obtidos podem ter sido influenciados por erros analíticos ou contaminações. Mas para os minerais que apresentaram diferença significativa (Ca, Mg e Cu), em relação as amostras com e sem parboilização, os dados mostram que as amostras que

sofreram o tratamento hidrotérmico se apresentaram com menor teor destes minerais em relação ao arroz sem parboilização.

O conteúdo de matéria mineral das amostras para a cv. BRS Sertaneja, bem como os seus respectivos teores de K, P, Ca, Mg, Cu, e Zn foram significativamente influenciados pelo processamento ($P \leq 0,05$), fato que não foi evidenciado para o teor de Mn ($P > 0,05$) (Tabela 48). A parboilização resultou em acréscimos significativos ($P \leq 0,05$) para P e K (combinação binária de 65 °C/ 180 min) em relação ao arroz branco, o mesmo foi observado por Comarella et al. (2005) e Heinemann et al. (2005). Por outro lado, os teores de Ca, Mg, Cu, e Zn, ao contrário do esperado, foram maiores nos grãos de arroz branco ($P \leq 0,05$).

Segundo alguns pesquisadores, durante o processo de parboilização, minerais solúveis presentes nas camadas externas podem migrar para o endosperma amiláceo, resultando em aumento nos teores desses componentes e acréscimo no valor nutricional do grão (HENRY, MASSEY, 2001; DEXTER, 1998; JULIANO, 1993). Porém, este fato parece não ser verdadeiro para todos os minerais, o que é confirmado pelos estudos realizados por Denardin et al. (2004) e David et al. (2003), que acreditam que parte dos minerais sejam solubilizados e perdidos na água usada para o encharcamento dos grãos no processo de parboilização, obtendo desta forma teores de minerais no arroz branco superiores ao parboilizado.

Resultados semelhantes também foram observados por Fagundes et al. (2001), em que os teores de P e K apresentaram aumento após a parboilização, enquanto Mn e Zn tiveram seus teores reduzidos, o que também foi constatado em outros estudos (DAVID et al., 2003). Segundo estes autores, pode ter ocorrido uma retenção não uniforme de minerais no arroz parboilizado, possivelmente devido à maior ou menor migração e fixação destes em função de variáveis do processo hidrotérmico e pela resistência oferecida pelo polimento após a parboilização. Heinemann et al. (2005), também encontraram redução nos teores desses mesmos minerais após a parboilização e sugeriram que este fato pode indicar sua difusão para camadas mais externas do grão, sendo após, removidos com o polimento. Agrega-se a essas hipóteses a possibilidade de que a parboilização possa desencadear respostas fisiológicas decorrentes do estresse provocado pelo encharcamento sob temperatura de 65 ºC. Este processo pode causar um aumento da atividade respiratória e enzimática, semelhante ao processo germinativo, o que induz à migração desses minerais para as camadas mais externas do grão, em especial para a aleurona, que é composta predominantemente por enzimas que agem diretamente na resposta às mudanças nos fatores ambientais. Segundo Denardin et al. (2004), no processo subsequente ao do encharcamento, ocorrem a autoclavagem e a posterior secagem dos grãos, interrompendo o processo germinativo o que, possivelmente, diminui os

níveis de alguns minerais cofatores no endosperma, com consequente aumento nas camadas mais externas do grão. Trabalhos realizados por esses autores demonstram que farelos provenientes de amostras de arroz parboilizado apresentam maiores teores de Mn, Zn (LACERDA, 2008) e Na em relação aos farelos provenientes do arroz branco, o que sustenta tal hipótese.

Segundo Matsuo et al. (1995), alguns minerais são usados como cofatores enzimáticos na transdução de ácidos nucléicos, síntese de proteínas e outras reações de catabolismo e anabolismo que ocorrem durante o desencadeamento do processo germinativo. O zinco, por exemplo, é necessário em reações associadas ao metabolismo de carboidratos, síntese e degradação de proteínas, síntese de ácidos nucléicos, transporte de CO_2. Já o Mn está associado às enzimas acetil-CoA carboxilases e isocitrato desidrogenase no ciclo de Krebs. De acordo com David et al. (2003), o Zn é um constituinte importante de enzimas e hormônios que participam das principais vias metabólicas, o Cu é um componente das enzimas que participa do metabolismo da hemoglobina e o Mn contribui na utilização da glicose para fornecer energia. Neste trabalho fica evidente que houve ampla variação nos teores destes minerais entre as cultivares de arroz, que também foi relatado por outros pesquisadores (COFFMAN; JULIANO, 1987), podendo este critério ser utilizado na seleção e produção de cultivares de arroz para usos específicos na nutrição.

Segundo Comarella et al. (2005), o teor de Zn é influenciado pela cultivar e pelo tipo de processamento, de modo independente. Para estes autores é pouco provável que o decréscimo de Zn seja devido a solubilização e perda de parte deste mineral na água utilizada para o encharcamento dos grãos. Estes autores levantaram a hipótese de que os eventos metabólicos decorrentes da parboilização causam ativação de enzimas que têm como cofator o Zn, mobilizando-o do endosperma para as camadas mais externas do grão, o que explicaria os menores teores deste mineral nos grãos parboilizados.

5.9 TEMPERATURA DE GELATINIZAÇÃO (TG)

A TG foi estimada apenas nas amostras não parboilizadas, de forma indireta, por meio do grau de dispersão dos grãos de arroz submetidos à ação de soluções alcalinas. A Tabela 44 apresenta os resultados da TG encontrada para as amostras branco polidas das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja.

Tabela 44. Temperatura de gelatinização das amostras de arroz branco polido das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja

Cultivar	Grau de dispersão*	Temperatura de gelatinização (°C)
BRS Primavera	4,6 ± 0,1 a	69 °C a 73°C (Intermediária)
BRS Sertaneja	4,9 ± 0,0 a	69 °C a 73°C (Intermediária)

*Resultados representam a média de três determinações ± desvio-padrão

Pode-se verificar que não houve diferença entre as cultivares (P > 0,05), que apresentam TG intermediária, correspondendo a faixa de gelatinização de 69 - 73 °C. O mesmo resultado (TG intermediária) foi verificado por Ferreira e Pinheiro (2003) para a cv. BRS Primavera e por Fonseca et al. (2007) e Lopes (2007) para a cv. BRS Sertaneja.

As cultivares que tem TG intermediária são preferidas pelos consumidores, pois, grãos de arroz com TG baixa podem-se tornar excessivamente macios e até mesmo desintegrar-durante o cozimento. Por outro lado, cultivares com TG alta requerem mais água e maior tempo de cozimento, que aquelas com TG baixa ou intermediária, sendo geralmente rejeitadas em quase todos os mercados consumidores (VIEIRA, 2004).

5.10 TESTE DE COCÇÃO

O teste de cocção para as amostras de arroz branco e parboilizadas para ambas cultivares foi realizado simulando-se o preparo caseiro do consumidor brasileiro. Com os dados obtidos deste teste, pode-se perceber a qualidade culinária de cada amostra em relação à textura, à pegajosidade e ao rendimento. Estes parâmetros podem ser observados na Tabela 45.

Tabela 45. Médias e desvios-padrão dos escores de pegajosidade, textura, rendimento (%) e tempo de cocção obtidos no teste de panela, para as amostras de arroz das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja

Cultivar	Amostra	P[1]	T[2]	R (%)[3]	TC[4]
BRS Primavera	Arroz branco polido	S	M	211,43 ± 3,25c	15’ 17’’± 0,23c
	58 °C/ 240 mim	MS	M	251,65 ± 4,80a	26’ 31’’± 0,10a
	60 °C/ 112 min	MS	M	231,10 ± 2,39b	22’ 30’’ ± 0,24b
	65 °C/ 60 min	S	M	257,02 ± 5,47a	26’ 25’’± 0,19a
BRS Sertaneja	Arroz branco polido	S	M	213,51 ± 2,79b	15’ 50’’± 0,06b
	60 °C/ 250 min	MS	LM	239,19 ± 5,15a	26’ 25’’± 0,77a
	65° C/ 180 min	MS	M	238,35 ± 4,92a	27’ 39’’± 0,82a
	65 °C/ 420 min	S	EM	230,37 ± 3,52ab	24’ 17’’± 0,69a

[1]Pegajosidade: S-Solto; MS-Muito Solto; [2]Textura: LM-ligeiramente macio; M-Macio; EM-Extremamente macio; [3]Rendimento: (R (%) = [(Ax100)/ B], onde A representa a quantidade de porção de arroz cozido e B de arroz cru); [4]Tempo de cocção;
Letras diferentes nas linha diferem significativamente pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05)

5.10.1 Pegajosidade

A pegajosidade ou adesividade é um atributo que esta relacionado com o teor de amilose, sendo que as variedades de arroz mais rica em amilose (> 22%) dão origem a produtos mais soltos (BASSINELLO; CASTRO, 2004; MARTINÉZ; CUEVAS, 1989). Como as cultivares estudadas apresentaram teores de amilose variando de 22,90% a 25,50%, consequentemente apresentaram grãos soltos. O critério de arroz solto após o cozimento também está diretamente relacionado ao processo de parboilização, no caso do arroz parboilizado. Existem condições mais favoráveis de temperaturas de encharcamento e pressão que favorecem a gelatinização do grão, e consequentemente deixam o arroz mais solto e com maior rendimento (DIAS; FENSTERSEIFER, 2008). Segundo Gularte et al. (2005), o arroz parboilizado fica solto quando cozido, porque este tratamento forma uma película endurecida ao redor do grão, não deixando os grãos aderirem entre si. Isto é provocado no grão quando ocorre a gelatinização que depois de seco retrograda, formando essa película.

As cultivares estudadas por se tratarem de materiais que apresentam o teor de amilose aparente (Tabela 41) e temperatura de gelatinização intermediários (Tabela 44), se apresentaram com aspecto de grãos soltos ou muito soltos, conforme resultado encontrado por Fonseca, Castro e Morais (2007), Breseghello et al. (2006) e Fonseca, Castro e Morais (2005) para a cv. BRS Primavera e Lopes (2007) e Breseghello et al. (2006) para a cv. BRS Sertaneja.

Para a cv. BRS Primavera os tratamentos de 58 °C/ 240 min e 60 °C/ 112 min apresentaram grãos muito soltos, porque foram os que apresentaram menores porcentagens (0,4% e 0,8%, respectivamente) de GNG (Tabela 19) enquanto o tratamento que empregou a combinação binária de 65 °C/ 60 min apresentou 2% de GNG e consequentemente grãos menos soltos dos que os anteriores.

Os tratamentos de 60 °C/ 250 min e 65 °C/ 180 min da cv. BRS Sertaneja apresentaram grãos muito soltos, e apresentaram 0% e 1,2% de GNG (Tabela 21). O Tratamento que empregou 65 °C/ 420 min apesar de apresentar 0% de GNG, apresentaram escore de grãos soltos.

Segundo Leelayuthsoontorn e Thipayarat (2006), o aumento da pegajosidade do arroz cozido, ou seja, a redução da intensidade com que os grãos ficam soltos, é função da temperatura de cocção, devido a lixiviação da amilose do grânulo de amido para a água de maceração durante a gelatinização, formando um filme de revestimento que aumenta significativamente a pegajosidade.

Este fato demonstra que a metodologia utilizada neste trabalho apresentou falhas, devido a falta de controle preciso sobre a temperatura utilizada durante a cocção, pois existem evidências de amilose lixiviada na água de imersão em temperaturas acima da temperatura de gelatinização (LEELAYUTHSOONTORN; THIPAYARAT, 2006).

Outro ponto a considerar diz respeito à avaliação do teste, pois diferenças entre as classes ligeiramente pegajosos e separados, bem como entre separados e muito separados são muito tênues, podendo o mesmo material ser classificado em classes diferentes, considerando que a interpretação é bastante subjetiva, mas que constitui mais uma ferramenta que orienta o programa de melhoramento na seleção de cultivares em termos de qualidade de grãos. Daí a importância de as avaliações serem realizadas pelo mesmo *expert* ou por operadores treinados com monitoramento periódico da sua capacidade de avaliação (FONSECA, CASTRO, MORAIS, 2005).

5.10.2 Textura

A textura é afetada pelas condições agronômicas, características físico-químicas do amido, etapas de processamento, como a secagem, armazenamento, polimento e condições de cozimento (CASTRO et al., 1999). Segundo Martinéz e Cuevas (1989), o arroz que apresenta teor de amilose intermediário tende a ser macio. A textura do arroz cozido esta bastante associada com a gelatinização do amido induzida pela hidratação e aquecimento (MARUYAMA; SAKAMOTO, 1992). As condições de encharcamento são fatores determinantes na qualidade de cocção do arroz (KOIDE; TAKKO; NISHIYAMA, 2001). Se a absorção de água durante o encharcamento é insuficiente, o amido na parte central do grão não gelatiniza completamente, resultando em grãos cozidos com textura rígida (SHIMIZU et al., 2008).

Para a cv. BRS Primavera, não houve diferença entre a textura das amostras, pois todas se apresentaram com característica de arroz cozido macio, já que possuem teor de amilose aparente (Tabela 41) e temperatura de gelatinização intermediários (Tabela 44). Este resultado também foi observado por Bassinello, Rocha e Cobucci (2004), que realizaram a cocção de 6 g dessa cultivar em placas de petri dentro de panela semi-industrial.

Com relação a cv. BRS Sertaneja, houve diferença em relação as amostras, podendo ser resultado da influência da estrutura do amido. Na combinação binária de 60 °C/ 250 min, apesar de apresentar 0% de GNG, os grãos apresentaram com textura ligeiramente macia após a cocção. Segundo Juliano (1971), a dureza é atribuída ao alto conteúdo de amilose. Apesar das amostras serem enquadradas em teor de amilose intermediária, este tratamento foi o que

apresentou o maior valor (24,65%), dentre os analisados (Tabela 41). Outro fator pode ter influenciado esse resultado, como por exemplo, a maneira de analisar a textura da amostra, feita quando esta já se encontra fria e o processo de retrogradação do amido já ter-se instalado na mesma. Já a combinação binária que utilizou temperatura mais elevada por mais tempo, os grânulos de amido ficaram totalmente gelatinizados e consequentemente os grãos ficarão muito macios após a cocção (BASSINELLO; ROCHA; COBUCCI, 2004). Segundo Leelayuthsoontorn e Thipayarat (2006), a elevada temperatura e o alto tempo de cocção cria condições excessivas de atrito entre os grãos de arroz durante a cocção, causando danos físicos (fissuras longitudinais na superfície do grão) dos grãos inchados. Essas fissuras superficiais facilitam a lixiviação da amilose e da amilopectina de baixo peso molecular, e esse fato ajuda a reduzir a dureza do arroz cozido.

5.10.3 Rendimento de cocção

As amostas de arroz parboilizado da cv. BRS Primavera diferiram ($P < 0,05$) das amostras de arroz branco para o rendimento de cocção. O rendimento de cocção do arroz branco aumentou de 211,43 g para 231,10 – 257,02 g para o arroz parboilizado. A amostra que empregou o tratamento de 58 °C/ 240 min não diferiu da amostra que aplicou o tratamento térmico de 65 °C/ 60 min, porém estas amostras diferiram da amostra que empregou o tratamento térmico de 60 °C/ 112 min. A amostra que sofreu tratamento térmico de 65 °C/ 60 min foi a que apresentou o maior rendimento de cocção pois teve o maior grau de polimento (8,91%) em relação aos demais tratamentos selecionados para o teste de cocção (Tabela 45). Segundo Mohapatra e Bal (2006), a taxa de hidratação aumenta progressivamente com o grau de polimento (acima de 6%), principalmente para grãos com espessura mais delgada, pois uma maior remoção da camada do farelo, permite que os grânulos de amido absorvam maior quantidade de água e expandam naturalmente mais durante a cocção. O tratamento que apresentou o menor rendimento (60 °C/ 112 min) não foi o que obteve o menor grau de polimento, porém apresentou o menor teor de amilose (24,30%). Segundo Juliano e Bechtel (1985) a amilose aparente tem correlação positiva sobre o inchaço do grão, pois o conteúdo de amilose melhora a capacidade do grânulo de amido absorver água e expandir o volume.

Para a cv. BRS Sertaneja, a única amostra de arroz parboilizado que não diferiu ($P > 0,05$) da amostras de arroz branco foi a que empregou um tratamento térmico de 65 °C/ 420 min. O rendimento de cocção do arroz branco aumentou de 213,51 g do arroz branco para 230,37 – 239,19 g para o arroz parboilizado. Não houve diferença entre as amostras

parboilizadas (P > 0,05). Segundo Mohapatra e Bal (2006), o alto grau de polimento (GP) é observado em grãos espessos. Porém, o GP exerce menos efeito sobre a taxa de expansão dos grãos do que a espessura destes, pois a difusão de água é influenciada tanto pela camada do farelo quanto pela espessura do grão. A amostra submetida ao tratamento de 65 °C/ 420 min apresentou o menor rendimento de cocção, pois foi a amostra que apresentou o menor GP, e por isso absorveu menos água durante a cocção, devido o maior teor de farelo. O maior rendimento de cocção foi obtido para a amostra que utilizou o tratamento de 60 °C/ 250 min, pois foi a amostra que apresentou os maiores GP (9,33%) e teor de amilose aparente (24,65%) dentre as amostras selecionadas.

Comparando os resultados obtidos para as duas cultivares, verifica-se que a cv. BRS Sertaneja apresentou menor rendimento de cocção, pois trata-se de uma cultivar mais espessa, que mesmo sofrendo um grau de polimento maior, necessita de maior tempo para que os grânulos de amido absorvam água e gelatinizem, aumentando assim o tamanho do grão e consequentemente o rendimento de cocção.

5.10.4 Tempo de cocção

Verifica-se na Tabela 45, que as amostras de arroz parboilizado diferiram (P < 0,05) das amostras de arroz branco, apresentando maiores tempos de cocção. Segundo Mohoric et al. (2009), o endosperma do arroz parboilizado apresenta-se com a estrutura do amido mais compacta e a redução da porosidade dos grãos geralmente aumenta o tempo de cocção. Além disso, segundo Vidal et al. (2007), o tamanho do endosperma, a forma (principalmente a espessura) são provavelmente os fatores que mais afetam o tempo de cocção, mas o arroz com alto conteúdo de cinzas também apresentam longo tempo de cocção.

Para as amostras da cv. BRS Primavera o tempo de cocção variou de 15 min e 17 seg do arroz branco para 22 min e 30 seg – 26 min e 31 seg para o arroz parboilizado. As amostras que empregaram o tratamento térmico de 58 °C/ 240 min não diferiram das amostras que utilizaram um tratamento de 65 °C/ 60 min com relação ao tempo de cocção. Porém, estas amostras diferiram significativamente da amostra que empregou o tratamento de 60 °C/ 112 min. A amostra que empregou o tratamento de 58 °C/ 240 min apresentou o maior tempo de cocção, pois obteve também o menor índice de GNG (0,8%), ou seja, a porosidade dos grãos foi menor, e a que apresentou o menor grau de polimento (6,76%) e consequentemente o maior teor de cinzas (0,89%).

O tempo de cocção para a cv. BRS Sertaneja variou de 15 min 50 seg no arroz branco para 24 min 17 seg – 27 min 39 seg nas amostras de arroz parboilizado. As amostras que

empregaram o tratamento térmico não apresentaram diferença significativa. Apesar disto, numericamente o maior tempo de cocção foi obtido pela amostra que empregou o tratamento de 65 °C/ 180 min, pois foi a que apresentou 2,4% dos GNG (apesar de ter sido o maior dentre os tratamentos, pode ser considerado uma percentagem baixa), um dos menores grau de polimento (7,26%) e o maior teor de cinzas (0,94%) entre as amostras selecionadas.

Ao analisar os dados obtidos para as duas cultivares, verifica-se que a difusibilidade da água para a cv. BRS Primavera pode ter sido maior (absorção de água no cozimento mais rápida), devido a menor espessura do grão (Tabela 3) e consequentemente apresentou em média um tempo de cocção de 25'14'', enquanto a BRS Sertaneja apresentou um tempo médio de 26'12''.

Os testes físico-químicos de conteúdo de amilose (dispersão alcalina como indicador da temperatura de gelatinização) servem como indicador do comportamento do arroz ao ser cozido e processado. Os resultados desse teste têm correlação com a coesão do arroz cozido, capacidade de absorção de água e outros. Apesar desses testes avaliarem muitos aspectos da qualidade do arroz eles não explicam todas as diferenças no comportamento do arroz, pois não medem adequadamente a qualidade de textura do arroz cozido. Há necessidade de desenvolver um instrumento ou método para medir características combinadas de coesão, mastigabilidade e maciez, que são os elementos importantes na avaliação sensorial de produto cozido, como o arroz (LUZ; TREPTOW, 1994).

Para fins de preparo, o teste de panela é válido, pois, reproduz o perfil de cozimento do arroz que será obtido pela dona-de-casa, porém, nem sempre se correlaciona com os testes físicos e químicos (teor de amilose, temperatura de gelatinização). Esta metodologia apresentou algumas desvantagens: a maneira de analisar a textura do arroz, quando este já se encontra frio; a subjetividade de apenas um analista, o tempo de cozimento que não é padronizado; a falta de controle preciso sobre a temperatura da chama do fogão e, finalmente, a desuniformidade observada no cozimento dos grãos.

5.11 ANÁLISE SENSORIAL

Para a análise sensorial das amostras de arroz parboilizado participaram 100 provadores não treinados, sendo que 12% desconheciam o que era arroz parboilizado, 27% já tinham ouvido falar, porém nunca haviam experimentado e 61% já conheciam e haviam experimentado. Desta forma mais de 70% dos consumidores que participaram do teste

conheciam arroz parboilizado. A situação financeira da população do estudo foi que a maioria possui renda de até 5 salários mínimos (37%), enquanto que 9% ganham mais de 20 salários mínimos, 28% entre 5 e 10 e em torno de 26% ganham de 10 a 20 salários mínimos. Na questão sobre a frequência de consumo, o arroz parboilizado é ingerido todos os dias por apenas 1% dos consumidores entrevistados, uma vez por semana por 1%, três vezes por semana por 4%, ocasionalmente por 38% e nunca é consumido por 56% dos entrevistados.

As análises de variância dos atributos aparência, aroma, sabor e textura para as amostras parboilizadas da cv. BRS Primavera estão apresentadas nos Anexos D1, D2, D3 e D4, respectivamente, e os dados médios e desvios-padrão destes atributos na Tabela 46.

Tabela 46. Médias e desvios-padrão dos escores para aparência, aroma, sabor e textura das amostras de arroz parboilizadas da cv. BRS Primavera obtidas no teste de aceitabilidade

Tratamentos	Aparência[1]	Aroma	Sabor	Textura
58 °C/ 240 mim	6,38 ± 1,51b	5,88 ± 1,79a	6,34 ± 1,72a	6,20 ± 1,75b
60 °C/ 112 min	7,20 ± 1,40a	6,48 ± 1,46a	6,58 ± 1,49a	6,76 ± 1,25ab
65 °C/ 60 min	6,78 ± 1,59ab	6,08 ± 1,75a	6,54 ± 1,53a	6,90 ± 1,28ª

[1] Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

As análises de variância dos atributos aparência, aroma, sabor e textura estão apresentadas nos Anexos E1, E2, E3 e E4 e na Tabela 47 os dados médios e desvios-padrão destes atributos.

Tabela 47. Médias e desvios-padrão dos escores para aparência, aroma, sabor e textura das amostras de arroz parboilizadas da cv. BRS Sertaneja obtidas no teste de aceitabilidade

Tratamentos	Aparência[1]	Aroma	Sabor	Textura
60 °C/ 250 min	6,36 ± 1,59a	5,68 ± 1,73a	5,86 ± 1,63a	6,42 ± 1,72a
65° C/ 180 min	5,80 ± 1,91b	5,88 ± 1,73a	5,74 ± 1,65a	6,46 ± 1,39a
65 °C/ 420 min	6,60 ± 1,39a	6,06 ± 1,67a	6,06 ± 1,79a	6,64 ± 1,43ª

[1] Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$)

5.11.1 Aparência

O atributo aparência das cvs. estudadas apresentaram $F_{tratamento}$ significativo a nível de 5% de probabilidade, indicando que os provadores perceberam diferença entre as amostras. O F_{bloco} foi altamente significativo (a 5% de probabilidade), indicando que não houve consenso entre os provadores, ou seja, houve diferença nas respostas para o atributo analisado, podendo existir provadores que gostaram ou não gostaram da aparência do arroz parboilizado (Anexos D1 e E1).

Para a cv. BRS Primavera o tratamento parboilizado que empregou a combinação

binária de 65 °C/ 60 min não diferiu (P > 0,05) dos tratamentos que empregaram 58 °C/ 240 min e 60 °C/ 112 min, mas esses tratamentos diferiram entre si (P ≤ 0,05). Os tratamentos que empregaram combinação binária de 58 °C/ 240 min e 65 °C/ 60 min obtiveram média de aparência entre 6 e 7, ou seja, entre as categorias "gostei levemente" e "gostei moderadamente" da escala hedônica. Enquanto o tratamento que utilizou 60 °C/ 112 min obteve média entre 7 e 8, ou seja, entre "gostei moderadamente" e "gostei muito".

Já para a cv. BRS Sertaneja o tratamento que empregou 65 °C/ 180 min diferiu em relação à aparência (P ≤ 0,05) dos tratamentos que empregaram 60 °C/ 250 min e 65 °C/ 420 min, e estes não diferiram (P > 0,05) entre si. Por ter um escore mais elevado (6,60) o tratamento que empregou 65 °C/ 420 min foi numericamente mais aceito para o atributo de aparência, por não ter sido detectada pelos provadores (não treinados) a diferença da amostra classificada como muito solta e solta no teste de cocção (Tabela 45) e por ter menor porcentagem de grãos banana (Tabela 21). A amostra que apresentou o menor valor médio de aparência (5,80) foi a que empregou o tratamento de 65 °C/ 180 min, o que indica a rejeição dos provadores quanto as características visuais da amostra, pois foi a amostra que apresentou maior percentagem de grãos banana. Alguns indivíduos afirmaram que esta amostra apresentou grãos quebrados e presença de casca no arroz cozido, que são aspectos não favoráveis para a aparência do arroz.

A maioria dos escores médios foram entre as categorias "gostei levemente a gostei moderadamente", confirmando a aceitação dos provadores por arroz que apresentam-se com aspecto solto, apesar da integridade dos grãos e a presença de casca terem sido relatadas em uma amostra. Verifica-se também com estes resultados que a cor, um atributo bastante importante no julgamento da aceitabilidade do arroz cru perde, porém, importância quando o arroz é cozido. O escurecimento não-enzimático é responsável pela coloração escura do grão cru, entretanto, após o cozimento, os grãos adquiriram uma coloração mais clara.

5.11.2 Aroma

Com relação ao atributo de aroma, o $F_{amostra}$ não foi significativo (P > 0,05), indicando que os provadores não perceberam diferença entre as amostras. O F_{bloco} foi significativo (P ≤ 0,05), indicando que não houve consenso entre os provadores (Anexos D2 e E2). Levando em consideração as categorias dos aroma, verifica-se que as amostras mais aceitas foram as que apresentaram os escores médios mais altos, entre 6 e 7, ou seja, as que empregaram a combinação binária de 60 °C/ 112 min para a cv. BRS Primavera e 65 °C/ 420 min para a cv. BRS Sertaneja. Para esse atributo observou-se que a parboilização deixa um odor

característico do processo, devido aos componentes da película que foram transferidos para o grão (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002). Em relação a cv. BRS Primavera, o tratamento mais aceito foi o que apresentou o valor mais alto de pH na água de imersão (Tabela 29), próximo da neutralidade, o que provavelmente evitou os processos fermentativos, que podem originar odores desagradáveis. Já para a cv. BRS Sertaneja o tratamento mais aceito foi o que apresentou a maior absorção de água, o maior índice de abertura, a maior perda de SST na água e o menor pH, ou seja, todos os requisitos para se desenvolver um aroma acentuado característico do arroz parboilizado. Este fato comprova que o aroma peculiar do arroz parboilizado pode ser aceito por alguns provadores e por outros não.

5.11.3 Sabor

Para o atributo de sabor das duas cultivares estudadas, os provadores não perceberam diferenças entre as amostras degustadas ($F_{amostra}$ não foi significativo) e o F_{bloco} foi significativo ($P \leq 0,05$), indicando que não houve consenso entre os provadores (Anexos D3 e E3).

5.11.4 Textura

Para o atributo textura da cv. BRS Primavera, o $F_{amostra}$ foi significativo a nível de 5% de probabilidade, indicando que os provadores perceberam diferença entre as amostras. O F_{bloco} foi altamente significativo ($P < 0,05$), indicando que houve diferença nas respostas para o atributo analisado, podendo existir provadores que gostaram ou não gostaram da textura do arroz parboilizado. Já para a cv. BRS Sertaneja os provadores não perceberam diferença ($P > 0,05$) entre as amostras analisadas e o F_{bloco} foi altamente significativo ($P < 0,05$), indicando que também houve diferença nas respostas para o atributo analisado (Anexos D4 e E4).

Dentre os tratamentos da cv. BRS Primavera, o que utilizou 65 °C/ 60 min não diferiu do 60 °C/ 112 min e este não diferiu do que empregou 58 °C/ 240 min. Já para a cv. BRS Sertaneja os provadores não conseguiram diferenciar a textura das amostras. As combinações binárias que apresentaram maiores escores entre 6 e 7, foram os tratamentos que empregaram 65 °C/ 60 min e 65 °C/ 420 min, ou seja, textura variando de macia a extremamente macia segundo o teste de cocção (Tabela 45) realizado por provadores treinados.

6 CONCLUSÕES

Pelos resultados do presente trabalho pode-se concluir que:

- Cada cultivar possui seu tempo certo, de acordo com uma determinada temperatura, para absorver a quantidade de água ideal.
- À medida que aumenta a temperatura (principalmente na faixa de temperatura de gelatinização) e o tempo de imersão, aumenta o índice de absorção de água, consequentemente ocorre elevados índices de abertura da casca dos grãos encharcados e de sólidos totais secos lixiviados para a água de maceração. Para o pH da água de maceração é necessário menor tempo de encharcamento para que a água apresente neutra.
- Quanto maior a temperatura empregada na etapa de encharcamento e subsequente vaporização e secagem constante, menor o grau de polimento e consequentemente maior a renda do benefício e o rendimento de inteiros.

- Nas condições extremas do encharcamento observa-se, em geral, que há maior incidência de grãos danificados, bananas e translúcidos e torna-se mais fácil a visualização dos grãos manchados e picados, obtendo-se farinhas de arroz parboilizado com maior diferença em relação as amostras das farinhas de arroz branco.

- O arroz parboilizado da cv. BRS Primavera possui maior conteúdo de cinzas e lipídios em relação ao arroz branco, porém com menores teores de magnésio, cálcio e cobre.

- Para a cv. BRS Sertaneja o arroz parboilizado apresenta maior conteúdo de cinzas, proteína bruta, lipídios e fibra bruta, porém os teores de magnésio, cálcio e cobre reduzem significativamente e os teores de fósforo e potássio aumentam significativamente com a parboilização.

- Tanto o arroz branco como o parboilizado das cvs. BRS Primavera e BRS Sertaneja apresentam grãos soltos e macios.

- O arroz parboilizado de ambas cultivares apresenta maior rendimento e tempo de cocção que as amostras de arroz branco.
- As alterações nos atributos sensoriais devido às variações de temperatura e tempo de encharcamento do processo de parboilização não são tão drásticas a ponto de rejeição pelos julgadores.
- A cv. BRS Sertaneja apresenta melhores características tecnológicas (menos defeitos), maiores teores de cinzas, proteínas, lipídios, fibra bruta, potássio e fósforo, enquanto a cv.

BRS Primavera se destaca pela rapidez na absorção de água, menores perdas de compostos do grão para a água de imersão e cor da farinha menos acentuada.

REFERÊNCIAS

ADU-KWARTENG, E.; ELLIS, W. O.; ODURO, I.; MANFUL, J. T. Rice grain quality: a comparison of local varieties with new varieties under study in Ghana. **Food Control**, London, v. 14, n. 7, p. 507-514, 2003.

ALENCAR, M. L. C. B.; ALVARENGA, M. G. Farelo de arroz (I): composição química e seu potencial como alimento. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Belo Horizonte, v. 34, n. 1, p. 95-108, 1991.

ALI, N.; PANDYA, A. C. Basic concept of parboiling of paddy. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 19, n. 2, p. 111–115, 1974.

ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, K. R. Starch retrogradation and starch damage in parboiled rice and flaked rice. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 28, n. 2, p. 233-240, 1976.

AMATO, G. W.; BITTENCOURT, D. M.; GUINDANI, A. C. **Parboilização do arroz:** parâmetros de encharcamento. Porto Alegre: CIENTEC, 1989. 41p. (Boletim Técnico, 17).

AMATO, G. W.; CARVALHO, J. L. V.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz parboilizado:** tecnologia limpa, produto nobre. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2002. 240p.

AMATO, G. W.; ELIAS, M. C. **A parboilização do arroz**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2005. 160p.

AMATO, G. W. **Grãos Não-Gelatinizados** – GNG em arroz parboilizado – Avaliação de Método. Porto Alegre: CIENTEC, 1989. 49p. (Boletim Técnico, 15).

AMATO, G. W.; PINKOSKI, P. I.; OLIVERAS, L. Y.; PFINGSTAG, R.; GUNDANI, C. **Cor na parboilização do arroz**. Porto Alegre: CIENTEC, 1990. 39p. (Boletim Técnico, 19).

AMATO, G. W.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz parboilizado:** uma recomendação da FAO e OMS. Porto Alegre: CIENTEC, 1995. 23 p. (Boletim Técnico, 13).

AMATO, G. W.; SILVEIRA FILHO, S. **Parboilização do arroz no Brasil**. Porto Alegre: CIENTEC, 1991. 98p.

ANTHONI RAJ, S.; SINGARAVADIVEL, K. Influence of soaking and steaming on the loss of simpler constituents in paddy. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 17, p. 141-143, 1980.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**.16th ed.v.1 e v.2, Gaitheersburg: AOAC, 1997.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. Washington, APHA, 1995.

BANDYOPADHYAY, S.; ROY, N. C. Desorption characteristics of hot-soaked parboiled paddy. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 15, n. 3, p. 329-333, 2007.

BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. M. P.; WALLY, A. P. S.; GULARTE, M. A.; FAGUNDES, C. A. A.; AMATO, G. W.; ELIAS, M. C. Arroz branco e parboilizado - a importância das análises de parâmetros tecnológicos e sensoriais na avaliação da qualidade. **Revista Grãos Brasil:** Da semente ao consumo, Maringá, v. 24, p. 28-30, 2006.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: UNICAMP, 1995. 299p.

BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, E. M. Arroz como alimento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 101-108, 2004.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. da S.; COBUCCI, R. de M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 8p. (Comunicado Técnico, 84).

BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. **Análise química de plantas**. Campinas. Instituto Agronômico, 1978. 31 p. (Boletim Técnico, 87).

BELLO, M.; BAEZA, R.; TOLABA, M. P. Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment. **Journal of Food Engineering**, London, v. 72, n. 2, p. 124-133, 2006.

BHATTACHARYA, K. R.; ALI, S. Z. Changes in rice during parboiling, and properties of parboiled rice. **Advances in Cereal Science and Technology**. Saint Paul: American Association Cereal Chemistry, 1985, v. 8, p. 105-107.

BHATTACHARYA, K. R. Breakage of rice during milling; a review. **Tropical Science**, London, v. 22, n. 3, p. 225-276, 1980.

BHATTACHARYA, K. R. Kinetics on colour changes in rice due to parboiling. **Journal of Food Engineering**, London, v. 29, n. 1, p. 99-106, 1996.

BHATTACHARYA, K. R. Parboiling of rice . In: Juliano, B. O. (Ed.). **Rice:** Chemistry and Technology. St. Paul, American Association of Cereal Chemistry, 1986, cap. 8, p. 289-348.

BHATTACHARYA, K. R.; SUBBA RAO, P. V. Effect of processing conditions on quality of parboiled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 14, n. 5, p. 476–479, 1966.

BONOW, S.; PINHO, E. V. R. V.; SOARES, A. A.; SIÉCOLA, S. J. Caracterização morfológica de cultivares de arroz visando a certificação da pureza varietal. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 619-627, 2007.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 653p.

BRAGANTINI, C. Secagem e beneficiamento de sementes. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos.; SANTA'ANA, E. P. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. cap. 18, p. 516-538.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria n° 10, de 12 de abril de 1996. **Critérios para classificação do arroz**. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/claspar/pdf/arroz010_96.pdf>. Acesso em: 03 dez. de 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria n° 269, de 17 de novembro de 1988. **Normas de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz.** Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta /consultar Legislacao. do?operacao =visualizar&id=1033>. Acesso em: 03 dez. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003**. Aprova regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=9059>. Acesso em: 26 jun. 2008.

BRESEGHELLO, F.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. Cultivares de arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. (eds). **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. 161p.

BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O. P.; CASTRO, E. M.; PERREIRA, J. A.; UTUMI, M. M.; LOPES, A. M.; CORDEIRO, A. C. C.; BASSINELLO, P. Z.; FONSECA, J. R.; PRABHU, A. S.; PETERS, V.; SOARES, A. A. **BRS Sertaneja**: cultivar precose de arroz de terras altas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2006. 4p. (Comunicado Técnico, 133).

BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. 161p.

BÜTTOW, J. **Influência das condições de maceração e autoclavagem no processo de parboilização de arroz (Oriza sativa, L.)**. 153p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1984.

CAVALHEIRO, F. Z.; MISSIO, P. da S.; GULARTE, M. A. Estudo do comportamento do consumidor de arroz. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16. ENCONTRO DE PÓS GRADUAÇÃO, 9., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas, 2007. p. 2.

CARVALHO, J. L. V. Parboilização: O perfil tecnológico de algumas agroindústrias sob a ótica da gelatinização. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISAS DE ARROZ, 6., 1998, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa, CNPAF, 1998. v. 1. p. 433-435.

CASTRO, E. da M. de; VIEIRA, N. R. de A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. da. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p. (Circular Técnica, 34).

CHOUDHURY, N. H. **Parboiling and consumer demand of parboiled rice in south Asia**. Manila: International Rice Research Institute, 1991. p. 47-54.

COFFMAN, W. R.; JULIANO, B. O. Rice. In: OLSON, R.A.; FREY, K.J. **Nutritional quality of cereal grains**: genetic and agronomic improvement. Madison: American Society of Agronomy, 1987. cap.5, p. 101- 131.

COMARELLA, C. G.; BRUM, F. B.; PATIAS, L. D.; SILVA, L. P.; STORCK, C. R.; FAGUNDES, C. A. A. Efeito do processo de parboilização em medidas de interesse nutricional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., Reunião da Cultura de Arroz Irrigado, 24., 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2005. v. 2. p. 356-358.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos 2008/2009, sexto levantamento. Brasília: Conab, 2009. Disponível em: http:<//www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/6graos_08.09.pdf>. Acesso em: 02 abr 2009.

CRUSCIOL, C. A. C.; MACHADO, J. R.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Produtividade do arroz irrigado por aspersão em função do espaçamento e da densidade de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1093-1100, 2000.

CUEVAS-PEREZ, F.; PESKE, S. T. Milling performance of rice varieties under different moisture absorption environments. **Tropical Science**, London, v. 30, n. 2, p. 147-152, 1990.

DARABAS, A. M. **Processo de produção do arroz da Cooperja**. Disponível em: <http://www.cooperja.com.br/produtos/producaodearroz.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2009.

DAVID, D. B.; NÖRNBERG, J. L.; SILVA, L. P.; FAGUNDES, C. A. Concentração de minerais em grãos polidos e parboilizados de diferentes cultivares de arroz: Zn, Cu, Fe, Mn. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3, 2003, Camboriú, SC. **Anais...**Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 644-646.

DE ANGELIS, R. C. **Importância de alimentos vegetais na proteção da saúde:** fisiologia da nutrição protetora e preventiva de enfermidades degenerativas. São Paulo: Atheneu, 2001. 295p.

DELLA MODESTA, R.C. **Manual de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1994. 115 p.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P.; STORCK, C. R.; NÖRNBERG, J. L. Composição mineral de cultivares de arroz integral, parboilizado e branco. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 15, n. 2, p. 125-130, 2004.

DEXTER, P. B. **Rice fortification for developing countries**. Department of Food Science, University of Arkansas – Fayetteville. August, 1998. Disponível em:<http://www.mostproject .org/rice4.pdf/>. Acesso em: 20 fev. 2009.

DIAS, M. F. P.; FENSTERSEIFER, J. E. **Análise estratégica de operações agroindustriais:** Um estudo de caso no setor arrozeiro. **Custos e @gronegócio** *on line,* v. 4, 2008. Disponível em:<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/especialv4/operacoes%20agroindustriais. pdf>. Acesso em: 13 jul. 2009.

DILLAHUNTY, A. L.; SIEBENMORGEN, T. J.; MAUROMOUSTAKOS, A. Effect of temperature, exposure duration, and moisture content on color and viscosity of rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 5, p. 559-563, 2001.

DORS, G. C.; PINTO, R. H.; BADIALE-FURLONG, E. Influência das condições de parboilização na composição química do arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 219-224, 2009.

EBERHARDT, D. S.; NOLDIN, J. A. Produção orgânica de arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ – RENAPA, 7. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2003. v. 2. p. 187-199.

EGGUM, B. O.; JULIANO B. O.; PEREZ, C. M.; ACEDO E. F. The resistant starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice. **Journal of Cereal Science**, London, v. 18, n. 2, p. 159-170, 1993.

ELIAS, M. C.; CONRAD, V. J. D.; AOSANI, E.; OLIVEIRA, M. Arroz: gerenciamento operacional define a qualidade. **Seed News**, Pelotas, v. 7, n. 4, p. 12-14, 2003.

ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G.; SCHIRMER, M. A.; GULARTE, M. A.; FAGUNDES, C. A. A.; AMATO, G. W. **Industrialização do arroz**. 2005. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20080605151038.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2009.

ELIAS, M. C.; HELBIG, E.; MENEGHETTI, V. L.; STORCK, C. R.; PINO, M.; ROMBALDI, C. V. Effects of resting on drying and storage period on the metabolic defects and industrial performance of polished and parboiled rice. In: INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED PRODUCT PROTECTION, 9., 2006, Campinas. **Proceedings...** Campinas: ABRAPOS, 2006, v. 1. p. 85-92.

ELIAS, M. C.; ROMBALDI, C. V.; SILVA, J. A.; GUTKOSKI, L. C.; MÜLLER, M. M. Manejo de operação e lixiviação de sólidos na água de encharcamento na parboilização de arroz. In: Reunião da cultura do arroz irrigado, 1995, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre, 1995. v. 1, p. 313-316.

ELIAS, M. C.; SILVA, J. A.; DIAS, A. R. G.; NORA, L.; CONRAD, V. J. D. Tempo de armazenamento e qualidade industrial do arroz para parboilização. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20070822211545.pdf >Acesso em: 13 mai. 2008.

ELIAS, M. C. **Tempo de espera para secagem e qualidade de arroz para semente e indústria**. 1998. 132p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de pelotas, Pelotas, 1998.

EMBRAPA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil:** consumo, mercado e comercialização do arroz no Brasil, 2005a. Disponível em:<http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/arroz/cap18.htm>. Acesso em: 09 fev. 2009.

EMBRAPA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil:** importância econômica, agrícola e alimentar do arroz, 2005b. Disponível em:http:<//sistemasde produção.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/ArrozIrrigadoBrasil/cap01.htm>. Acesso em: 07 mar. 2009.

FAGUNDES, C. A. A.; ELIAS, M. C.; BARBOSA, F. F.; CRUZ, L. H. M. P. Temperatura da água e tempo de imersão para parboilização dos cultivares de arroz IRGA 418, IRGA 419 e IRGA 420. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA,

2001. v. 1, p. 654-656.

FERREIRA, A. L. B. **Desenvolvimento de um secador intermitente de fluxos concorrentes-contracorrentes para arroz parboilizado**. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2003. Disponível em: <http://www.sop.eng.br/pdfs/298ffcae4574803a7454b75ee1436e50.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2009.

FERREIRA, C. M.; DEL VILLAR, P. M. Aspectos da produção e do mercado de arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 11-18, 2004.

FERREIRA, C. M.; MÉNDEZ DEL VILLAR, P.; ALMEIDA, P. N. A.; GAMEIRO, A. H. Importância econômica e social do arroz no Brasil. In**:** FERREIRA, C. M.; SOUZA, I. S. F.; MÈNDEZ DEL VILLAR, P (Eds). **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção de arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p.12-22.

FERREIRA, C. M.; MÉNDEZ DEL VILLAR, P.; ALMEIDA, P.N.A. Qualidade e utilização das principais cultivares de arroz de terras altas. In: FERREIRA, C. M.; SOUZA, I. S. F.; MÈNDEZ DEL VILLAR, P (Eds). **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção de arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p.37-50.

FERREIRA, C. M.; MÉNDEZ DEL VILLAR, P.; GAMEIRO, A. H. Demandas tecnológicas e perspectivas da rizicultura de terras altas no Brasil. In: FERREIRA, C. M.; SOUZA, I. S. F.; MÈNDEZ DEL VILLAR, P. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção de arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p.12-22.

FERREIRA, C. M.; PINHEIRO, B. da S. Possíveis cenários de produção de arroz no Brasil e no Mercosul. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ – RENAPA, 7. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2003. v. 2, p.169-185.

FERREIRA, C. M.; YOKOYAMA, L. P. **Cadeia produtiva do arroz na região Centro-Oeste**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 110p.

FITZGERALD, M.; LEWIN, L.; WILLIAMS, R.; CLAMPETT, W. S.; REINKE, R. Grain quality. In: KEALEY, L. M.; CLAMPETT, W. S. (Ed.). **Production of quality rice in South Eastern Australia**. Kingston: Rural Industries Research & Development Corporation (RIRDC), 2000. cap. 13, p. 4-19.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. da M.; MORAIS, O. P. **Maturação de pós colheita das cultivares de arroz de terras altas BRS Sertaneja, BRS Pepita, BRS Monarca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2007. 4p. (Comunicado Técnico, 136).

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. da M.; MORAIS, O. P. **Tempo de prateleira de cultivares de arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2005. 4p. (Comunicado Técnico, 98).

FONSECA, J. R.; MORAIS, O. P.; CUTRIM, V. A.; RANGEL, P. H. N.; BRESEGHELLO, F.; SOARES, A. A.; CASTRO, E. M. **Características morfo agronômicas e fenológicas de cultivares comerciais de arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas e irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. 32 p. (Documentos 209).

FONSECA, H.; SOAVE, J.; AZZINI, L. E.; BANZATTO, N. V.; CAMARGO, O. B. A. **Arroz: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial.** São Paulo: EDUSP, 1983. 528p.

FONTANA, C. **Secagem de arroz parboilizado**. Santa Maria: UFSM, 1986. 52p.

GARIBOLDI, F. Parboiled rice. In: HOUSTON, D. F. **Rice chemistry and technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1972. p. 358-80.

GARIBOLDI, F. **Rice parboiling**. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1974. 97p. (FAO Agricultural Development Paper, 97).

GONI, I.; GARCIA-DIZ, L.; MANAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, London, v. 56, n. 4, p. 445-449, 1996.

GONZALES, L.; LIVORE, A.; PONS, B. Physico-chemical and cooking characteristics of some rice varieties. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 71-76, 2004

GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 53-96.

GUIMARÃES, E. P.; SANT'ANA, E. P. Sistemas de cultivo. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANTA'ANA, E. P. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 18-32.

GULARTE, M. A.; CARDOSO, M. B.; PRESTES, D. H.; WALLY, A. P. S.; FAGUNDES, C. A. A. Efeitos da parboilização nas características de consumo de arroz. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 4., Reunião da Cultura de Arroz Irrigado, 24. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado - SOSBAI, 2005. v. 2. p. 369-372.

GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Estudos da água de maceração de arroz, a 60 °C em diferentes condições de manejo. **Lavoura arrozeira**, Porto Alegre, v. 47, n. 414, p. 6-10, 1994.

HARVESTPLUS. **Micronutrient malnutrition – Zn**. Disponível em:<http://www.harvestplus.org/micronut.html>. Acesso em: 19 jun. 2009.

HEINEMANN, R. J. B.; BEHRENS, J. H.; LANFER-MARQUEZ, U. M. A study on the acceptability and consumer attitude towards parboiled rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 41, n. 6, p. 627-634, 2006.

HEINEMANN, R. J. B.; FAGUNDES, P. L.; PINTO, E. A.; PENTEADO, M. V. C.; PENTEADO, M. V. C.; LANFER-MARQUEZ, U. M. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 18, n. 4, p. 287-296, 2005.

HELBIG, E.; AOSANI, E.; ROCHA, J. C.; KROLOW, W. S.; FAGUNDES, C. A. A.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Condições operacionais na parboilização de arroz com diferentes teores de amilose. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas. **Anais ...** Pelotas: Pallotti, 2007. v. 2, p. 672-675.

HELBIG, E.; DIAS, A. R. G.; TAVARES, R. A.; SCHIRMER, M. A.; ELIAS, M. C. Arroz parboilizado efeito na glicemia de ratos *Wistar.* **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 58, n. 2, p. 149-155, 2008.

HENRY, C. J. K.; MASSEY, D. **Micro-nutrient changes during food processing and storage**. Crop Post-Harvest Programme. Issues Paper – 5. Dec. 2001. Disponível em:<http://www.cphp.uk.com/downloads/issue_paper5.pdf>. Acesso em: 22 set. 2008.

HORIGANE, A. K.; TAKAHASHI, H.; MARUYANAMA, S.; OHTSUBO, K.; YOSHIDA, M. Water penetration into rice grains during soaking observed by gradient echo magnetic resonance imaging. **Journal of Cereal Science**, London, v. 44, n. 3, p. 307–316, 2006.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz:** métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005. 1018 p.

ITANI, T.; TAMAKI, M.; ARAI, E.; HORINO, T. Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 19, p. 5326-5332, 2002.

JAYANARAYANAN, E. K. Influence of processing conditions on the browning of parboiled rice. **Rice Journal**, Raleigh, v. 68, n. 12, p. 16-17, 1965.

JULIANO, B. O. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**, Mineapolis, v. 16, n. 10, p. 334-340, 1971.

JULIANO, B. O.; BECHTEL, D. B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B.O. (Ed.). **Rice:** chemistry and technology. 2. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. cap. 2, p.17-57.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1993. 168p. Disponível em:<http://www.fao.org/inpho/content/documents//vlIbrary/t0567e/T0567E00.htm>. Acesso em: 25 Jan. 2009.

KANEMITSU, T.; MIYAGAWA, K. Calorimetrics studies on swelling of rice. I. Swelling of rice grain and rice powder. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 51, sn, p. 330-336, 1974.

KAR, N.; JAIN, R. K.; SRIVASTAV, P. P. Parboiling of dehusked rice. **Journal of Food Engineering**, London, v. 39, n. 1, p. 17-22, 1999.

KATO, H.; OHTA, T.; TSUGITA, T.; HOSAKA, Y. Effect of parboiling on texture and flavor components of cooked rice. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 31, n. 4, p. 818-823, 1983.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a genetic resource perspective. **Food Chemistry**, London, v. 80, n. 4, p. 589–596, 2003.

KOIDE, S.; TAKKO, T.; NISHIYAMA, Y. Open crack formation in rice with cracked endosperm and cracked surface during soaking. **Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology**, Tokyo, v. 48, n. 1, p. 69–72, 2001.

KUNZE, O. R.; CHOUDHURY, M. S. U. Moisture adsorption related to the tensile strength of rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 49, n. 6, p. 684-696, 1972.

LACERDA, D. B. C. L. **Estabilidade e qualidade do farelo de arroz sob diferentes tratamentos térmicos e aplicação do produto extrusado em biscoito**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

LAI, H. M. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. **Food Chemistry**, Saint Paul, v. 72, p. 455- 463, 2001.

LAMBERTS, L.; BRIJS, K.; MOHAMED, R.; VERHELST, N.; DELCOUR, J. A. Impact of Browning Reactions and Bran Pigments on Color of Parboiled Rice. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 54, n. 26, p. 9924-9929, 2006a.

LAMBERTS, L.; DE-BIE, E.; DERYCKE, V.; VERAVERBEKE, W. S.; DE-MAN, W.; DELCOUR, J. A. Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n. 1, p. 80-85, 2006b.

LAM-SANCHEZ, A; SANTOS, J. E. dos; TAKAMURA, K; TREPTOW, R. M. de O.; OLIVEIRA, J. E. D. de. Estudos nutricionais com arroz *(Oryza sativa,L.).* **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 5, n. 1, p. 37-38, 1993.

LANNA, A. C.; FERREIRA, C. M.; BARRIGOSSI, J. A. F. **Impacto ambiental e econômico da cultura de arroz de terras altas:** caso da cultivar BRS Primavera. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2003. 4p. (Comunicado Técnico, 58).

LARBIER, M.; LECLERCQ, B.; WISEMAN, J. **Nutrition and Feeding of Poultry**. Notthingham: Nottingham University Press, 1994. 306p.

LEQUERICA, J. L.; TORTOSA, E. Sancochado de aroces cultivados em España. **Revista de Agroquímica e Tecnologia de Alimentos**, Valencia, v. 1, n. 1, p. 42-57, 1977.

LEELAYUTHSOONTORN, P.; THIPAYARAT, A. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. **Food Chemistry**, Saint Paul, v. 96, n. 4, p. 606–613, 2006.

LIMA, C. H. A. M. de.; COBUCCI, R. M. A.; BASSINELO, P. Z.; BRONDANI, C.; COELHO, N. R. A. **Seleção de treinamento de uma equipe de provadores para avaliação**

sensorial de diferentes cultivares de arroz. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 23).

LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. High-temperature, short-time extrusion cooking. In: POMERANZ, Y. **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul: AACC, 1981. v. 4, p.145-235.

LOPES, A. M. **BRS Sertaneja: cultivar precoce de arroz para terra firme do Estado do Pará.** Belém: Embrapa, 2007. 4p. (Comunicado Técnico, 198).

LUMEN, B. O.; CHOW, H. Nutritional quality of rice endosperm. In: LUH, B. S. (Ed.). **Rice utilization.** 2. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995. v. 2, cap. 15, p. 363-395.

LUZ, M. L. G. S.; TREPTOW, R. O. Caracterização sensorial de arroz parboilizado submetido a diversas condições de secagem complementar. **Cadernos de Ciências e Tecnologia**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 56-63, 1994.

MARSHALL, W. E.; WADSWORTH, J. I.; VERMA, L. R.; VELUPILLAI, L. Determining the degree of gelatinization in parboiled rice: comparison of a subjective and objective method. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, n. 2, p. 226–230, 1993.

MARTINÉZ, C.; CUEVAS, F**. Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz:** guia de estúdio para ser usada como complemento de la unidad audititorial sobre el mismo tema. 3. ed. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 73 p.

MARTINEZ, E. S. M. **Efeito de algumas variáveis operacionais nas características de qualidade do arroz parboilizado convencionalmente e por microondas**. 151f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

MARUYAMA, E.; SAKAMOTO, K. A basic study on cooking of rice (Part 1): the influence of rice soaking by hot water. **Journal of Home Economics of Japan**, Tokyo, v. 43, n. 2, p. 97-103, 1992.

MASKAN. M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, London, v. 48, n. 2, p. 169-175, 2001.

MATSUO, T,; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. Science of the rice plant: Physiology. v. 2. Nosan Gyoson Bunda Kyokai. Tokyo. p. 461- 483, 1995.

MENEZES, V. G.; SILVA, P. R. F.; CARMONA, F. R.; CARLOS, H. M. Interferência do arroz vermelho no rendimento de engenho de cultivares de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 27-30, 1997.

MERRIL, A. L.; WATT, B. K. **Energy value of foods**: basis and derivation. Washington: United States Departament of Agriculture, 1973. 105 p.

MIAH, M. A. K.; HAQUE, A.; DOUGLASS, M. P.; CLARKE, B. Parboiling of rice, Part I: Effect of hot soaking time on quality of milled rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 5, p. 527–537, 2002a.

MIAH, M. A. K.; HAQUE, A.; DOUGLASS, M. P.; CLARKE, B. Parboiling of rice. Part II: Effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 5, p. 539–545, 2002b.

MINOLTA. **Precise color communication**: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co., Ltda. 1994.

MIRANDA, M. Z. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral**. 216f. Tese (Doutorado em tecnologia de alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. **Journal of Food Engineering**, London, v. 73, n. 3, p. 253–259, 2006.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. **Journal of Food Engineering**, London, v. 80, n. 1, p. 119-125, 2007.

MOHORIC, A.; VERGELDT, F.; GERKEMA, E.; DALEN, G. V.; VAN DEN, L. R.; VAN VLIET, L. J.; HENK VAN, C.; DUYNHOVEN, J. V. The effect of rice kernel microstructure on cooking behaviour: A combined l-CT and MRI study. **Food Chemistry**, Easton, v. 115, n. 4, p. 1491-1499, 2009.

MORAIS, O. P.; CASTRO, E. M.; SOUZA, N. R. G.; PRABHU, A. S.; BASSINELLO, P. Z.; FONSECA, J. R. **Cultivares de arroz de terras altas para o Mato Grosso**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 8 p. (Circular Técnica, 68).

NELSON, D. L.; COX. M. M. **Lehninger princípios de** b**ioquímica.** 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2002. p.233.

NITZKE, J. A.; BIEDRZYCKI, A. **Terra de arroz**. Porto Alegre: ICTA-UFRGS, 2004. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus/terradearroz/curiosidades.htm>. Acesso em: 26 nov. 2007.

OKUNO, M.; ADACHI, K. Relationship between physical properties and water absorption characteristics of milled rice. **Japanese Journal of Crop Science**, Tokyo, v. 61, n. 2, p. 244–250, 1992.

OLIVEIRA, M. G. de C.; BASSINELLO, P. Z.; DEVILLA, I. A.; PENHA, W. F. Composição mineral das diferentes proporções da mistura de arroz tipo 1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: CONBEA, 2007.

OLIVEIRA, M.; NUNES, B. R.; PICH, S.; LEAL, O. A.; OLIVEIRA, L. C.; GONÇALVES, P. R.; GULARTE, M. A.; ELIAS, M. C. Controle do pH na água de encharcamento na parboilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., 2005, Santa Maria. **Anais...** .Santa Maria: SOSBAI, 2005. v. 2. p. 339-342.

ONG, M. H.; BLANSHARD, J. M. V. Texture determinants in cooked, parboiled rice I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. **Journal of Cereal Science**, London, v. 21, n. 3, p. 251- 260, 1995.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 467p.

PRACHAYAWARAKORN, S.; SAWANGDUANPEN, S.; SAYNAMPHEUNG, S.; POOLPATARACHEWIN, T.; SOPONRONNARIT, S.; NATHAKARAKULE, A. Kinetics of colour change during storage of dried garlic slices as affected by relative humidity and temperature. **Journal of Food Engineering**, London, v. 62, n. 1, p. 1-7, 2004.

PRIETO, R P. **Contribuição ao estudo do comportamento de 6 variedades de arroz *(Oriza sativa L.)* no processo de parboilização**. 153p. Dissertação de Mestrado - Escola Politecnica - USP, 1981.

QUEIROZ, M. I.; KOETZ, P. R. Caracterização do efluente da parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 3, n. 3, p. 139-143, 1997.

RADHIKA REDDY, K.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, K. R. The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. **Carbohydrate Polymers,** Barking, v. 22, n. 4, p. 267–275, 1993.

RAGHAVENDRA, S. N.; JULIANO, B. O. Effect of parboiling on some physicochemical properties of rice. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 18, n. 2, p. 289-294, 1970.

RAMESH, M.; ZAKIUDDIN ALI, S.; BHATTACHARYA, K. R. Influence of parboiling on rice starch structure and cooked-rice texture. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 30, n. 3, p. 337-344, 1999.

REID, J. D.; SIEBENMORGEN, T. J.; MAUROMOUSTAKOS, A. Factors affecting the slope of head rice yields vc. Degree of milling. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 75, n. 5, p. 738-741, 1998.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F.; **Planejamento de experimentos e otimização de processos:** uma estratégia seqüencial de planejamentos. 1. ed. Campinas: Casa do Pão Editora, 2005. 326p.

ROMBALDI, C. V. **Condições de secagem e tempo de armazenamento na qualidade industrial do arroz.** 124p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pelotas: Pelotas, 1988.

ROMBALDI, C. V.; ELIAS, M. C. Defeitos graves de classificação comercial em grãos de arroz irrigado, submetidos a duas condições de secagem intermitente e armazenados durante cinco meses no sistema convencional. In: REUNIÃO TÉCNICA DO ARROZ IRRIGADO, 18. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, IRGA, 1989. p. 582-586.

SEKI, C.; KAINUMA, Y. A study of rice cooking. Part II: Soaking time as a factor controlling rice cooking. **Journal of Home Economics of Japan**, Tokyo, v. 33, p. 228–234,

1982.

SHIMIZU, N.; HAQUE, M. A.; ANDERSSON, M.; KIMURA, T. Measurement and fissuring of rice kernels during quasi-moisture sorption by image analysis. **Journal of Cereal Science**, London, v. 48, n. 1, p. 98–103, 2008.

SILVA, L. P. ; NÖRNBERG, L. J. ; EMANUELLI, T. ; FAGUNDES, C. A. A. ; DENARDIN, C. C. ; ORTOLAN, F. L. . Efeito da parboilização do arroz em medidas bromatológicas de interece nutricional. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ DE CLIMA TEMPERADO. 3. Punta del Este. **Conferência...** Intituto Nacional de Investigación Agropecuaria - INIA, 2003. v. 1.

SILVA, S. M. S.; MURA J.D.P. **Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia**. São Paulo: Roca, 2007. p. 77-112.

SINGH, S.; KALIA, M.; MALHOTRA, S. R. Effect of parboiling, hand-pounding and machine-milling on chemical composition of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 36, n. 5, p. 434-435, 1999.

SRIDHAR, B. S.; MANOHAR, B. Hydration kinetics and energy analysis of parboiling indica paddy. **Biosystems Engineering**, London, v. 85, n. 2, p. 173–183, 2003.

STATISTICA for Windows (2002) Software**.**Version 6: Statsoft**,** Tulsa**,** OK**,** USA**,** v**.**II licenciado n**.**1101.

STORCK, C. R.; SILVA, L. P.; COMARELLA, C. G. Process influence on nutritional composition of rice grains. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v. 16, n. 3, p. 259-264, 2005.

STORCK, C. R. **Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SUBRAMANIAN, V.; DAKSHINAMURTHY, A. Nutrient losses during parboiling. **IIRiso**. v. 26, n. 4, p. 337-340, 1977.

SUJATHA, S. J.; RASHEED AHMAD, P.; RAMA BHAT, P. Physicochemical properties and cooking qualities of two varieties of raw and parboiled rice cultivated in the coastal region of Dakshina Kannada, India. **Food Chemistry**, London, v. 86, n. 2, p. 211-216, 2004.

THAKUR, A. K.; GUPTA, A. K. Water absorption characteristics of paddy, brown rice and husk during soaking. **Journal of Food Engineering**, London, v. 75, n. 2, p. 252-257, 2006.

THE SAS SYSTEM for Windows 3.95 – Release 6.08. **SAS Institute, Inc.** Cary, NC, USA, 1992.

TULEY, L. The rice revolution. **National Food Review**, Washington, v. 19, n. 5, p. 13–14, 1992.

USDA - U.S. **Department of Agriculture, Agricultural Research Service.** 2005. USDA

National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18. Nutrient Data Laboratory. Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR16/sr16.
html>. Acesso em: 13 mai. 2008.

VELUPILLAI, L.; PANDEY, J. P. The impact of fissured rice on mill yields. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 67, n. 2, p. 118-124, 1990.

VIDAL, V.; PONS, B.; BRUNNSCHWEILER, J.; HANDSCHIN, S.; ROUAU, X.; MESTRES, C. Cooking behavior of rice in relation to kernel physicochemical and structural properties. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 2, p. 336 - 346, 2007.

VIEIRA, D. C.; BIERHALS, V. da S.; MACHADO, V. G.; DORS, G. C; FAGUNDES, C. A.; FURLONG, E. B. **Estudo de características físico-química de produtos de arroz provenientes de campos experimentais e do comércio da região Sul do RS.** Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20070822215830.pdf>. Acesso em: 02 maio 2008.

VIEIRA, D. C.; BIERHALS, V. da S.; MACHADO, V. G.; FURLONG, E. **Caracterização físico-química em arroz e derivados de um variedade recomendada para plantio.** Disponível em: http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2006/CRICTE%202006/trabalhos/247291-fp-01-09-61227.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2009.

VIEIRA, N. R. de A.; CARVALHO, J. L. V. de. Qualidade tecnológica. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT.ANA, E. P. (eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 582-604.

VIEIRA, N. R. de. A. Qualidade de grãos e padrões de classificação de arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 94-100, 2004.

WAKELING, I. N.; MACFIE, H. J. H. Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of k samples from t may be tested. **Food Quality and Preference**, Oxford, v. 6, n. 4, p. 299-308, 1995.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WASZCZYNSKYJ, N.; RAO, C.S.; DA SILVA, R. S. F. Extraction of proteins from wheat bran: application of carbohydrates. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 58, n. 4, p. 264-266, 1981.

WIMBERLY, J. E. **Technical hand book for the paddy rice post harvest industry in developing countries**. Manila: International Rice Research Institute, 1983. p. 101-116.

XAVIER, I. J.; ANTHONI RAJ, S. Enzyme changes in rough rice during parboiling. **Journal of Food Biochemistry**, Westport, v. 19, n. 5, p. 381-389, 1996.

YANASE, H.; OHTSUBO, K. Relation between rice milling methods and palatability of cooked rice (Part 3): milling and cooking qualities of brown rice with a low moisture content. **Report of National Food Research Institute**, v. 49, p.1-5, 1986.

ZHAI, C. K.; LU, C. M.; ZHANG, X. Q. ; SUN, G. J. ; LORENZ, K. J. Comparative study on nutritional value of Chinese and North American wild rice. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 14, n. 4, p. 371-382, 2001.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 8, p. 849-868, 2002.

ANEXO A: Protocolo para análise do teor de amilose aparente conforme metodologia citada por Martinéz e Cuevas (1989), adaptada pela EMBRAPA Arroz e Feijão

▪ Preparo das amostras:

- Separar em torno de 90 grãos de arroz inteiros, polidos e sadios (não podem estar danificados, picados por inseto, manchados, ardidos, etc), limpá-los com um pano de algodão, se necessário, para remover resíduos de farelo;
- Moer os grãos em moinho (Neste trabalho utilizou-se o Laboratory mill 3100 – Perten);
- Embalar as amostras em saquinhos plásticos de polietilieno, devidamente identificadas.

▪ Preparo das soluções

Solução de Iodo:

- Pesar 20 g de iodeto de potássio (KI), utilizando espátula de plástico ou porcelana, em béquer de 100 mL e adicionar um pouco de água deionizada;
- Pesar 2 g de iodo metálico (I), utilizando espátula de plástico ou porcelana, em béquer de 50 mL;
- Transferir o I para o béquer contendo o KI, raspando bem com uma espátula e posteriormente passando água destilada (proceder o mais rápido possível por causa da alta volatilização do I);
- Tampar e envolver todo o béquer com papel alumínio para proteger contra a luz e evitar a volatilização do I;
- Colocar o béquer em uma placa agitadora por 30 min para diluir o I;
- Transferir para um balão volumétrico âmbar e completar o volume para 1000 mL.

Obs.: A solução pode ser preparada para ser utilizada no período máximo de uma semana, armazenada em vidro âmbar.

Solução de ácido acético 1 N:

- Em balão de 1000 mL contendo um pouco de água destilada, transferir 60 mL de ácido acético;
- Completar o volume e agitar o balão.

Solução de hidróxido de sódio 1N:

- Pesar 40 g de NaOH em béquer de plástico, adicionar a água destilada aos poucos, agitando sempre com uma espátula de plástico para diluir as pastilhas;
- Esfriar colocando o béquer dentro de uma bacia contendo água gelada;
- Após, transferir para balão de 1000 mL e completar com água destilada.

Álcool etílico 95%:

- Caso o álcool disponível seja 99,8% deve-se diluí-lo para 95%, medindo 952 mL de álcool etílico e adicionando 48 mL de água destilada, para o preparo de 1 L.

Obs.: Recomenda-se fazer as soluções na quantidade de análises para uma semana.

▪ Procedimento para análise:

- Pesar, em duplicata, 100 mg de amostra em balões volumétricos de 100 mL, utilizando "barquinho" de papel vegetal, para evitar a perda na pesagem, bem como das testemunhas, com teores de amilose alto, intermediário e baixo (Colômbia 1, BBT 50, IR 8) e do padrão de amilose (Sigma, A-0512);
- Acrescentar 1 mL de álcool etílico 95% e agitar vagarosamente para dissolver bem as partículas de farinha que ficam agregadas nas paredes do balão, utilizando o Dosimat 765;
- Acrescentar 9 mL da solução de NaOH 1N, utilizando dispensador;
- Fechar os balões com tampa e deixar "overnight" para gelatinizar o amido (15 h da tarde até 8 h da manhã do outro dia, aproximadamente);
- Completar o volume dos balões com água destilada, tampar e agitar;
- Tomar 5 mL de cada um dos balões e transferir para outros balões de 100 mL devidamente identificados;
- Com o Dosimat 765 adicionar 1 mL de ácido acético e 2 mL da solução de iodo, que ao reagir com o amido, forma um complexo de coloração azul;
- Completar o volume com água destilada, homogeneizar e deixar em repouso durante 30 min no escuro, utilizando os panos pretos;
- Realizar a leitura da absorbância em espectrofotômetro calibrado para um comprimento de onda de 620 nm.

▪ Construção da curva padrão:

- Pesar em duplicata 40 mg de amilose (padrão) em balão de 100 mL;
- Seguir os mesmos passos do item procedimento para análise, do 2° ao 6° parágrafo;
- Identificar 6 balões de 50 mL, em duplicata, (A1 até A6) e 6 balões para o branco (B1 até B6), sendo que o B5 deve-se fazer em duplicata, pois é utilizado para zerar o espectrofotômetro (Neste trabalho utilizou-se o Femto, 700 Plus) na leitura das amostras;
- Adicionar as quantidades de reagentes nos balões volumétricos conforme apresentado na Tabela 9A;

Tabela 9A – Quantidade dos reagentes necessários para a construção da curva-padrão

Diluição (mL)	Pontos da curva padrão											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Sol. padrão de amilose	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0	0	0	0	0	0
Ácido acético	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Iodo	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2

- Completar os balões volumétricos com água destilada, agitar e deixar em repouso durante 30 min no escuro;
- Realizar a leitura da absorbância em espectrofotômetro calibrado para um comprimento de onda de 620 nm, sendo que ao fazer a leitura de cada diluição (A1 até A6) deve-se zerar com o branco correspondente;
- Para elaborar a curva, utilizou-se o programa Excel;

- Colocar no eixo do x (abscissa) as concentrações de amilose nas diferentes diluições e no eixo do y (ordenada) os valores de absorbância. A equação de reta obtida através da curva é do tipo linear e relaciona a absorbância lida (y) com a concentração dos padrões (x). Através da equação de reta da curva padrão, pôde-se calcular a concentração de amilose de cada amostra, pelo valor de absorbância lido através da Equação 6A.

$$C = (Abs \pm b / a) * Fd \qquad \text{(Equação 6A)}$$

Onde:

C = concentração em mg/mL;

b = coeficiente angular;

a = coeficiente linear;

Fd = fator de diluição igual a 20.

- Averiguar se o R^2 está o mais próximo de 1, caso esteja abaixo de 0,990, deve-se repetir;
- Ler os valores de absorbância das amostras, zerando-se o equipamento com o B5 a cada bandeja lida.

· <u>Cálculo do percentual de amilose</u>:

- O percentual de amilose é calculado pela Equação 6B.

$$\text{Amilose (\%)} = Abs_i * F_c \qquad \text{(Equação 6B)}$$

Onde:

Abs_i: absorbância lida de cada amostra;

F_c: fator de conversão que se obteve ao elaborar a curva padrão.

▪ Valores de referência

As faixas para classificar as amostras de acordo com o teor de amilose são apresentadas na Tabela 9B

Tabela 9B. Classificação das amostras quanto ao teor de amilose

Classificação	Percentual de amilose (%)
Teor de amilose alto	28 a 32
Teor de amilose intermediário	23 a 27
Teor de amilose baixo	8 a 22

Fonte: Martinez e Cuevas (1989)

ANEXO B. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS RESPOSTAS OBTIDAS PARA A CV. BRS PRIMAVERA

Anexo B1. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de índice de absorção de água (IAA) dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 32{,}4412 + 2{,}1245x_1 - 0{,}0206x_1^{\,2} + 1{,}0826x_2 - 0{,}6228x_2^{\,2} + 0{,}1614x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9811

Coeficiente de variação (C.V = %) = 1,34

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	45.3489	0.9311	123.0	0.0001*
Quadrática	2	2.3317	0.0479	6.324	0.0427*
Interação	1	0.1042	0.0021	0.565	0.4859 ns
Total da regressão	5	47.7848	0.9811	51.845	0.0003*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.6094	0.2031	1.301	0.4624 ns
Erro Puro	2	0.3123	0.1561		
Total do erro	5	0.9217	0.1843		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente Estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	32.4412	0.2479		0.0000*
X_1	1	2.1245	0.1520		0.0000*
X_2	1	1.0826	0.1520		0.0008*
X_1*X_1	1	-0.0206	0.1814		0.9141 ns
X_2*X_1	1	0.1614	0.2147		0.4859 ns
X_2*X_2	1	-0.6228	0.1814		0.0186*

Anexo B2. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de índice de abertura da casca (IAC) dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 42{,}3277 + 7{,}9085x_1 + 1{,}3686x_1^{\,2} + 3{,}6224x_2 - 2{,}9906x_2^{\,2} + 0{,}0833x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9458

Coeficiente de variação (C.V = %) = 6,81

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	603.5318	0.8340	38.435	0.0009*
Quadrática	2	80.8171	0.1117	5.147	0.0611 ns
Interação	1	0.0278	0.0000	0.0035	0.9549 ns
Total da regressão	5	684.3767	0.9458	17.433	0.0035*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	38.3678	12.7893	28.777	0.0338*
Erro Puro	2	0.8888	0.4444		
Total do erro	5	39.2567	7.8513		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente Estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	42.3277	1.617730		0.0000*
X_1	1	7.9085	0.992142		0.0005*
X_2	1	3.6224	0.992142		0.0147*
X_1*X_1	1	1.3686	1.183883		0.2999 ns
X_2*X_1	1	0.0833	1.401012		0.9549 ns
X_2*X_2	1	-2.9906	1.183883		0.0528 ns

Anexo B3. Modelo de regressão completo e análise de variância para grau de polimento dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_i = 8{,}9020 + 0{,}1278x_1 - 1.2595x_1^{\,2} - 0{,}2196x_2 - 0{,}0196x_2^{\,2} - 0{,}5025x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8502

Coeficiente de variação (C.V = %) = 7,86

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	0.5152	0.0393	0.656	0.5587 ns
Quadrática	2	9.6245	0.7339	12.247	0.0118 *
Interação	1	1.0100	0.0770	2.570	0.1698 ns
Total da regressão	5	11.1497	0.8502	5.675	0.0398 *
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	1.8973	0.6324	18.767	0.0510 ns
Erro Puro	2	0.0674	0.0337		
Total do erro	5	1.9647	0.3929		

PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**	**Prob > | T |**
Média	1	8.9020	0.3619	0.0000 *
X_1	1	0.1278	0.2220	0.5895 ns
X_2	1	-0.2196	0.2220	0.3678 ns
X_1*X_1	1	-1.2595	0.2648	0.0051 *
X_2*X_1	1	-0.5025	0.3134	0.1698 ns
X_2*X_2	1	-0.0196	0.2648	0.9439 ns

Anexo B4. Modelo de regressão completo e análise de variância para renda do benefício dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_i = 72{,}7638 + 0{,}4846x_1 + 1{,}0585x_1^{\,2} - 0{,}1146x_2 - 0{,}1294x_2^{\,2} + 0{,}1308x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8627

Coeficiente de variação (C.V = %) = 0,75

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	1.9776	0.1797	3.272	0.1235 ns
Quadrática	2	7.4499	0.6768	12.326	0.0117 *
Interação	1	0.0685	0.0062	0.227	0.6542 ns
Total da regressão	5	9.4960	0.8627	6.285	0.0325 *
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	1.2880	0.4293	3.851	0.2130 ns
Erro Puro	2	0.2230	0.1115		
Total do erro	5	1.5110	0.3022		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	72.7638	0.3174		0.0000 *
X_1	1	0.4846	0.1946		0.0552 ns
X_2	1	-0.1146	0.1946		0.5816 ns
X_1*X_1	1	1.0585	0.2323		0.0061 *
X_2*X_1	1	0.1308	0.2749		0.6542 ns
X_2*X_2	1	-0.1294	0.2323		0.6016 ns

Anexo B5. Modelo de regressão completo e análise de variância para rendimento de inteiros dos grãos da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 66{,}3202 - 0{,}2938x_1 + 1{,}4578x_1^{\,2} - 1{,}2963x_2 + 0{,}0385x_2^{\,2} + 0{,}5092x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9559

Coeficiente de variação (C.V = %) = 0,75

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	14.0917	0.4820	27.315	0.0020*
Quadrática	2	12.8179	0.4384	24.846	0.0025*
Interação	1	1.0370	0.0355	4.020	0.1013 ns
Total da regressão	5	27.9466	0.9559	21.669	0.0021*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.5273	0.1758	0.461	0.7386 ns
Erro Puro	2	0.7624	0.3812		
Total do erro	5	1.2897	0.2579		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	66.3202	0.2932		0.0000*
X_1	1	-0.2938	0.1798		0.1632 ns
X_2	1	-1.2963	0.1798		0.0008*
X_1*X_1	1	1.4578	0.2146		0.0011*
X_2*X_1	1	0.5092	0.2539		0.1013 ns
X_2*X_2	1	0.0385	0.2146		0.8646 ns

Anexo B6. Modelo de regressão completo e análise de variância para os grãos danificados da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 19{,}4776 - 0{,}8402x_1 + 0{,}0195x_1^{\,2} + 4{,}3419x_2 + 1{,}4782x_2^{\,2} - 0{,}6000x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8761

Coeficiente de variação (C.V = %) = 10,69

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	156.0006	0.8006	16.149	0.0066*
Quadrática	2	13.2751	0.0681	1.374	0.3345 ns
Interação	1	1.4400	0.0074	0.298	0.6085 ns
Total da regressão	5	170.7157	0.8761	7.069	0.0256*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	23.9630	7.9877	85.582	0.0116*
Erro Puro	2	0.1867	0.0933		
Total do erro	5	24.1497	4.8299		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	19.4776	1.2688		0.0000*
X_1	1	-0.8402	0.7782		0.3295 ns
X_2	1	4.3419	0.7782		0.0025*
X_1*X_1	1	0.0195	0.9286		0.9841 ns
X_2*X_1	1	-0.6000	1.0989		0.6085 ns
X_2*X_2	1	1.4782	0.9286		0.1723 ns

Anexo B7. Modelo de regressão completo e análise de variância para o grão banana da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 4{,}3327 + 1{,}3886x_1 - 0{,}5299x_1^{\,2} + 0{,}8312x_2 - 0{,}7814x_2^{\,2} - 0{,}2000x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9764

Coeficiente de variação (C.V = %) = 10,29

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	20.8915	0.8149	86.331	0.0001*
Quadrática	2	3.9799	0.1552	16.446	0.0063*
Interação	1	0.1600	0.0062	1.322	0.3022 ns
Total da regressão	5	25.0314	0.9764	41.375	0.0005*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.5783	0.1928	14.458	0.0654 ns
Erro Puro	2	0.0267	0.0133		
Total do erro	5	0.6050	0.1210		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	4.3327	0.2008		0.0000*
X_1	1	1.3886	0.1231		0.0001*
X_2	1	0.8312	0.1231		0.0011*
X_1*X_1	1	-0.5299	0.1470		0.0154*
X_2*X_1	1	-0.2000	0.1739		0.3022 ns
X_2*X_2	1	-0.7814	0.1470		0.0031*

Anexo B8. Análise de variância para grãos manchados e picados da cv. BRS Primavera

Fontes de variação	**G.L**	**S.Q.**	**QM**	**F**	**Prob>F**
Média	1	1582,27	1582,27	223,5997	0,0000
Tratamento	10	77,127	7,713	1,0899	0,3927
Repetição	4	12,545	3,136	0,4432	0,7766
Resíduo	40	283,055	7,076		

Anexo B9.1 - Modelo de regressão completo e análise de variância para o grão não gelatinizado da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 0{,}0016 - 0{,}1710x_1 - 0{,}0017x_1^{\,2} - 0{,}4538x_2 + 0{,}4007x_2^{\,2} + 0{,}2000x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,7809

Coeficiente de variação (C.V = %) = 141,53

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	1,8762	0,4849	5,534	0.0540
Quadrática	2	0,9853	0,2547	2,906	0,1454
Interação	1	0,1600	0,0414	0,944	0,3759
Total da regressão	5	3,0215	0,7809	3,565	0,0947
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0,8476	0,2825	8,48E15	0.0000
Erro Puro	2	6,6611E-17	3,3305E-17		
Total do erro	5	0,8476	0,1695		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	0,0016	0,2377		0,9949
X_1	1	-0,1710	0,1458		0,2936
X_2	1	-0,4538	0,1458		0,0265
X_1*X_1	1	-0,0017	0,1740		0,9926
X_2*X_1	1	0,2000	0,2059		0,3759
X_2*X_2	1	0,4007	0,1740		0,0695

Anexo B9.2. Análise de variância para o grão não gelatinizado da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

Fontes de variação	**G.L**	**SQ**	**QM**	**F**	**Prob>F**
Média	1	4,6545	4,6545	24,6154	0,0000
Tratamento	10	19,3454	1,9345	10,2708	0,0000
Repetição	4	0,4364	0,1091	0,5769	0,6810
Resíduo	40	7,5636	0,1891		

Anexo B10. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de cor da farinha (luminosidade – L*) da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 84{,}8523 - 0{,}8695x_1 - 0{,}4217x^{\,2} - 0{,}1743x_2 + 0{,}3479x_2^{\,2} - 0{,}0267x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9378

Coeficiente de variação (C.V = %) = 0,40

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	6.2728	0.6818	27.391	0.0020*
Quadrática	2	2.3528	0.2557	10.274	0.0169*
Interação	1	0.0028	0.0003	0.0249	0.8809 ns
Total da regressão	5	8.6285	0.9378	15.071	0.0049*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.5537	0.1846	19.564	0.0490*
Erro Puro	2	0.0189	0.0094		
Total do erro	5	0.5725	0.1145		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	84.8523	0.1954		0.0000*
X_1	1	-0.8695	0.1198		0.0008*
X_2	1	-0.1743	0.1198		0.2054 ns
X_1*X_1	1	-0.4217	0.1430		0.0319*
X_2*X_1	1	-0.0267	0.1692		0.8809 ns
X_2*X_2	1	0.3479	0.1430		0.0591 ns

Anexo B11. Modelo de regressão completo e análise de variância para a coordenada de cromaticidade a* da cor da farinha da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 0{,}8136 - 0{,}1736x_1 + 0{,}0081x_1^{\,2} + 0{,}0307x_2 - 0{,}1109x_2^{\,2} - 0{,}0025x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8761

Coeficiente de variação (C.V = %) = 13,01

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	0.2479	0.6645	13.409	0.0098*
Quadrática	2	0.0789	0.2115	4.268	0.0829 ns
Interação	1	0.0000	0.0001	0.0027	0.9605 ns
Total da regressão	5	0.3269	0.8761	7.071	0.0256*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.0460	0.0153	153.4	0.0065*
Erro Puro	2	0.0002	0.0001		
Total do erro	5	0.0462	0.0092		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	0.8136	0.0555		0.0000*
X_1	1	0.1736	0.0340		0.0038*
X_2	1	0.0307	0.0340		0.4082 ns
X_1*X_1	1	0.0081	0.0406		0.8493 ns
X_2*X_1	1	-0.0025	0.0481		0.9605 ns
X_2*X_2	1	-0.1109	0.0406		0.0413*

Anexo B12. Modelo de regressão completo e análise de variância para coordenada de cromaticidade b* da cor da farinha da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 10{,}6753 + 0{,}8340x_1 + 0{,}2374x_1^{\,2} + 0{,}0339x_2 - 0{,}2472x_2^{\,2} - 0{,}0567x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9450

Coeficiente de variação (C.V = %) = 2,58

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	5.5567	0.8082	36.760	0.0010*
Quadrática	2	0.9282	0.1350	6.141	0.0450*
Interação	1	0.0128	0.0019	0.170	0.6972 ns
Total da regressão	5	6.4978	0.9450	17.194	0.0036*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.3157	0.1052	3.387	0.2363 ns
Erro Puro	2	0.0621	0.0311		
Total do erro	5	0.3779	0.0756		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	10.6753	0.1587		0.0000*
X_1	1	0.8340	0.0973		0.0004*
X_2	1	0.0339	0.0973		0.7417 ns
X_1*X_1	1	0.2374	0.1162		0.0964 ns
X_2*X_1	1	-0.0567	0.1375		0.6972 ns
X_2*X_2	1	-0.2472	0.1162		0.0866 ns

Anexo B13. Modelo de regressão completo e análise de variância para diferença de cor (ΔE) da cor da farinha da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 6{,}7443 + 1{,}2186x_1 + 0{,}4657{x_1}^2 + 0{,}1520x_2 - 0{,}4322{x_2}^2 - 0{,}0233x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9785

Coeficiente de variação (C.V = %) = 3,82

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	12.0295	0.7733	90.051	0.0001*
Quadrática	2	3.1895	0.2050	23.876	0.0028*
Interação	1	0.0022	0.0001	0.0327	0.8637 ns
Total da regressão	5	15.2213	0.9785	45.578	0.0004*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.3268	0.1089	30.569	0.0318*
Erro Puro	2	0.0071	0.0036		
Total do erro	5	0.3340	0.0668		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	6.7443	0.1492		0.0000*
X_1	1	1.2186	0.0915		0.0000*
X_2	1	0.1520	0.0915		0.1575 ns
X_1*X_1	1	0.4657	0.1092		0.0080*
X_2*X_1	1	-0.0233	0.1292		0.8637 ns
X_2*X_2	1	-0.4322	0.1092		0.0108*

Anexo B14. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais de Sólidos Totais Secos (mg/ L) da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 3777{,}9648 + 847{,}8574x_1 + 1801{,}6888x_2 + 371{,}7423x_1^{\,2} + 113{,}1235x_2^{\,2} + 402{,}9175x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9792

Coeficiente de variação (C.V = %) = 9,08

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	31625191	0.9370	112.4	0.0001*
Quadrática	2	774264	0.0229	2.751	0.1564 ns
Interação	1	649370	0.0192	4.615	0.0844 ns
Total da regressão	5	33048825	0.9792	46.975	0.0003*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	457987	152662	1.243	0.4748 ns
Erro Puro	2	245560	122780		
Total do erro	5	703547	140709		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	3777.9648	216.5688		0.0000*
X_1	1	847.8574	132.8200		0.0014*
X_2	1	1801.6888	132.8200		0.0000*
X_1*X_1	1	371.7423	158.4889		0.0659 ns
X_2*X_1	1	402.9175	187.5563		0.0844 ns
X_2*X_2	1	113.1235	158.4889		0.5073 ns

Anexo B15. Modelo de regressão completo e análise de variância para médias experimentais do pH da água de maceração da cv. BRS Primavera, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 6{,}4186 + 0{,}0979x_1 - 0{,}0246x_1^{\,2} - 0{,}5258x_2 - 0{,}2418x_2^{\,2} + 0{,}3033x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9288

Coeficiente de variação (C.V = %) = 3,44

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	2.2817	0.7087	24.868	0.0025*
Quadrática	2	0.3403	0.1057	3.709	0.1029 ns
Interação	1	0.3680	0.1143	8.022	0.0366*
Total da regressão	5	2.9900	0.9288	13.035	0.0068*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.2273	0.0758	73.931	0.0134*
Erro Puro	2	0.0020	0.0010		
Total do erro	5	0.2294	0.0459		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	6.4186	0.1237		0.0000*
X_1	1	0.0979	0.07587		0.2533 ns
X_2	1	-0.5258	0.07587		0.0010*
X_1*X_1	1	-0.0247	0.0905		0.7962 ns
X_2*X_1	1	0.3033	0.1071		0.0366*
X_2*X_2	1	-0.2418	0.0905		0.0443*

ANEXO C. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS RESPOSTAS OBTIDAS PARA A CV. BRS SERTANEJA

Anexo C1. Modelo de regressão completo e análise de variância para o índice de absorção de água (IAA) dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 32{,}6984 + 1{,}9211x_1 - 0{,}1876x_1^{\,2} + 0{,}6863x_2 - 0{,}3828x_2^{\,2} - 0{,}1265x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9800

Coeficiente de variação (C.V = %) = 1,15

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	33.1938	0.9536	119.4	0.0001*
Quadrática	2	0.8565	0.0246	3.080	0.1344 ns
Interação	1	0.0640	0.0018	0.460	0.5276 ns
Total da regressão	5	34.1143	0.9800	49.068	0.0003*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.6819	0.2273	33.991	0.0287*
Erro Puro	2	0.0134	0.0067		
Total do erro	5	0.6952	0.1390		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	32.6984	0.2153		0.0000*
X_1	1	1.9211	0.1320		0.0000*
X_2	1	0.6863	0.1320		0.0035*
X_1*X_1	1	-0.1876	0.1575		0.2871 ns
X_2*X_1	1	-0.1265	0.1864		0.5276 ns
X_2*X_2	1	-0.3828	0.1575		0.0594 ns

Anexo C2. Modelo de regressão completo e análise de variância para o índice de abertura da casca (IAC) dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 35{,}9961 + 8{,}7978x_1 + 2{,}0946x_1^{\,2} + 4{,}0884x_2 + 0{,}5018x_2^{\,2} + 0{,}0833x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8923

Coeficiente de variação (C.V = %) = 11,42

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	750.6972	0.8639	20.056	0.0041*
Quadrática	2	24.6499	0.0284	0.659	0.5573 ns
Interação	1	0.0278	0.0000	0.001	0.9708 ns
Total da regressão	5	775.3748	0.8923	8.286	0.0183*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	92.0188	30.6729	39.436	0.0248*
Erro Puro	2	1.5556	0.7778		
Total do erro	5	93.5744	18.7149		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	35.9961	2.4976		0.0000*
X_1	1	8.79781	1.5318		0.0022*
X_2	1	4.08841	1.5318		0.0444*
X_1*X_1	1	2.09461	1.8278		0.3037 ns
X_2*X_1	1	0.08331	2.1630		0.9708 ns
X_2*X_2	1	0.50181	1.8278		0.7947 ns

Anexo C3. Modelo de regressão completo e análise de variância para grau de polimento do benefício dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_i = 7{,}3027 - 0{,}9813x_1 + 0{,}2144x_1^{\,2} + 0{,}0818x_2 + 0{,}2219x_2^{\,2} + 0{,}3075x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9026

Coeficiente de variação (C.V = %) = 5,63

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	7.7335	0.8188	21.019	0.0037 ns
Quadrática	2	0.4131	0.0437	1.123	0.3956 *
Interação	1	0.3782	0.0400	2.056	0.2111 ns
Total da regressão	5	8.5249	0.9026	9.268	0.0144 *
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.4665	0.1555	0.686	0.6388 ns
Erro Puro	2	0.4533	0.2266		
Total do erro	5	0.9199	0.1840		

PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**	**Prob > | T |**
Média	1	7.3027	0.2476	0.0000 *
X_1	1	-0.9813	0.1519	0.0013 ns
X_2	1	0.0818	0.1519	0.6134 ns
X_1*X_1	1	0.2144	0.1812	0.2900 *
X_2*X_1	1	0.3075	0.2144	0.2111 ns
X_2*X_2	1	0.2219	0.1812	0.2752 ns

Anexo C4. Modelo de regressão completo e análise de variância para renda do benefício dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 76{,}5009 + 1{,}1728x_1 - 0{,}6937x_1^{\,2} + 0{,}0662x_2 + 0{,}0247x_2^{\,2} - 0{,}2350x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9438

Coeficiente de variação (C.V = %) = 0,54

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	11.0058	0.7296	32.452	0.0014*
Quadrática	2	3.0109	0.1996	8.878	0.0226*
Interação	1	0.2209	0.0146	1.303	0.3054 ns
Total da regressão	5	14.2376	0.9438	16.793	0.0038*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.7185	0.2395	3.704	0.2198 ns
Erro Puro	2	0.1293	0.0647		
Total do erro	5	0.8478	0.1696		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	76.5009	0.2377		0.0000*
X_1	1	1.1728	0.1458		0.0005*
X_2	1	0.0662	0.1458		0.6687 ns
X_1*X_1	1	-0.6937	0.1740		0.0105*
X_2*X_1	1	-0.2350	0.2059		0.3054 ns
X_2*X_2	1	0.0247	0.1740		0.8925 ns

Anexo C5. Modelo de regressão completo e análise de variância para o rendimento de inteiros dos grãos da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 75{,}4018 + 1{,}0506x_1 - 0{,}5828x_1^{\,2} + 0{,}2290x_2 - 0{,}5460x_2^{\,2} - 0{,}0300x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8781

Coeficiente de variação (C.V = %) = 0,77

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	9.2220	0.6751	13.840	0.0092*
Quadrática	2	2.7689	0.2027	4.156	0.0865 ns
Interação	1	0.0036	0.0003	0.0108	0.9212 ns
Total da regressão	5	11.9945	0.8781	7.200	0.0246*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	1.5834	0.5278	12.811	0.0733 ns
Erro Puro	2	0.0824	0.0412		
Total do erro	5	1.6658	0.3332		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	75.4018	0.3332		0.0000*
X_1	1	1.0506	0.2044		0.0036*
X_2	1	0.2290	0.2044		0.3134 ns
X_1*X_1	1	-0.5828	0.2439		0.0624 ns
X_2*X_1	1	-0.0300	0.2886		0.9212 ns
X_2*X_2	1	-0.5460	0.2439		0.0753 ns

Anexo C6. Modelo de regressão completo e análise de variância para os grãos danificados da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 8{,}9354 + 3{,}8392x_1 + 0{,}1551x_1^{\,2} + 3{,}1313x_2 + 1{,}7143x_2^{\,2} - 0{,}0500x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8592

Coeficiente de variação (C.V = %) = 25,67

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	195.7708	0.7898	14.024	0.0089*
Quadrática	2	17.1899	0.0694	1.231	0.3674 ns
Interação	1	0.0100	0.0000	0.001	0.9713 ns
Total da regressão	5	212.9708	0.8592	6.103	0.0345
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	34.5517	11.5172	66.445	0.0149*
Erro Puro	2	0.3467	0.1733		
Total do erro	5	34.8983	6.9797		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	8.9354	1.5253		0.0021*
X_1	1	3.8392	0.9354		0.0093*
X_2	1	3.1313	0.9354		0.0204*
X_1*X_1	1	0.1551	1.1162		0.8949 ns
X_2*X_1	1	-0.0500	1.3209		0.9713 ns
X_2*X_2	1	1.7143	1.1162		0.1852 ns

Anexo C7. Modelo de regressão completo e análise de variância para o grão banana da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 0{,}2649 + 1{,}5346x_1 + 0{,}9837x_1^{\,2} + 0{,}4789x_2 + 0{,}6819x_2^{\,2} - 0{,}0500x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9663

Coeficiente de variação (C.V = %) = 29,46

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	20.6126	0.7377	54.735	0.0004*
Quadrática	2	6.3778	0.2283	16.936	0.0059*
Interação	1	0.0100	0.0004	0.0531	0.8269 ns
Total da regressão	5	27.0003	0.9663	28.679	0.0011*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.9148	0.3049	22.870	0.0422*
Erro Puro	2	0.0267	0.0133		
Total do erro	5	0.9415	0.1883		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	0.2649	0.2505		0.3387 ns
X_1	1	1.5346	0.1536		0.0002*
X_2	1	0.4789	0.1536		0.0263*
X_1*X_1	1	0.9837	0.1833		0.0030*
X_2*X_1	1	-0.0500	0.2170		0.8269 ns
X_2*X_2	1	0.6819	0.1833		0.0137*

Anexo C8. Modelo de regressão completo e análise de variância dos grãos manchados e picados da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 3{,}5965 + 0{,}7670x_1 + 0{,}7780x_1^{\,2} + 1{,}9395x_2 + 1{,}9851x_2^{\,2} + 1{,}4000x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8579

Coeficiente de variação (C.V = %) = 26,18

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	34.6971	0.4590	8.073	0.0272*
Quadrática	2	22.3186	0.2952	5.193	0.0602 ns
Interação	1	7.8400	0.1037	3.648	0.1144 ns
Total da regressão	5	64.8557	0.8579	6.036	0.0352*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	9.4643	3.1548	4.929	0.1733 ns
Erro Puro	2	1.2800	0.6400		
Total do erro	5	10.7443	2.1489		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	3.5965	0.8463		0.0081*
X_1	1	0.7670	0.5190		0.1995 ns
X_2	1	1.9395	0.5190		0.0135*
X_1*X_1	1	0.7779	0.6194		0.2646 ns
X_2*X_1	1	1.4000	0.7329		0.1144 ns
X_2*X_2	1	1.9851	0.6194		0.0239*

Anexo C9.1 Modelo de regressão completo e análise de variância para os grãos não gelatinizados da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 0{,}0006 - 9{,}5108E-19x_1 - 0{,}0382x_1^{\,2} - 0{,}1061x_2 + 0{,}1126x_2^{\,2} + 5{,}3609E-19x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,5859

Coeficiente de variação (C.V = %) = 301,8449

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	0.089731	0.2742	1.655	0.2808 ns
Quadrática	2	0.102005	0.3117	1.882	0.2459 ns
Interação	1	0	0.0000	0	1.0000 ns
Total da regressão	5	0.191737	0.5859	1.415	0.3564 ns
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.1355	0.0452	6.78E15	0.0000*
Erro Puro	2	1.3336E-17	6.6678E-18		
Total do erro	5	0.1355	0.0271		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	0.0006	0.0950		0.9952 ns
X_1	1	-9.5108E-19	0.0583		1.0000 ns
X_2	1	-0.1061	0.0583		0.1285 ns
X_1*X_1	1	-0.038	0.0696		0.6061 ns
X_2*X_1	1	5.3609E-19	0.0823		1.0000 ns
X_2*X_2	1	0.1126	0.0696		0.1663 ns

Anexo C9.2 Análise de variância para o grão não gelatinizado da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

Fontes de variação	**G.L**	**S.Q.**	**QM**	**F**	**Prob>F**
Média	1	0,6545	0,6545	2,2500	0,1415
Tratamento	10	6,5454	0,6545	2,2500	0,0340
Repetição	4	1,1636	0,2909	1,0000	0,4189
Resíduo	40	11,6364	0,2909		

Anexo C10. Modelo de regressão completo e análise de variância para luminosidade L* da cor da farinha da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 83{,}4820 - 0{,}3731x_1 - 0{,}4024x_1^{\,2} + 0{,}2738x_2 + 0{,}3127x_2^{\,2} - 0{,}2316x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9364

Coeficiente de variação (C.V = %) = 0,28

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	1.7080	0.4038	15.872	0.0068*
Quadrática	2	2.0385	0.4819	18.943	0.0046*
Interação	1	0.2146	0.0507	3.989	0.1023 ns
Total da regressão	5	3.9612	0.9364	14.724	0.0052*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.2556	0.0852	12.686	0.0740 ns
Erro Puro	2	0.0134	0.0067		
Total do erro	5	0.2690	0.0538		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	83.4820	0.1339		0.0000*
X_1	1	-0.3731	0.0821		0.0062*
X_2	1	0.2738	0.0821		0.0207*
X_1*X_1	1	-0.4024	0.0980		0.0093*
X_2*X_1	1	-0.2316	0.1160		0.1023 ns
X_2*X_2	1	0.3127	0.0980		0.0242*

Anexo C11. Modelo de regressão completo e análise de variância para coordenada de cromaticidade a* da cor da farinha da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 0{,}8691 + 0{,}0839x_1 + 0{,}1271x_1^{\,2} - 0{,}0304x_2 - 0{,}0447x_2^{\,2} + 0{,}0533_1 x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9706

Coeficiente de variação (C.V = %) = 3,81

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	0.0635	0.2988	25.423	0.0024*
Quadrática	2	0.1315	0.6183	52.602	0.0024*
Interação	1	0.0114	0.0535	9.102	0.0295*
Total da regressão	5	0.2064	0.9706	33.031	0.0008*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.0057	0.0019	7.714	0.1169 ns
Erro Puro	2	0.0005	0.0002		
Total do erro	5	0.0062	0.0012		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	0.8690	0.0204		0.0000*
X_1	1	0.0839	0.0125		0.0011*
X_2	1	-0.0304	0.0125		0.0595 ns
X_1*X_1	1	0.1271	0.0149		0.0004*
X_2*X_1	1	0.0533	0.0177		0.0295*
X_2*X_2	1	-0.0447	0.0149		0.0303*

Anexo C12. Modelo de regressão completo e análise de variância para a coordenada de cromaticidade b* da cor da farinha da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 11{,}2639 + 0{,}3308x_1 + 0{,}3799x_1^{\,2} - 0{,}3461x_2 - 0{,}4375x_2^{\,2} + 0{,}3342x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9899

Coeficiente de variação (C.V = %) = 0,89

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	1.8281	0.3676	91.011	0.0001*
Quadrática	2	2.6478	0.5325	131.8	0.0000*
Interação	1	0.4467	0.0898	44.478	0.0011*
Total da regressão	5	4.9226	0.9899	98.029	0.0001*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.0452	0.0151	6.029	0.1456 ns
Erro Puro	2	0.0050	0.0025		
Total do erro	5	0.0502	0.0100		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	11.2639	0.0579		0.0000*
X_1	1	0.3308	0.0355		0.0002*
X_2	1	-0.3461	0.0355		0.0002*
X_1*X_1	1	0.3799	0.0423		0.0003*
X_2*X_1	1	0.3342	0.0501		0.0011*
X_2*X_2	1	-0.4375	0.0423		0.0001*

Anexo C13. Modelo de regressão completo e análise de variância para diferença de cor (ΔE) da cor da farinha da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 6{,}9217 + 0{,}4991x_1 + 0{,}5654x_1^{\,2} - 0{,}4369x_2 - 0{,}5332x_2^{\,2} + 0{,}4018x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9724

Coeficiente de variação (C.V = %) = 3,24

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	3.5095	0.3822	34.644	0.0012*
Quadrática	2	4.7727	0.5198	47.115	0.0006*
Interação	1	0.6458	0.0703	12.751	0.0160*
Total da regressão	5	8.9281	0.9724	35.254	0.0007*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.2366	0.0789	9.485	0.0969 ns
Erro Puro	2	0.0166	0.0083		
Total do erro	5	0.2532	0.0506		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	6.9217	0.1299		0.0000*
X_1	1	0.4991	0.0797		0.0015*
X_2	1	-0.4369	0.0797		0.0028*
X_1*X_1	1	0.5654	0.0951		0.0019*
X_2*X_1	1	0.4018	0.1125		0.0160*
X_2*X_2	1	-0.5332	0.0951		0.0025*

Anexo C14. Modelo de regressão completo e análise de variância para os Sólidos Totais Secos (mg/L) da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 5029{,}3302 + 1072{,}5213x_1 + 345{,}3957x_1^{\,2} + 1875{,}2112x_2 + 28{,}9302x_2^{\,2} + 67{,}9150x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,9881

Coeficiente de variação (C.V = %) = 5,71

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	37222684	0.9694	202.9	0.0000*
Quadrática	2	699758	0.0182	3.814	0.0986 ns
Interação	1	18450	0.0005	0.201	0.6726 ns
Total da regressão	5	37940892	0.9881	82.725	0.0001*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	432624	144208	11.086	0.0839 ns
Erro Puro	2	26017	13008		
Total do erro	5	458641	91728		

PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**	**Prob > | T |**
Média	1	5029.3302	174.8580	0.0000*
X_1	1	1072.5213	107.2391	0.0002*
X_2	1	1875.2112	107.2391	0.0000*
X_1*X_1	1	345.3957	127.9642	0.0428*
X_2*X_1	1	67.9150	151.4333	0.6726 ns
X_2*X_2	1	28.9302	127.9642	0.8301 ns

Anexo C15. Modelo de regressão completo e análise de variância para o pH da água de maceração da cv. BRS Sertaneja, em função da temperatura (X_1) e tempo de imersão (X_2) na etapa de encharcamento da parboilização

$$y_1 = 5{,}9847 + 0{,}2296x_1 - 0{,}0523x_1^{\,2} - 0{,}4275x_2 + 0{,}0977x_2^{\,2} + 0{,}2967x_1x_2$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (PROC RSREG – SAS)

Coeficiente de determinação (R^2) = 0,8944

Coeficiente de variação (C.V = %) = 3,89

REGRESSÃO	**G.L**	**S.Q.**	**R^2**	**Valor F**	**Prob>F**
Linear	2	1.8781	0.7229	17.109	0.0058*
Quadrática	2	0.0935	0.0360	0.852	0.4806 ns
Interação	1	0.3521	0.1355	6.414	0.0524 ns
Total da regressão	5	2.3237	0.8944	8.467	0.0175*
RESÍDUO	**G.L**	**S.Q.**	**Q.M**	**Valor F**	**Prob>F**
Falta de ajuste	3	0.1012	0.0338	0.390	0.7759 ns
Erro Puro	2	0.1732	0.0866		
Total do erro	5	0.2744	0.0549		
PARÂMETRO	**G.L**	**Coeficiente estimado**	**Erro padrão da estimativa**		**Prob > | T |**
Média	1	5.9847	0.1353		0.0000*
X_1	1	0.2297	0.0829		0.0395*
X_2	1	-0.4275	0.0829		0.0036*
X_1*X_1	1	-0.0523	0.0990		0.6195 ns
X_2*X_1	1	0.2967	0.1171		0.0524 ns
X_2*X_2	1	0.0977	0.0990		0.3689 ns

ANEXO D – ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS ATRIBUTOS SENSORIAIS DA CV. BRS PRIMAVERA

ANEXO D1 - Anova para o escore de aparência para a cv. BRS Primavera

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Amostra	2	16,81	8,4067	12,024*	0,0266
Bloco	49	263,84	5,3845	7,7011**	0,0000
Resíduo	98	68,52	0,6992	-	

* = significativo ao nível de 5% ($P \leq 0,05$);
** = significativo ao nível de 1% ($P \leq 0,01$);
Bloco = provador

ANEXO D2 - Anova para o escore de aroma para a cv. BRS Primavera

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Amostra	2	9,33	4,6667	4,0592ns	0,1923
Bloco	49	298,77	6,0974	5,3037**	0,0000
Resíduo	98	112,67	1,1497	-	

** = significativo ao nível de 1% ($P \leq 0,01$);
ns = não significativo
Bloco = provador

ANEXO D3 - Anova para o escore de sabor para a cv. BRS Primavera

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Amostra	2	1,6533	0,8267	0,9240 ns	0,7192
Bloco	49	280,14	5,7171	6,3901**	0,0000
Resíduo	98	87,68	0,8947	-	

** = significativo ao nível de 1% ($P \leq 0,01$);
ns = não significativo
Bloco = provador

ANEXO D4 - Anova para o escore de textura para a cv. BRS Primavera

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Amostra	2	13,72	6,86	6,1332*	0,0405
Bloco	49	198,01	4,0410	3,6128**	0,0000
Resíduo	98	109,61	1,1185	-	

** = significativo ao nível de 1% ($P \leq 0,01$);
ns = não significativo
Bloco = provador

ANEXO E – ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA OS ATRIBUTOS SENSORIAIS DA CV. BRS SERTANEJA

Anexo E1 - Anova para o escore de aparência para a cv. BRS Sertaneja

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Amostra	2	16,85	8,4267	7,6126*	0,0466
Bloco	49	287,04	5,8580	5,2920**	0,0000
Resíduo	98	108,48	1,1069	-	

* = significativo ao nível de 5% ($P \leq 0,05$);
** = significativo ao nível de 1% ($P \leq 0,01$);
Bloco = provador

Anexo E2 - Anova para o escore de aroma para a cv. BRS Sertaneja

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Amostra	2	3,61	1,8067	1,9882ns	0,5414
Bloco	49	341,93	6,9781	7,6791**	0,0000
Resíduo	98	89,05	0,9087	-	

** = significativo ao nível de 1% ($P \leq 0,01$);
ns = não significativo
Bloco = provador

Anexo E3 - Anova para o escore de sabor para a cv. BRS Sertaneja

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Amostra	2	2,61	1,3067	0,7008 ns	0,6342
Bloco	49	237,74	4,8518	2,6022**	0,0000
Resíduo	98	182,72	1,8645	-	

** = significativo ao nível de 1% ($P \leq 0,01$);
ns = não significativo
Bloco = provador

Anexo E4 - Anova para o escore de textura para a cv. BRS Sertaneja

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Amostra	2	1,37	0,6867	0,9017 ns	0,7423
Bloco	49	263,49	5,3774	7,0616**	0,0000
Resíduo	98	74,63	0,7615	-	

** = significativo ao nível de 1% ($P \leq 0,01$);
ns = não significativo
Bloco = provador

APÊNDICE A – Protocolo utilizado para análise do teste de cocção segundo a metodologia de Martinez e Cuevas (1989), com adaptações

- Procedimento para o arroz polido:

- Lavar 100 g de arroz branco;
- Adicionar em uma panela 1 colheres de óleo vegetal (7 mL) e 100g de arroz polido e frite-o;
- Acrescentar 3,0 g de sal e 250 mL de água;
- Deixar a panela em fogo alto por 3 min e a tampa da panela pouco aberta;
- Abaixar o fogo, fechar a panela e deixar cozinhar por aproximadamente 15 min e/ou até que seque toda a água da panela;
- Desligar o fogo e deixe a panela tampada por aproximadamente 5 min.
- Transferir o arroz cozido para uma bandeja, utilizando à mesma xícara de medida, cuidando para não misturar as partes superior, central e inferior da panela;
- Avaliar o rendimento pesando a quantidade de arroz cozido em balança semi-analítica (Gehaka, BG 2000);
- Deixar o arroz cozido esfriar até 45 ºC (monitorar com termômetro) para analisar textura e pegajosidade, conforme escala do valor de referência na Tabela 7A.

- Procedimento para o arroz parboilizado:

- Adicionar em uma panela 375 mL de água;
- Acrescentar 100g de arroz parboilizado e 4,0 g de sal;
- Iniciar o cozimento em fogo alto. Quando levantar fervura baixar a chama para fogo médio.
- Deixar cozinhar em fogo médio, com a panela semi-tampada, por aproximadamente 20 min e/ou até a panela secar.
- Deixar a panela tampada por aproximadamente 5 min fora do fogo.
- Transferir o arroz cozido para uma bandeja, utilizando à mesma xícara de medida, cuidando para não misturar as partes superior, central e inferior da panela;
- Avaliar o rendimento pesando a quantidade de arroz cozido em balança semi-analítica (Gehaka, BG 2000);
- Deixar o arroz cozido esfriar até 45 ºC (monitorar com termômetro) para analisar textura e pegajosidade, conforme escala do valor de referência na Tabela 7A.

Esta análise é realizada por provador treinado segundo a metodologia descrita em Lima et al. (2006), conforme descrito no item 4.2.3.1.1.

Tabela 7A - Classificação dos atributos de textura e pegajosidade em arroz cozido

Atributo	Classificação	Representação
Textura	Extremamente macio	EM
	Macio	M
	Ligeiramente macio	LM
	Macio com centro firme	MCF
	Levemente firme	LF
	Muito firme	MF
	Extremamente firme	EF
Pegajosidade	Extremamente solto	ES
	Muito solto	MS
	Solto	S
	Ligeiramente pegajoso	LP
	Pegajoso	P
	Muito pegajoso	MP
	Extremamente pegajoso	EP

Fonte: Adaptado de Martinéz e Cuevas (1989).

APÊNDICE B – Protocolo para análise de Fibra bruta, conforme metodologia da AOAC International (1997) com adaptações

▪ Preparo de soluções:

H_2SO_4 0,255 N:

- Para preparar 1 L de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), colocar aproximadamente 400 mL de água destilada em balão volumétrico de 1 L;
- Adicionar 7 mL ácido sulfúrico fumegante, trabalhar em capela de exaustão e usar luva nitrílica e óculos de proteção;
- Homogeneizar a solução e completar o volume para 1 L.

NaOH 0,313 N: Para preparar 1 L de solução de NaOH, pesar 12,5 g de NaOH (em béquer de plástico). Acrescentar aos poucos água destilada e misturar até que o hidróxido de sódio se dissolva completamente. Transferir para um balão volumétrico de 1L e completar o volume

▪ Preparação das amostras:

- Limpar as amostras, retirando impurezas tais como, grãos quebrados e deteriorados, pedras, pedaços de madeira, etc;
- Separar ± 50 grãos da amostra previamente limpa;
- Moer a amostra em moinho de facas com peneiras de abertura de 1 mm;
- Pesar em balança semi-analítica 1 g de amostra em papel vegetal, em duplicata;
- Transferir a amostra pesada para saquinho de TNT (Tecido Não Tecido) 100 µm, (previamente preparados conforme item 6.7.2) já com a identificação da amostra;
- Fechar os saquinhos usando a seladora de plástico.

▪ Procedimento para análise:

- Fazer as análises em duplicata;
- Juntamente com as amostras de rotina fazer um branco que é o saquinho de TNT vazio;
- Colocar os saquinhos de TNT identificados, contendo as amostras nas bandejas (3 saquinhos por bandeja) que estão dentro do determinador de fibra;
- Certificar-se que a torneira na base do determinador está fechada;
- Colocar 2.225 mL de solução de ácido sulfúrico 1,25% dentro de suporte do determinador.
- Ligar o equipamento e aguardar até que temperatura atinja 95 °C;
- Marcar 15 min;
- Retirar a solução de ácido (esta solução pode ser reaproveitada);

- Deixar o equipamento ligado. Em seguida colocar 2.225 mL de água destilada, previamente aquecida, dentro de determinador durante 5 min;
- Desligar o equipamento e descartar a água em recipiente específico;
- Repetir a operação de lavagem por mais duas vezes por 3 min;
- Depois da lavagem, adicionar 2.225 mL de solução de NaOH 1,25% e aguardar até que a temperatura atinja 95 °C;
- Deixar o equipamento ligado, sob agitação, durante 15 min;
- Desligar o equipamento, retirar a solução de hidróxido (pode ser reaproveitada);
- Repetir a operação de lavagem como já descrita anteriormente;
- Tirar os saquinhos do determinador de fibras com auxílio de um pinça e colocar sobre uma bandeja de aço inox forrada com papel toalha;
- Colocar a bandeja na estufa a 105 ºC, deixar por ± 16 h;
- Após esse período, retirar a bandeja e colocar os saquinhos no dessecador;
- Aguardar 40 min e pesar os saquinhos;
- Registrar o peso do saquinho em planilha específica;

Obs.: Para a lavagem dos saquinhos vazios, seguiu-se o mesmo procedimento descrito para a análise.

▪ <u>Cálculo do percentual de fibra bruta:</u>

- A fibra bruta é calculada utilizando-se a Equação 7A.

$$\text{Fibra bruta } (\%) = P\left(S + A\right) - PS * 100 \qquad \text{(Equação 7A)}$$

Onde:

P (S+A): massa (g) do saquinho mais amostra, após a digestão;

PS: massa (g) do saquinho vazio, após a lavagem.

APÊNDICE C – Questionários utilizados na análise sensorial

APÊNDICE C.1 – Questionário utilizado para a avaliação sensorial

ESCALA HEDÔNICA ESTRUTURADA

Nome:_____ Data:_____

Por favor, prove a amostra codificada de arroz e avalie o quanto você gostou ou desgostou da mesma, utilizando a escala abaixo.

Código da Amostra ( )

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei levemente
5. Nem gostei/ nem desgostei
4. Desgostei levemente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

aparência ____
aroma _____
sabor _____
textura _____

Com base em sua opinião sobre a amostra, marque com um X na escala de 1 a 5 sua nota em relação a sua atitude, caso você encontrasse a amostra a venda.

(1) Certamente compraria

(2) Possivelmente compraria

(3) Talvez comprasse/ talvez não comprasse

(4) Possivelmente não compraria

(5) Certamente não compraria

Comentários: _____
_____

APÊNDICE C.2 - Questionário utilizado para pesquisa de opinião

Por favor, responda as questões marcando um X:

1 – Sexo
( ) Feminino ( ) Masculino

2 – Idade
( ) Até 18 anos ( ) De 19 a 21 anos ( ) De 22 a 24 anos ( ) Acima de 25 anos

3 – É fumante?
( ) Sim ( ) Não

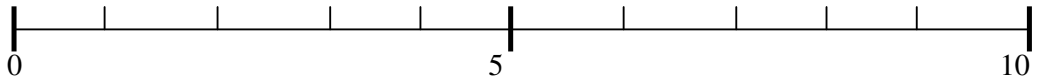
4 – Se brasileiro, qual a naturalidade?
( ) Goiânia ( ) Região Metropolitana ( ) Interior de Goiás ( ) Outros Estados

5 – Em que faixa situa a sua renda familiar?
( ) Até 5 salários mínimos ( ) Mais de 5 a 10 salários mínimos
( ) Mais de 10 a 20 salários mínimos ( ) Acima de 20 salários mínimos

6 - Você conhece ou já ouviu falar em arroz parboilizado?
( ) Nunca ouvi falar ( ) Já, mas nunca experimentei ( ) Já e experimentei

7 – Qual a freqüência que você consome parboilizado
( ) Todos os dias ( ) Até três vezes por semana ( ) Uma vez por semana
( ) Ocasionalmente ( ) Nunca consumo

8 – Caso seja consumidor de arroz parboilizado, marque com um "X", na escala abaixo, o lugar (inclusive entre pontos) que melhor representa o quanto você gosta ou desgosta deste tipo de produto.



Se não gosta, favor relatar o principal motivo: _____

9 – O que leva em consideração na hora de escolher um determinado tipo de arroz:

( ) O preço ( ) O valor nutritivo ( ) A aparência ( ) O sabor
( ) Outros: _____

Dados pessoais:

Nome: _____

Telefone: _____

E-mail: _____
Agradecemos à participação

APÊNDICE D – Exemplos programação do SAS FOR WINDOWS

APÊNDICE D.1 – Programação do SAS FOR WINDOWS do PROC ANOVA / TUKEY para os dados experimentais de umidade e cinzas

```
data a;
title 'anova';
input amos rep umidade cinzas;
cards;
        1       1       11.33       0.51
        1       2       11.23       0.48
        2       1        9.71       0.89
        2       2        9.87       0.88
        3       1        9.41       0.78
        3       2        9.48       0.79
        4       1        9.59       0.66
        4       2        9.72       0.68
;
run;
proc anova;
class amos rep;
model umidade=amos rep;
means amos / tukey;
run;
proc anova;
class amos rep;
model cinzas=amos rep;
means amos / tukey;
run;
```

Obs.: Amostra 1: arroz branco;

Amostras 2, 3 e 4: arroz parboilizado selecionadas

APÊNDICE D.2 – Programação do SAS FOR WINDOWS do PROC RSREG para os dados experimentais de rendimento de inteiros

```
data a;
        input x1 x2 y1 @@;
list;
label  x1= 'temperatura'
         x2= 'tempo'
         y1= 'rendimento de inteiros';
cards;
      -1.41          0          69.58
         -1         -1          70.21
         -1          1          66.15
          0      -1.41          67.79
          0          0          67.03
          0          0          65.94
          0          0          65.99
          0       1.41          64.77
          1         -1          68.70
          1          1          66.68
       1.41          0          68.62
;
proc print;
proc sort;
by x1-x2;
Title 'model 2a ordem, var. originais, rendimento de inteiros';
proc rsreg;
model y1=x1-x2/lackfit;
run;
```

APÊNDICE D.3 – Passos do Statistica for windows para o ajuste dos modelos de regressão múltipla

STATISTICA FOR WINDOWS
↓
Statistics
↓
Industrial Statistics & Six Sigma
↓
Experimental Design (DOE)
↓
Central composite, non-factorial, surface designs → OK
↓
Standard design (Factors/ blocks/ runs): 2/1/10 → OK
↓
Add to design → number of center points (per block): 1
↓
Summary
↓
Insert → Add variables → How many: "quantidade de variáveis respostas" (18)
After: "após a última variável independente" (tempo de maceração)
↓
"Inserir os dados das variáveis respostas do experimento"
↓
Workbook : Use as active input
↓
Statistics
↓
Industrial Statistics & Six Sigma
↓
Experimental Design (DOE)
↓
Central composite, non-factorial, surface designs → OK
↓
Analyse design
↓
Variables → Dependent: "seleciona uma variável"
Independente: seleciona temperatura e tempo de maceração } OK
↓
OK
↓
Summary
↓
Analysis of a central composite
↓
Include in model → Ignore some effects → OK
↓
"Selecione os termos não significativos (P > 0,05)" → OK
↓
Summary