

Redução do tempo de cocção do arroz integral através da indução de fissuras
Reduction in the cooking time of brown rice through the induction of fissuring
Reducción del tiempo de cocción del arroz integral mediante la inducción de fisuras

Recebido: 06/08/2020 | Revisado: 16/08/2020 | Aceito: 19/08/2020 | Publicado: 23/08/2020

Christian Rafael Câmara De Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1089-5894>

Universidade Federal do Pampa, Brasil

E-mail: christian.ahs14@gmail.com

Leomar Hackbart da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7755-8788>

Universidade Federal do Pampa. Brasil

E-mail: leomarsilva@unipampa.edu.br

Paula Fernanda Pinto da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3296-5347>

Universidade Federal do Pampa, Brasil

E-mail: paulacosta@unipampa.edu.br

Resumo

Objetivou-se avaliar os efeitos do processo de hidratação e secagem sobre o tempo de cocção e nas características tecnológicas do arroz integral. A Metodologia de Superfície de Resposta foi usada para determinar o efeito combinado das variáveis independentes: i) Teor de umidade inicial dos grãos (14,4% a 25,6%) e ii) Temperatura de secagem (30°C a 46°C). Avaliou-se a porcentagem de grãos inteiros e quebrados, o índice de acidez (IA), o índice de fissuras (IF), o perfil colorimétrico e o tempo mínimo de cocção (TMC). Os resultados indicaram que não houve influência significativa na porcentagem de grãos inteiros, que apresentou valores de 97,66%, de grãos quebrados com valores de 2,41% e no IA, que variou entre 0,38 mg de KOH.g⁻¹ a 0,54 mg de KOH.g⁻¹. No entanto, o incremento no teor de umidade das amostras aumentou o IF, que variou entre 51% e 97% e reduziu o TMC de 20 min para 14 min. Além disso, houve aumento nos valores dos parâmetros de cor a*, b* e do croma, porém não houve influência significativa nos valores de luminosidade, ângulo de tonalidade, diferença de total de cor e diferença de tonalidade da cor, mantendo as amostras com coloração amarelo castanho semelhante à cor da amostra controle. A hidratação do arroz integral, com no

mínimo 24% de umidade e secagem com temperatura na faixa de 32°C a 38°C possibilitou um aumento de 97% no IF e consequentemente, redução de 30% no TMC conferindo maior praticidade no preparo de arroz integral.

Palavras-chave: Cereais; Umidade; Secagem.

Abstract

The objective was to evaluate the effects of the hydration and drying process on the cooking time and on the technological characteristics of brown rice. The Response Surface Methodology was used to determine the combined effect of the independent variables: i) Initial moisture content of the grains (14.4% to 25.6%) and ii) Drying temperature (30°C to 46°C). The percentage of whole and broken grains, the acidity index (IA), the fissuring index (FI), the colorimetric profile and the minimum cooking time (MCT) were evaluated. The results indicated that there was no significant influence on the percentage of whole grains, which presented values of 97.66%, of broken grains with a value of 2.41% and on the AI, which varied between 0.38 mg of KOH.g⁻¹ to 0.54 mg KOH.g⁻¹. However, the increase in the moisture content of the samples increased the FI, which varied between 51% and 97% and reduced the MCT from 20 min to 14 min. In addition, there was an increase in the values of color parameters a*, b* and chroma, but there was no significant influence on the values of luminosity, hue angle, color difference and hue difference, keeping the samples with brown yellow color similar to the color of the control sample. The hydration of brown rice, with a minimum of 24% moisture content and drying with temperature in the range of 32°C to 38°C allowed an increase of 97% in the FI and, consequently, a reduction of 30% in the MCT, making it more practical to prepare brown rice.

Keywords: Cereals; Moisture; Drying.

Resumen

El objetivo fue evaluar los efectos del proceso de hidratación y secado en el tiempo de cocción y en las características tecnológicas del arroz integral. Se utilizó la Metodología de la Superficie de Respuesta para determinar el efecto combinado de las variables independientes: i) Contenido de humedad inicial de los granos (14,4% a 25,6%) y ii) Temperatura del secado (30°C a 46°C). Se evaluaron el rendimiento de los granos, el índice de acidez (AI), el índice de fisuración (IF), el perfil colorimétrico y el tiempo mínimo de cocción (TMC). Los resultados indicaron que no hubo influencia significativa en el rendimiento de los granos, que presentó media de 97,66% de los granos enteros y el 2,41% de los granos partidos, el IA osciló entre 0,38mg de KOH.g⁻¹ y 0,54mg de KOH.g⁻¹. Sin embargo, el incremento del contenido de humedad de las muestras aumentó el FI, que varió entre el 51% y 97% y redujo el TMC de 20 min a 14 min. Además, hubo un aumento en los valores de los parámetros de color a*, b* y croma, pero no hubo una influencia significativa en los valores de luminosidad, ángulo de tonalidad, diferencia total de color y diferencia de tonalidad de color, manteniendo las muestras de

color amarillo castaño similares al color de la muestra de control. La hidratación del arroz integral con un mínimo de 24% de humedad y una temperatura de secado en el rango de 32°C a 38°C permitió un aumento de 97% en el IF y consecuentemente una reducción de 30% en el TMC dando mayor facilidad en la preparación del arroz integral.

Palabras clave: Cereales; Humedad; Secado.

1. Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, considerado uma fonte de energia elementar na dieta de mais de três bilhões de pessoas. É consumido preferencialmente na forma de grãos inteiros, sendo divididos em quatro subgrupos do arroz beneficiado: arroz integral, arroz polido, arroz parboilizado integral e arroz parboilizado polido (Sosbai, 2018; Brasil, 2009).

O arroz integral, que no beneficiamento é retirado apenas a casca, possui elevada concentração de compostos de interesse nutricional presentes predominantemente no gérmen e na camada de aleurona, tais como: fibras dietéticas, lipídios, vitamina E, vitaminas do complexo B, sais minerais e compostos fenólicos, como o ácido gama-aminobutírico (GABA), o gama oryzanol dentre outros (Monks, et al., 2013; Chen, Bergman & McClung, 2019; Khalua, Tewari, & Mondal, 2019).

Estudos demonstram que embora o arroz integral apresente vantagens em relação ao melhor valor nutricional e a presença de compostos bioativos, que o confere propriedades benéficas para a saúde, podendo auxiliar na prevenção de diversas doenças. Esta não é a forma mais frequentemente consumida, representando somente de 3 a 4% do consumo nacional de arroz. O reduzido consumo de arroz integral deve-se ao fato deste possuir atributos culinários pouco atrativos, devido a sua textura e elevado tempo de cozimento. Estas características são atribuídas à presença da camada aleurona, elevados teores de fibras e ceras, que dificultam a absorção de água e aumentam o tempo de cocção do arroz integral (Mongerojas, Mattei, Fuster, Willett, & Campos, 2014; Wu, et al., 2016).

Le e Jittanit (2015) estudaram a otimização das condições operacionais da produção de arroz integral instantâneo avaliando a relação água-arroz, nível de potência de micro-ondas e temperatura do ar de secagem. Observaram que os três parâmetros de processamento influenciaram significativamente na textura, na intensidade da cor e na viscosidade do arroz, concluindo que as condições ideais de processamento para se obter o arroz integral instantâneo foi utilizando relação de água-grão de 1,44, potência de 499,8 W e temperatura de

secagem de 89,99°C.

Batista et al. (2019) avaliaram o efeito de três temperaturas de cozimento (72, 80 e 88°C) aplicadas a dois genótipos de arroz (Puitá Inta CL e INOV CL) para preparação rápida do arroz integral e observaram que o tempo de cozimento foi reduzido de 23,0 min da amostra controle para 5,5 min (INOV CL) e 6,9 min (Puitá Inta CL), quando utilizado temperatura de 88°C no cozimento. Além disso, encontraram redução em torno de 20 a 22% na digestibilidade do amido, o que confere maior benefício a saúde dos consumidores aumentando o amido resistente. No entanto, as propriedades sensoriais, relacionadas à aparência, textura e sabor do arroz integral de cozimento rápido foram influenciadas negativamente.

A indução de formação de fissuras mediada pela hidratação e desidratação dos grãos, é um dos fatores e fenômenos físico-químicos usados em técnicas de produção de arroz de cozimento rápido ou instantâneo (Colina & Guerra, 2009; Batista et al., 2019). Contudo constata-se a escassez de estudos utilizando arroz integral não parboilizado ou pré-cozido, o que denota a necessidade de pesquisas de métodos mais rápidos e econômicos para este tipo de arroz. Dentro deste contexto o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos do processo de hidratação e secagem sobre o tempo de cocção e nas características tecnológicas do arroz integral.

2. Material e Métodos

2.1. Processo de hidratação e secagem do arroz integral

As amostras de arroz beneficiado integral, da classe longo fino, tipo 1, de mesma marca e lote, com média de umidade de 10,05%, adquiridos no comércio local foram submetidas ao processo de hidratação e secagem, sendo a quantidade de água de hidratação e a temperatura de secagem de cada ensaio estabelecidas por meio de um planejamento experimental do tipo composto central rotacional completo 2², conforme apresentado na Tabela 1.

Na etapa de hidratação amostras de 300 g de arroz integral foram acondicionadas em embalagens de polietileno, e condicionadas para diferentes teores de umidade, conforme o planejamento experimental (Tabela 1), por meio da adição de volumes de água calculados através da equação 1.

$$\text{Quantidade de água (mL)} = \left[\left(\frac{100 - \text{UI}}{100 - \text{UF}} \right) - 1 \right] \times \text{peso da amostra} \quad (1)$$

Onde: UI = umidade inicial das amostras; UF = umidade final das amostras.

Após a hidratação as amostras foram armazenadas sob refrigeração, a temperatura de 8°C, por 24 horas, e posteriormente secas em estufa com circulação forçada de ar, em diferentes temperaturas, conforme o planejamento experimental (Tabela 1) e tempo de exposição até as amostras atingirem umidade final em torno de 11,05±0,27%. Este valor está dentro da faixa de umidade recomendada pela legislação para a comercialização de arroz beneficiado, que é de no máximo 14% (Brasil, 2009).

2.2. Delineamento experimental

A pesquisa realizada foi do tipo quantitativa onde se avaliou através da coleta de um conjunto de dados oriundos de análises laboratoriais para avaliar como o efeito das condições de hidratação e tempo de secagem afetam o tempo de cozimento e outras características tecnológicas do arroz integral (Pereira et al., 2018).

O experimento foi desenvolvido utilizando a metodologia de análise de dados através de superfície de resposta, empregando o delineamento do tipo composto central rotacional com duas variáveis quantitativas independentes: i) Teor de umidade inicial dos grãos, que variou entre 14,4% a 25,6% e ii) Temperatura de secagem dos grãos, que variou entre 30°C a 46°C, sendo realizados 4 ensaios fatoriais, 4 ensaios nas condições axiais e 3 repetições nos pontos centrais, totalizando 11 ensaios, cujos respectivos níveis e suas combinações estão descritas na matriz do delineamento na Tabela 1 (Rodrigues & Iemma, 2014).

As variáveis dependentes analisadas foram: rendimento de grãos (porcentagem de grãos inteiros e quebrados), índice de acidez, índice de fissuras, tempo mínimo de cocção e perfil colorimétrico dos grãos de arroz integral. Paralelamente aos ensaios foi realizado também avaliações na amostra de arroz integral controle, a qual não foi submetida as etapas de hidratação e secagem.

Os níveis de hidratação e da temperatura de secagem dos grãos de arroz integral foram estabelecidos de acordo com dados disponíveis na literatura (Cnossen, Jiménez & Siebenmorgen, 2003; Mutters & Thompson, 2009; Batista et al., 2019). Os limites foram definidos para que a região de trabalho possibilitasse condições para formação de maior número de fissuras nos grãos, que ocorre devido a tensões no interior dos grãos, gerada pela

hidratação e secagem dos mesmos e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de cocção, porém sem alterar o rendimento e as características físico-químicas dos grãos de arroz integral.

2.3. Avaliações físico-químicas e tecnológicas do arroz integral

2.3.1. Rendimento do grão integral

A determinação do rendimento do grão integral foi realizada em engenho de provas, utilizando-se 100g de amostra e separando-se os grãos inteiros dos quebrados por meio de *trieur* número 1, com tempo de duração de 90 segundos, de acordo com a Instrução Normativa número 06, de fevereiro de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil, que determina os padrões oficiais de classificação de grãos de arroz (Brasil, 2009).

2.3.2. Índice de acidez do arroz integral

O índice de acidez foi determinado conforme o método 415/IV de determinação de acidez álcool-solúvel, do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Os resultados foram expressos em mg de KOH.g⁻¹ de amostra.

2.3.3. Índice de fissuras no arroz integral

O índice de fissuras foi determinado segundo a metodologia proposta por Cnossen et al. (2003), em quadruplicada, avaliando-se 25 grãos inteiros, em cada repetição, para cada ensaio. Com auxílio de uma caixa de luz com paredes e fundo escuro, com tampa de vidro, verificou-se visualmente a existência de fissuras internas nos grãos, contabilizando-se o número total de grãos com fissuras e expressando-o em porcentagem.

2.3.4. Tempo mínimo de cocção do arroz integral

O efeito do processamento, sobre o tempo mínimo de cocção do arroz integral, foi avaliado em triplicata, para cada ensaio, através da análise de determinação do tempo mínimo de cocção, conforme a metodologia de Juliano e Bechtel (1985) apud Paraginski, Ziegler, Talhamento, Elias e Oliveira (2014), com modificações. Utilizou-se 10 g de amostra de arroz

integral que foram cozidas com água deionizada ($98 \pm 1^\circ\text{C}$), em cápsula de alumínio de 250 mL, sob chapa de aquecimento. O tempo de cocção começou a ser cronometrado no mesmo instante em que os grãos foram imersos na água aquecida. Decorridos 10 minutos de cozimento, de minuto a minuto, 10 grãos de arroz inteiros foram retirados e comprimidos entre duas placas de vidro. O tempo mínimo de cocção foi definido quando ao menos 90% dos grãos já não continham mais o centro opaco ou não cozido, e expresso em minutos.

2.3.5. Perfil colorimétrico

Os perfis colorimétricos dos grãos de arroz integral foram avaliados a partir da determinação da cor instrumental, utilizando-se espectrofotômetro, modelo CR-400, marca Konica Minolta, determinando-se os parâmetros do sistema de medição de cores CIEL*a*b, no qual L^* indica a luminosidade e a^* e b^* , as coordenadas cromáticas verde/vermelho e azul/amarelo, respectivamente. Com os valores obtidos das coordenadas a^* e b^* , calculou-se a saturação da cor o Croma (C^*), o ângulo de tonalidade (h_{ab}), a diferença total de cor (ΔE^*) e a diferença de tonalidade da cor (ΔH^*) das amostras através das equações 2, 3, 4 e 5, respectivamente, conforme descrito em Minolta (2007).

$$\text{Cromo } (C^*) = [(a)^2 + (b)^2]^{1/2} \quad (2)$$

$$\hat{\text{Ângulo de Tonalidade}} (h_{ab}) = \tan^{-1} [b^*/ a^*] \quad (3)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2} \quad (5)$$

2.4. Análise estatística

A avaliação dos resultados obtidos na aplicação do método de processamento combinado de hidratação e secagem foi realizada utilizando-se o programa estatístico Statistica 5.0 (Statsoft, USA). A partir do mesmo, avaliou-se os efeitos das variáveis independentes, calculou-se os coeficientes de regressão (R^2), fez-se a análise de variância (ANOVA) e construiu-se as superfícies de resposta dos modelos estatisticamente significativos a 5% ($p < 0,05$). Os modelos matemáticos obtidos foram avaliados, apresentando-se o modelo completo, como os fatores significativos em negrito, quando apresentaram R^2 igual ou maior que 75%.

3. Resultados e Discussão

3.1. Rendimento de grãos e índice de acidez do arroz integral

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de rendimento de grãos inteiros e quebrados e do índice de acidez das amostras de arroz integral submetidas ao método combinado de hidratação e secagem nos diferentes ensaios do delineamento experimental.

Tabela 1 – Matriz do delineamento experimental composto central rotacional de 2ª ordem com valores codificados e reais dos níveis das variáveis independentes e a resposta do rendimento de grãos (inteiros e quebrados) e índice de acidez em amostras de arroz integral submetidas a hidratação e secagem, nos diferentes ensaios

Ensaio	x ₁ (X ₁)	x ₂ (X ₂)	Grãos		Índice de acidez (mg de KOH.g ⁻¹)
			inteiros (%)	quebrados (%)	
1	-1 (16)	-1 (32)	97,70±0,32	2,45±0,36	0,44±0,03
2	1 (24)	-1 (32)	97,61±0,15	2,52±0,17	0,50±0,02
3	-1 (16)	1 (44)	97,86±0,34	2,29±0,33	0,51±0,05
4	1 (24)	1 (44)	97,45±0,12	2,63±0,15	0,54±0,08
5	-1,41 (14,4)	0 (38)	97,83±0,07	2,27±0,07	0,41±0,02
6	1,41 (25,6)	0 (38)	97,67±0,11	2,43±0,12	0,39±0,01
7	0 (20)	-1,41 (30)	97,64±0,14	2,40±0,15	0,39±0,01
8	0 (20)	1,41 (46)	97,77±0,11	2,19±0,12	0,55±0,02
9(C)	0 (20)	0 (38)	97,52±0,35	2,53±0,41	0,42±0,05
10(C)	0 (20)	0 (38)	97,78±0,13	2,36±0,12	0,38±0,01
11(C)	0 (20)	0 (38)	97,48±0,27	2,64±0,29	0,43±0,03
Controle	-	-	97,46±0,20	2,57±0,21	0,56±0,08

$|\alpha| = \pm 1,414$ para $k = 2$ (duas variáveis independentes). Variáveis independentes com os valores codificados e reais: x₁ (X₁) = Teor de umidade (%); x₂ (X₂) = Temperatura de secagem (°C); (C) pontos centrais e Controle - Amostra de arroz integral sem hidratação e secagem. Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão.

Fonte: Autores.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, não houve variações significativas ($p < 0,05$) em relação aos valores de grãos inteiros, que variou entre 97,45% a 97,86%, de grãos quebrados que variou entre 2,19% a 2,64% e do índice de acidez que variou

entre 0,38 mg de KOH.g⁻¹ a 0,54 mg de KOH.g⁻¹, nos diferentes ensaios. Esses valores são semelhantes aos observados na amostra controle. Os modelos de regressão para estes parâmetros não foram significativos ($p < 0,05$) dentro das condições estudadas. Os coeficientes de regressão (R^2) foram de 60,60%, 54,23% e 67,80%, respectivamente, indicando falta de ajuste dos modelos aos dados, não sendo possível construir a superfície de resposta.

Estudos demonstram que o rendimento de grãos inteiros é uma importante característica de determinação da qualidade do arroz, valores elevados de grãos inteiros conferem maior valor comercial o produto (Odek, 2017; Teló et al., 2011). Neste estudo o elevado rendimento de grãos pode estar relacionado com a obtenção de grãos integrais, ou seja, não houve a etapa de polimento. Visto que nesta etapa os impactos mecânicos aliados às fissuras poderiam resultar na maior quebra dos grãos de arroz, diminuindo assim o seu rendimento. Em relação a porcentagem de grãos quebrados os valores estão dentro limite recomendado pela legislação para a comercialização de arroz beneficiado integral, que é de no máximo 4%, para ser classificado como tipo 1 (Brasil, 2009).

A variação não significativa nos índices de acidez (Tabela 1) demonstra que as condições do método de processamento estudado não favoreceram a atividade de enzimas lipoxigenase e lipase que degradam os lipídios. Por ser coberto pela camada de farelo onde estão situados os lipídios e as enzimas que os degradam, o arroz integral possui uma menor vida útil devido a ação destas induzir a reação de rancidez hidrolítica, que rompem a ligação éster dos lipídios, liberando ácidos graxos, os quais são quantificados para expressar a acidez do produto (Chen et al., 2019).

Os valores de acidez encontrados foram semelhantes aos reportados por Huang et al., (2020), que avaliaram o efeito das condições de atmosfera modificada com diferentes níveis de oxigênio na qualidade do arroz integral submetido ao processo de envelhecimento acelerado, encontraram valores de índice de acidez entre 0,2 mg de KOH.g⁻¹ no dia zero até 1,2 mg de KOH.g⁻¹, após 120 dias de armazenamento a 37°C. Isto indica que houve a ocorrência de reações de degradação dos lipídios durante o período de armazenamento.

Wang et al. (2020) avaliaram o índice de acidez em amostras de arroz integral e encontraram valores de 0,148 mg de KOH.g⁻¹ na amostra controle e 0,618 mg de KOH.g⁻¹, após doze meses de armazenamento. Indicando que houve redução na qualidade do arroz integral durante o armazenamento devido a rancificação dos lipídeos.

3.2. Índice de fissuras e tempo mínimo de cocção dos grãos de arroz integral

Os resultados obtidos nos diferentes ensaios do delineamento experimental da aplicação do método combinado de hidratação e secagem foram significativos para os parâmetros: índice de fissuras e tempo mínimo de cocção (Figura 1a e 1b). Observa-se que dependendo do ensaio, os valores de índice de fissuras variaram entre 51% e 97% e o tempo mínimo de cocção variou entre 14 min. e 20 min., enquanto que na amostra controle esses valores foram de 2% e 22 min., respectivamente, indicando que o processo de hidratação e secagem influenciaram esses parâmetros tecnológicos do arroz. A análise de variância mostrou valores de R^2 de 93,88% e 75,16%, respectivamente, para as regressões, indicando um bom ajuste dos modelos aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas. Os modelos completos de 2ª ordem, com os fatores significativos em negrito, estão apresentados na Tabela 2, Equações 1 e 2, respectivamente. As superfícies geradas por esses modelos estão apresentadas nas Figuras 1a e 1b.

Tabela 2 - Equações de regressão com variáveis codificadas, coeficiente de regressão (R^2) para variáveis respostas: índice de fissuras (IF), tempo mínimo de cocção (TMC) e parâmetros de cor a^* , b^* e valores de croma (C^*) das amostras de arroz integral submetidas a diferentes condições de hidratação e secagem de acordo com o delineamento experimental.

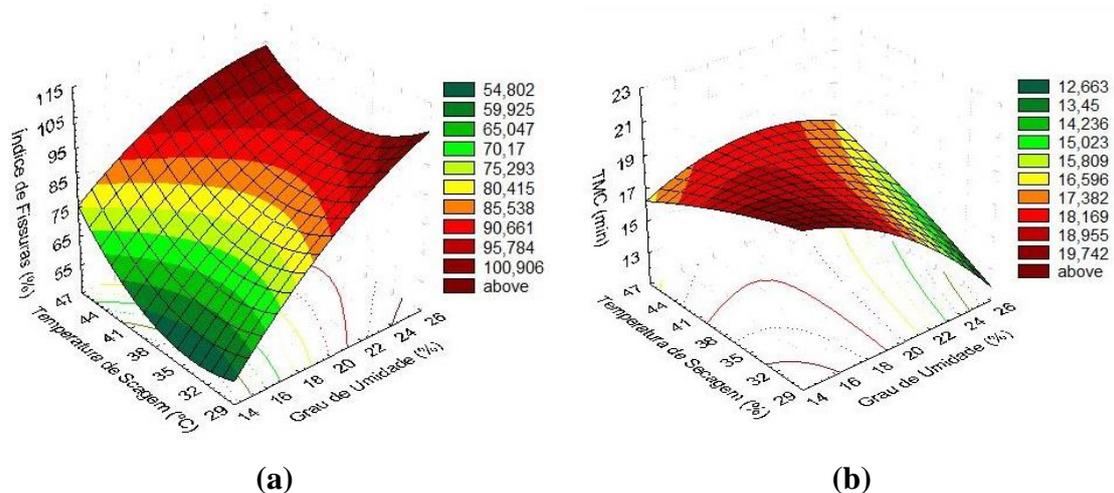
Respostas	Modelos Completos ^a	p-valor	R^2 (%)	Fcal/Ftab
1) IF (%)	$79 + 13,51x_1 - \mathbf{2,87x_1^2} + \mathbf{3,36x_2^2} + 5,37x_2^2 - \mathbf{2,75x_1x_2}$	<0,0001	93,88	14,57
2) TMC (min.)	$18 - 1,38x_1 - \mathbf{0,62x_1^2} + \mathbf{0,07x_2} - \mathbf{0,12x_2^2} + \mathbf{1x_1x_2}$	<0,005	75,16	3,00
3) Cor a^*	$\mathbf{2,7} - 0,04x_1 - \mathbf{0,31x_1^2} + 0,03x_2 - \mathbf{0,28x_2^2} + 0,112x_1x_2$	<0,0017	78,70	4,63
4) Cor b^*	$\mathbf{17,43} - 0,30x_1 - \mathbf{1,54x_1^2} + 0,56x_2 - 0,70x_2^2 + 0,14x_1x_2$	<0,0006	86,19	7,04
5) Cor C^*	$\mathbf{17,75} + 0,29x_1 - \mathbf{1,63x_1^2} - 0,55x_2 - 0,79x_2^2 + 0,12x_1x_2$	<0,0006	86,74	7,49

^aModelos matemáticos completos, com os fatores significativos ($p \leq 0,05$) em negrito. Valores codificados: x_1 – teor de umidade (%) e x_2 - temperatura de secagem (°C). Fcal - valores de F calculado e Ftab- valores de F tabelados.

Fonte: Autores.

Na Figura 1a, observa-se que houve um incremento no índice de fissuras dos grãos de arroz integral proporcional ao aumento do teor de umidade e da temperatura de secagem das amostras. Este comportamento pode ser explicado pela formação de gradientes de tensões no interior dos grãos, gerados durante o processo de hidratação e secagem devido a diferença na taxa de elasticidade e resistência a expansão que ocorre entre as frações de amido e proteínas, ocasionando as fissuras e posterior quebra dos grãos (Bhattacharya, 2011).

Figura 1 – Superfícies de resposta do índice de fissuras (a) e do tempo mínimo de cocção (b) em amostras de arroz integral submetidos a diferentes condições de hidratação e secagem de acordo com o delineamento experimental



Fonte: Autores.

Segundo Mutters e Thompson (2009) quando grãos secos até uma faixa de umidade crítica são submetidos a condições de alta umidade, como na hidratação, seu endosperma ainda é flexível e pode expandir sem causar danos internos. Porém quando são secos novamente até um teor de umidade abaixo do teor crítico, gera-se estresse mecânico acima do limite de força do endosperma podendo causar a quebra ou formação de fissuras no grão.

Menezes, Pasqualli, Barbieri, Vidal e Conceição (2012) que avaliaram os efeitos de diferentes temperaturas de secagem sobre a integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz, constataram que o aumento na temperatura de secagem promoveu o aumento no índice de fissuras nos grãos.

O índice de fissuras também é diretamente influenciado pela relação da temperatura com a gradiente de umidade. No processo de secagem dos grãos de arroz, estes não são secos de forma uniforme, o que ocasiona a diferença de temperatura de transição vítrea entre eles.

Em temperaturas inferiores a temperatura de transição vítrea, ao redor de 35°C, o amido do grão está na forma vítrea. Já em temperaturas mais elevadas acima de 45°C, o amido passa para o estado emborrachado, no qual possui maior difusividade, calor e volume específico, e coeficiente de expansão térmica. Tais diferenças nas características de cada estado do amido em diferentes regiões do endosperma do grão possibilitam maior formação de fissuras (Yang, Jia, Siebenmorgen, Pan, & Cnossen, 2003; Akowuah, Addo, & Bart-plange, 2012; Zhao, Yang, Wang, & Wu, 2020).

Os resultados do tempo mínimo de cocção (Figura 1b) demonstram que o maior teor de umidade das amostras resultou em redução no tempo mínimo de cocção, passando de 20 min. para 14 min. Este comportamento provavelmente está diretamente relacionado ao alto índice de fissuras ocasionado pela correlação entre a temperatura de secagem e o teor de umidade das amostras de arroz integral. A ocorrência de fissuras nos grãos aumentou a absorção de água, facilitando a gelatinização do amido e reduzindo o tempo de cozimento.

A influência das fissuras sobre a redução do tempo de cozimento foi demonstrada no estudo de Mohoric et al. (2004), no qual por meio de imagens de ressonância magnética pode-se observar que a gelatinização do amido ocorreu mais rapidamente nas regiões das fissuras, devido a maior velocidade de absorção de água nestas regiões.

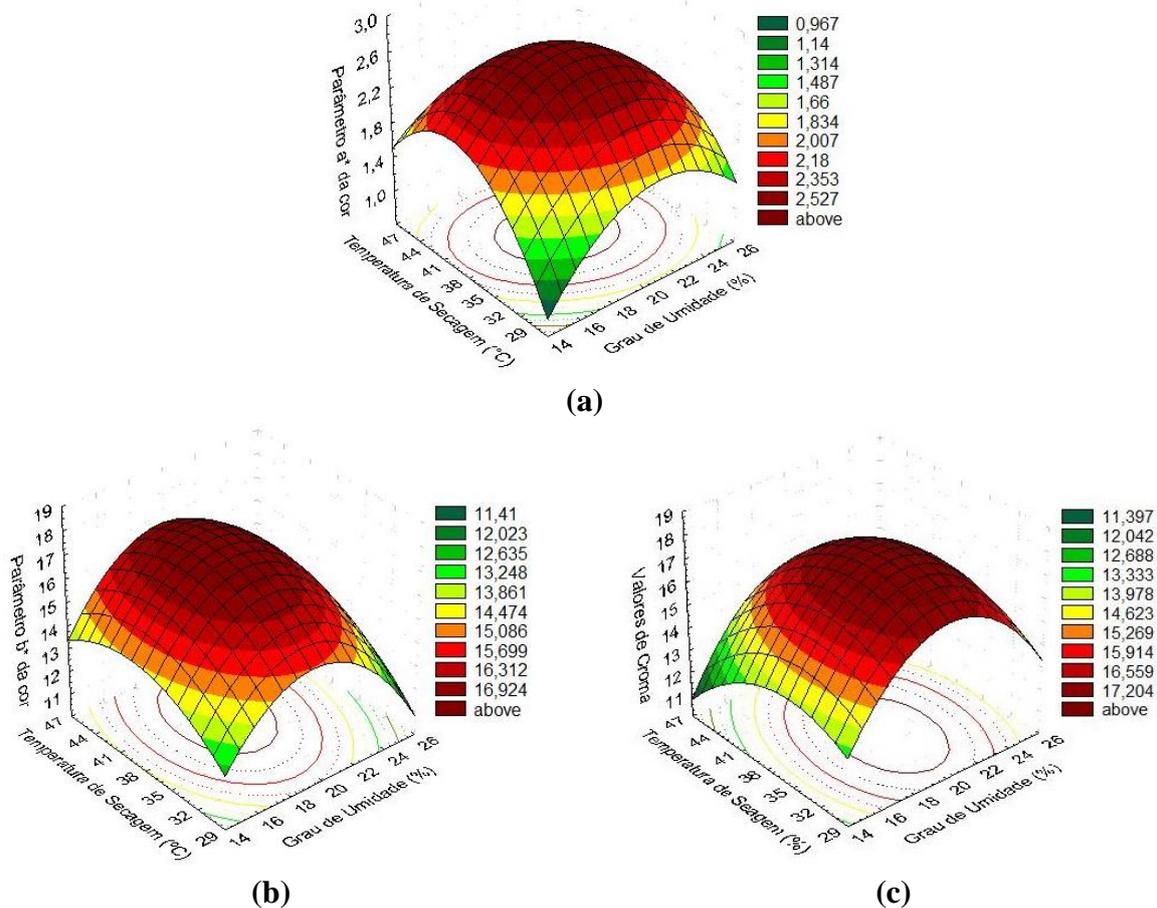
Segundo Batista et al. (2019) ao desenvolver um arroz integral de cocção rápida, o qual foi completamente cozido e posteriormente seco observaram que o tempo de cozimento do arroz integral variou de acordo com a variedade reduzindo de 23,0 min para 5,5 min (INOV CL) e 6,9 min (Puitá Inta CL), quando utilizaram temperatura de cozimento de 88°C. Além disso, encontraram baixa digestibilidade do amido em amostras de arroz integral de cozimento rápido, tratadas a 88°C, com valores de digestibilidade do amido entre 15 e 22% inferiores aos observados na amostra de arroz integral controle, o que confere mais benefícios à saúde dos consumidores.

3.3. Perfil colorimétrico dos grãos de arroz integral

Nas Figuras 2a, 2b, 2c e na Tabela 3 estão apresentados os valores dos parâmetros de cor das amostras de arroz integral submetidas ao processo de hidratação e secagem em diferentes temperaturas. Observam-se variações significativas ($p < 0,05$) nos valores dos parâmetros a^* , que variou entre 1,80 a 2,80, do parâmetro b^* , que variou entre 14,04 a 17,68 e do croma que variou entre 14,20 a 17,88, nos diferentes ensaios. Esses valores são semelhantes aos observados na amostra controle, que apresentou valores de a^* de 1,49, de b^*

de 16,11 e de croma de 16,18. A análise de variância mostrou valores de R^2 de 78,70%, 86,19% e 86,74%, respectivamente, para os parâmetros a^* , b^* e croma da cor, indicando um bom ajuste dos modelos aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas. Os modelos completos de 2ª ordem, com os fatores significativos em negrito, estão apresentados na Tabela 2, Equações 3, 4 e 5, respectivamente.

Figura 2 - Superfícies de resposta do parâmetro a^* da cor (a), do parâmetro b^* da cor (b), dos valores de croma (c) em amostras de arroz integral submetidos a diferentes condições de hidratação e secagem de acordo com o delineamento experimental



Fonte: Autores.

Em relação aos valores de luminosidade (L^*), que variou entre 63,57 a 69,15, ao ângulo de tonalidade, que variou entre 80,82 a 83,15, a diferença total de cor (ΔE^*), que variou entre 8,00 a 12,35 e a diferença de tonalidade da cor (ΔH^*), que variou entre 0,60 a 0,97 não houve variação significativa nos diferentes ensaios (Tabela 3). Os modelos de regressão para os parâmetros de cor (L^* , hab , ΔE^* e ΔH^*) não foram significativos ($p < 0,05$)

dentro das condições estudadas, e os coeficientes de regressão (R^2) foram de 41,61%, 48,55%, 39,46% e 35,72%, respectivamente, indicando falta de ajuste dos modelos aos dados, não sendo possível construir as superfícies de resposta. Demonstrando que as condições de hidratação e secagem das amostras de arroz integral não influenciaram na cor do arroz integral, mantendo a coloração amarelo castanho semelhante ao observado na amostra controle. Estes resultados estão de acordo com os observados por Ziegler et al. (2016), que avaliaram os parâmetros de cor de amostras de arroz integral.

Tabela 3 – Parâmetros de cor de amostras de arroz integral submetidas ao processo de hidratação e secagem, nos diferentes ensaios do delineamento experimental

Ensaio	Parâmetros de cor ^a			
	L*	hab	ΔE^*	ΔH^*
E1	66,13 ± 0,08	82,71 ± 1,19	9,15 ± 0,78	0,66 ± 0,45
E2	65,85 ± 1,01	81,32 ± 0,20	8,98 ± 1,67	0,92 ± 0,29
E3	65,07 ± 0,61	82,54 ± 1,17	8,57 ± 1,54	0,60 ± 0,18
E4	64,91 ± 0,78	83,15 ± 2,44	8,00 ± 1,53	0,64 ± 0,53
E5	69,22 ± 0,55	81,13 ± 0,67	12,35 ± 1,24	0,96 ± 0,35
E6	66,70 ± 0,36	81,59 ± 0,83	9,94 ± 0,40	0,82 ± 0,18
E7	69,15 ± 0,73	82,09 ± 1,14	12,28 ± 1,21	0,71 ± 0,63
E8	65,22 ± 0,64	82,00 ± 0,67	8,43 ± 1,27	0,79 ± 0,26
E9(C)	64,92 ± 0,10	80,82 ± 0,18	8,04 ± 0,66	0,72 ± 0,51
E10(C)	63,57 ± 0,36	81,42 ± 0,49	9,75 ± 0,65	0,97 ± 0,36
E11(C)	66,56 ± 0,02	81,58 ± 0,52	10,29 ± 0,98	0,93 ± 0,34
Controle	57,02 ± 0,68	84,70 ± 1,18	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0

^aParâmetros de cor: L= Luminosidade, hab= ângulo de tonalidade, ΔE^* = diferença total de cor e ΔH^* diferença de tonalidade da cor. Controle: Amostra de arroz integral sem hidratação e secagem. Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão.

Fonte: Autores.

Estes resultados estão semelhantes aos reportados por Le e Jittanit (2015) que estudaram a otimização das condições operacionais da produção de arroz integral instantâneo utilizando-se aplicação de micro-ondas seguido de secagem convectiva por ar quente, e constataram que houve diminuição de intensidade na cor do arroz integral, considerando a causa desta como o sendo decorrente do maior tempo de secagem.

4. Considerações Finais

Os resultados indicaram que o processo de hidratação e secagem dos grãos de arroz integral não influenciou significativamente na porcentagem de grãos inteiros, que apresentou valores de 97,66%, de grãos quebrados com valores de 2,41% e no IA, que variou entre 0,38 mg de KOH.g⁻¹ a 0,54 mg de KOH.g⁻¹, nos diferentes ensaios. No entanto, o aumento do teor de umidade das amostras aumentou o índice de fissuras, que variou entre 51% e 97%, e reduziu o tempo de mínimo de cocção, que variou entre 14 min. e 20 min. Além disso, houve alteração nos parâmetros de cor das amostras aumentando os valores de a*, b* e de croma, porém não houve influência nos parâmetros de luminosidade, ângulo de tonalidade, diferença de total de cor e diferença de tonalidade da cor, mantendo as amostras na tonalidade amarelo castanho, semelhante a cor da amostra controle.

A hidratação do arroz integral, com no mínimo 24% de umidade e secagem com temperatura na faixa de 32°C a 38°C possibilitou um aumento de 97% no IF e conseqüentemente, redução de 30% no TMC conferindo maior praticidade no preparo de arroz integral.

Estudos futuros serão desenvolvidos para complementar as avaliações tecnológicas através das análises das características de cocção, determinando-se o rendimento volumétrico, gravimétrico, parâmetros de textura instrumental e características sensoriais do arroz integral.

Referências

- Akowuah, J. O.; Addo, A. & Bart-plange, A. (2012). Influence of drying temperature and storage duration on fissuring and milling quality of jasmine 85 rice variety. *Journal of Science and Technology*, 32(2), 26-33. doi.org/10.4314/just.v32i2.4
- Batista, C. S; dos Santos, J. P., Dittgen, C. L., Colussi, R., Bassinello, P. Z., Elias, M. C., & Vanier, N. L. (2019). Impact of cooking temperature on the quality of quick cooking brown rice. *Food chemistry*, 286, 98-105. doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.187
- Bhattacharya, K. R. (2011). *Rice quality: A guide to rice properties and analysis*. Elsevier.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Instrução normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009. Aprova o Regulamento Técnico do Arroz, definindo o seu

padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado de <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1687046295>

Chen, M., Bergman, C. J., & McClung, A. M. (2019). Hydrolytic rancidity and its association with phenolics in rice bran. *Food Chemistry*, 285, 485-491. doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.139

Cnossen, A. G., Jiménez, M. J., & Siebenmorgen, T. J. (2003). Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures. *Journal of Food Engineering*, 59(1), 61-69. doi. 10.1016/S0260-8774(02)00431-4

Colina, J., & Guerra, M. (2009). Obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida. *Interciencia*, 34(10), 736-741. Recuperado em 18 de agosto de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001000012&lng=pt&tlng=es.

Huang, H., Belwal, T., Li, L., Wang, Y., Aalim, H., & Luo, Z. (2020). Effect of modified atmosphere packaging of different oxygen levels on cooking qualities and phytochemicals of brown rice during accelerated aging storage at 37° C. *Food Packaging and Shelf Life*, 25, 100529. doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100529

Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos* (4ª ed. 1º Edição digital). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf

Juliano, B. O., & Bechtel, D. B. (1985). *The rice grain and its gross composition*. In: Juliano, B. O. *Rice: chemistry and technology*. (2ª. ed., pp.17-57). St. Paul: American Association of Cereal Chemists.

Khalua, R. K., Tewari, S., & Mondal, R. (2019). Nutritional comparison between brown rice and white rice. *Magnesium*, 5, 20.

Le, T. Q., & Jittanit, W. (2015). Optimization of operating process parameters for instant brown rice production with microwave-followed by convective hot air drying. *Journal of Stored Products Research*, 61, 1-8. doi.org/10.1016/j.jspr.2015.01.004

Menezes, N. L. D., Pasqualli, L. L., Barbieri, A. P. P., Vidal, M. D., & Conceição, G. M. (2012). Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(4), 430-436. doi.org/10.1590/S1983-40632012000400011

Minolta, K. (2007). *Precise color communication: color control from perception to instrumentation*. Japan: Konica Minolta.

Mohorič, A., Vergeldt, F., Gerkema, E., de Jager, A., van Duynhoven, J., van Dalen, G., & Van As, H. (2004). Magnetic resonance imaging of single rice kernels during cooking. *Journal of Magnetic Resonance*, 171(1), 157-162. doi. 10.1016/j.jmr.2004.08.013

Monge-Rojas, R., Mattei, J., Fuster, T., Willett, W., & Campos, H. (2014). Influence of sensory and cultural perceptions of white rice, brown rice and beans by Costa Rican adults in their dietary choices. *Appetite*, 81, 200-208. doi. 10.1016/j.appet.2014.06.028

Monks, J. L. F., Vanier, N. L., Casaril, J., Berto, R. M., de Oliveira, M., Gomes, C. B., ... & Elias, M. C. (2013). Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids and technological properties of rice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 30(2), 73-79. doi.org/10.1016/j.jfca.2013.01.009

Mutters, R. G., & Thompson, J. F. (2009). *Rice quality handbook* (Vol. 3514). UCANR Publications.

Odek, Z. R. (2017). *Application of X-ray Imaging as a Technique for Fissure Detection in Rough Rice Kernels*. Doctoral dissertation, University of Arkansas, Fayettevill, United States.

Paraginski, R. T., Ziegler, V., Talhamento, A., Elias, M. C., & Oliveira, M. D. (2014). Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes

temperaturas antes da parboilização. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17(2), 146-153. doi.org/10.1590/bjft.2014.021

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica.[e-book]*. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf.

Rodrigues, M. I., & Iemma, A. F. (2014). *Planejamento de experimentos e otimização de processos*. 3ª. Campinas/SP: Cárita Editora.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. (2018). Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. In: XXXII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. Farroupilha: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Recuperado de http://www.sosbai.com.br/docs/Boletim_RT_2018.pdf

Teló, G. M., Marchesan, E., Ferreira, R. B., Lúcio, A. D. C., Sartori, G. M. S., & Cezimbra, D. M. (2011). Qualidade de grãos de arroz irrigado colhidos com diferentes graus de umidade em função da aplicação de fungicida. *Ciência Rural*, 41(6), 960-966. doi.org/10.1590/S0103-84782011000600007

Wang, C., Feng, Y., Fu, T., Sheng, Y., Zhang, S., Zhang, Y., ... & Zhang, D. (2020). Effect of storage on metabolites of brown rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 4364–4377. doi. 10.1002/jsfa.10462

Wu, J., Chen, J., Liu, W., Liu, C., Zhong, Y., Luo, D., ... & Guo, X. (2016). Effects of aleurone layer on rice cooking: A histological investigation. *Food chemistry*, 191, 28-35. doi. 10.1016/j.foodchem.2014.11.058

Yang, W., Jia, C. C., Siebenmorgen, T. J., Pan, Z., & Cnossen, A. G. (2003). Relationship of kernel moisture content gradients and glass transition temperatures to head rice yield. *Biosystems Engineering*, 85(4), 467-476. doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00091-6

Zhao, L., Yang, J., Wang, S., & Wu, Z. (2020). Investigation of glass transition behavior in a rice kernel drying process by mathematical modeling. *Drying Technology*, 38(8), 1092-1105. doi.org/10.1080/07373937.2019.1612427

Ziegler, V., Ferreira, C., Goebel, J., Batista, A., Kroning, D., & Elias, M. (2016). Efeitos da temperatura de armazenamento sobre as propriedades tecnológicas e sensoriais de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho. *Brazilian Journal of Food Research*, 7(3), 173-189. doi.org/10.3895/rebrapa.v7n3.4013

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Christian Rafael Câmara De Souza – 33,33%

Leomar Hackbart da Silva – 33,33%

Paula Fernanda Pinto da Costa – 33,33%