

**Aplicação tecnológica de fécula de açafrão (*Curcuma Longa L.*) irradiada**  
**Technological application of radiated saffron starch (*Curcuma Longa L.*)**  
**Aplicación tecnológica del almidón de azafrán irradiado (*Curcuma Longa L.*)**

Recebido: 11/12/2020 | Revisado: 15/12/2020 | Aceito: 17/12/2020 | Publicado: 21/12/2020

**Bruna Araújo de Moura**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3016-4650>

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: [moura.araujo.b@gmail.com](mailto:moura.araujo.b@gmail.com)

**Annanda Carvalho dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4057-0839>

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: [annanda.carvalho1@gmail.com](mailto:annanda.carvalho1@gmail.com)

**Samara Kelly Amaral Barros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7090-8650>

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: [aramasly@gmail.com](mailto:aramasly@gmail.com)

**Valter Arthur**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3521-9136>

Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Brasil

E-mail: [arthur@cena.usp.br](mailto:arthur@cena.usp.br)

**Adriana Régia Marques de Souza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0608-9988>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [adriana\\_regia\\_souza@ufg.br](mailto:adriana_regia_souza@ufg.br)

**Miriam Fontes Araújo Silveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0191-8628>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [miriamfas.ufg@gmail.com](mailto:miriamfas.ufg@gmail.com)

**Resumo**

A indústria de alimentos tem procurado cada vez mais amidos nativos modificados de fontes alternativas para diferentes finalidades, sejam elas para a modificação de textura ou agregação

de valor funcional ao alimento. A irradiação aplicada em amidos pode induzir poder emulsificantes, reduzir a retrogradação e melhorar a textura, dentre outras alterações. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação tecnológica da fécula irradiada de açafrão (*Curcuma longa L.*) submetida a diferentes doses de radiação (0; 2,5; 5; 7,5 e 10 kGy) em bolo de cenoura. As análises realizadas nos bolos foram: umidade, proteínas, lipídeos, cinzas, carboidratos, volume específico, cor instrumental da crosta e do miolo, perfil de textura, análises microbiológicas e análise sensorial de aceitação, intenção de compra e índice de aceitabilidade. O padrão de qualidade dos bolos apresentou-se em concordância com a legislação. As doses de radiação influenciaram nos teores de proteínas e cinza e na cor da crosta e do miolo dos bolos. O índice de aceitabilidade para os bolos foi superior a 80%, indicando que a substituição parcial do trigo pela fécula do açafrão irradiado se mostrou viável.

**Palavras-chave:** Amido; Irradiação; Análise sensorial.

### **Abstrat**

The food industry has increasingly sought for native and modified starches from alternative sources for different purposes, either to modify the texture or to add functional value to food. Irradiation applied to starches can induce emulsifying power, reduce retrogradation and improve texture, among other changes. The goal of this work was to evaluate the technological application of irradiated saffron starch (*Curcuma longa L.*) submitted to different radiation doses (0, 2.5, 5, 7.5 and 10 kGy) in carrot cake. The analyzes performed on the cakes were moisture, protein, lipids, ash, carbohydrates, specific volume, instrumental color of the crust and crumb, texture profile, microbiological analysis and sensory analysis of acceptance, purchase intention and acceptability index. The quality standard of the cakes was in accordance with the legislation. The radiation doses influenced only the protein and ash content and the color of the crust and the crumb of the cakes. The acceptability rate for the cakes was higher than 80%, indicating that the partial replacement of the wheat is viable.

**Keywords:** Starcha; Irradiation; Sensory analysis.

### **Resumen**

La industria alimentaria ha estado buscando cada vez más almidones nativos modificados de fuentes alternativas para diferentes propósitos, ya sea para modificar la textura o agregar valor funcional a los alimentos. La irradiación aplicada a los almidones puede inducir poder emulsionante, reducir la retrogradación y mejorar la textura, entre otros cambios. El objetivo

de este trabajo fue evaluar la aplicación tecnológica del almidón de cúrcuma irradiado (*Curcuma longa* L.) sometido a diferentes dosis de radiación (0, 2,5, 5, 7,5 y 10 kGy) en torta de zanahoria. Los análisis realizados en las tortas fueron: humedad, proteínas, lípidos, cenizas, carbohidratos, volumen específico, color instrumental de la corteza y miga, perfil de textura, análisis microbiológico y análisis de aceptación sensorial, intención de compra e índice de aceptabilidad. El estándar de calidad de las tortas se presentó de acuerdo con la legislación. Las dosis de radiación influyeron en el contenido de proteínas y cenizas y en el color de la corteza y la miga de los pasteles. El índice de aceptabilidad de las tortas fue superior al 80%, lo que indica que la sustitución parcial de trigo por almidón de azafrán irradiado resultó viable.

**Palabras clave:** Almidón; Irradiación; Análisis sensorial.

## 1. Introdução

A indústria de panificação é uma das maiores indústrias de alimentos e, em particular, biscoitos, bolachas e bolos são os produtos mais populares (Shafi et al. 2017). Os bolos são produtos apreciados pelos consumidores que estão disponíveis em todo o mundo (Schirmer et al., 2012) e são elaborados a partir de farinhas ou amidos, açúcar, fermento químico ou biológico, podendo conter leite, ovos, manteiga, gordura e outras substâncias alimentícias que o caracterizam (Brasil, 1978). Esses ingredientes são responsáveis por atributos importantes, como alto volume e uniformidade na estrutura do miolo e dureza adequada. A farinha representa o ingrediente mais importante, sendo responsável pela viscosidade da massa, pela incorporação de ar e por sua estabilidade durante o cozimento (Patraşcu et al., 2017).

Para Sahin (2008), a textura dos bolos é determinada pela gelatinização do amido e coagulação protéica durante o cozimento, logo, o amido é um dos elementos responsáveis pela estrutura e resultado final desses produtos (Almeida et al., 2013). A incorporação de amidos nativos e modificados permite a adaptação de uma série de produtos de panificação com mudanças nas características texturais e sensoriais (Barham et al., 2010).

Vários estudos apontam a utilização de farinhas não tradicionais ricas em nutrientes derivados de grãos e outras matérias-primas como leguminosas, nozes, sementes e frutas (Dhen et al., 2016). Dentre elas, destaca-se a fécula de açafrão (*Curcuma longa* L.), extraída dos rizomas da planta. O principal uso do açafrão na culinária é devido à sua capacidade de conferir cor, sabor e aroma a alimentos e bebidas. No entanto, suas propriedades medicinais são reconhecidas há séculos. A curcumina e seus dois compostos desmetoxi relacionados,

demetoxicurcumina e bisdemetoxicurcumina, são responsáveis por sua cor e todas as suas propriedades medicinais (Gan et al., 2017). Estudos demonstraram ser um forte antioxidante, com papel benéfico contra cepas bacterianas e fúngicas, e, também, contra câncer, diabetes, obesidade, doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, distúrbios inflamatórios e patogênese induzida por estresse oxidativo (Stanic, 2017)

A radiação gama tem sido continuamente estudada sobre os efeitos nas várias propriedades do amido (Bashir & Aggarwal, 2016). As propriedades físico-químicas dos macroatomos são modificadas pela irradiação por meio do mecanismo de radicais livres que hidrolisa as ligações químicas, separando grandes moléculas de amido em fragmentos menores. Essas alterações afetam as propriedades físico-químicas dos alimentos irradiados (Wani et al., 2014; Bashir & Aggarwal, 2016; Bashir et al., 2017). Teixeira (2016) aponta que as dificuldades de aplicação dos amidos nativos podem ser reduzidas com a modificação da molécula de polissacarídeo, alterando suas propriedades e, assim, melhor atender às necessidades do mercado.

Vários pesquisadores estabeleceram o efeito da radiação gama em diferentes fontes de amido. Bhat et al. (2016), estudaram o efeito da irradiação gama nas propriedades físico-químicas de amostras de farinha de trigo integral e verificaram que o índice de solubilidade em água, a estabilidade da emulsão, a capacidade de espuma e a estabilidade aumentaram com a irradiação.

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação tecnológica da fécula de açafrão irradiada (*Cúrcuma longa L.*) em bolo de cenoura.

## **2. Material e Métodos**

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal do Tocantins (UFT), no *Campus* de Palmas (TO). A irradiação da fécula de açafrão foi realizada no Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, na cidade de Piracicaba (SP). A análise de perfil de textura dos bolos foi conduzida no Laboratório Multiusuário (LabMulti) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Foi realizada uma pesquisa laboratorial utilizando fécula de açafrão (*Curcuma longa L.*) obtida dos rizomas secundários do açafrão da cooperativa de Mara-Rosa (GO) e submetida a doses de radiação de 0; 2,5; 5; 7,5 e 10 kGy, utilizando o irradiador <sup>60</sup>Co com taxa de radiação de 0,5 kGy/hora.

As cenouras foram higienizadas, descascadas e cortadas, e os ingredientes secos foram peneirados. Após a quantificação de todos os ingredientes, os ovos, o óleo, a cenoura e o sal foram transferidos para um liquidificador e homogeneizados por 3 minutos. Em seguida, esse creme foi misturado com a farinha de trigo, a fécula de açafrão irradiada e o açúcar. Por último, adicionou-se o fermento químico. A massa foi transferida para uma forma quadrada e levada ao forno convencional, pré aquecido, a uma temperatura de 180 °C, por 40 minutos. Os bolos assados e resfriados em temperatura ambiente foram embalados em filme de policloreto de vinila (PVC) e armazenados por 24 h, até o momento das análises.

Foram elaborados cinco bolos, com substituição de 15% da farinha de trigo pela fécula de açafrão irradiada, sendo um bolo para cada dose de radiação (Tabela 1).

**Tabela 1** - Formulação do bolo de cenoura com fécula de açafrão irradiada.

<b>Ingredientes</b>	<b>Formulação (%)</b>
Farinha de trigo s/ fermento	22,0
Fécula de açafrão irradiada	4,0
Açúcar refinado	23,0
Cenoura	23,0
Óleo de milho	10,0
Ovos	17,0
Sal	0,1
Fermento	0,9

Fonte: Autores.

Os bolos foram avaliados em triplicata quanto aos teores de umidade, proteínas, lipídeos e cinzas, de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008). O teor de carboidratos totais foi calculado por diferença (Veit et al., 2012).

Segundo metodologia de Griswold (1972), os bolos foram cortados com um cilindro de 2,5 cm de diâmetro e 2 cm de altura. As amostras foram previamente pesadas em balança semi-analítica ( $\pm 0,1$ ) (marca Radwag) e seus volumes medidos, em triplicata, pelo deslocamento de sementes de painço com o auxílio de uma proveta.

A cor das amostras foi analisada em colorímetro digital (marca Konica Minolta CR4000, fonte de luz D65), em temperatura de 35°C, pelo sistema CIE L\*a\*b. Foram obtidos

em leitura direta o croma C\* (intensidade da cor) e tonalidade cromática °h (McGuire, 1992). As regiões analisadas dos bolos foram o miolo e a crosta.

Foi analisado o perfil de textura pelo método instrumental em texturômetro de bancada (TextureAnalyser, TA-XT Plus, Surrey, England), adotando os seguintes procedimentos: a extremidade superior dos bolos foi retirada para que todas as amostras ficassem da mesma altura, em seguida, foram cortados 10 pedaços de bolo para cada tratamento, com 4,2 cm de altura e 4 cm de largura. Para a compressão das amostras utilizou-se uma probe de alumínio de 36 mm de diâmetro (P/36) e os seguintes parâmetros foram ajustados no equipamento: velocidade de teste, 1,0 mm/s; velocidade de pré-teste, 1,0 mm/s; velocidade de pós-teste, 10,0 mm/s; taxa de compressão, 25% de deformação e um intervalo de 5 s entre os ciclos de compressão. As amostras foram comprimidas duas vezes para a obtenção dos parâmetros de textura (dureza, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade). A análise foi realizada em decaplicata a uma temperatura de 25°C (Andrade et al., 2015).

Para a determinação da qualidade higiênico sanitária do produto foram realizadas as seguintes análises microbiológicas: coliformes a 45 °C/g, estafilococos coagulase positiva/g, *Salmonella* sp./25g, bolores e leveduras (Brasil, 2001; Brasil, 1978). Para todas as amostras foi preparada uma diluição prévia com 25 g da amostra em 225 mL de água peptonada (H<sub>2</sub>O<sub>p</sub>).

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa, parecer 1.999.828, da Universidade Federal do Tocantins, Palmas (TO). Para avaliação da aceitação dos bolos, foram utilizadas amostras dos cinco tratamentos. Os testes de aceitação foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial da UFT, no *Campus* de Palmas/TO, com 70 provadores voluntários não treinados, femininos e masculinos, com idade entre 18 e 52 anos, consumidores de bolos. As amostras codificadas com número de três dígitos aleatórios contendo 20 gramas de bolos foram servidas para cada provador, em cabines individuais iluminadas com luz fluorescente e acompanhadas de um copo de água mineral, para a lavagem do palato, e dois biscoitos de água e sal, conforme o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE.

No teste de aceitabilidade foram avaliados os atributos de aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global, utilizando-se escala hedônica estruturada de 9 pontos, variando entre 9, gostei muitíssimo, e 1, desgostei muitíssimo. Os provadores foram instruídos a julgar inicialmente a aparência e a cor dos bolos pela observação visual e depois aroma, textura e sabor. A intenção de compra do produto foi avaliada através da escala hedônica estruturada de 5 pontos, variando entre 5, certamente compraria, e 1, certamente não compraria (Instituto

Adolfo Lutz, 2008). Para avaliar a preferência, utilizou-se um teste de ordenação, onde os provadores foram orientados a ordenar em ordem crescente as amostras de acordo com a sua preferência. O índice de aceitabilidade (IA) do produto foi determinado de acordo com Meilgaard, Civille e Carr (1991).

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e 3 repetições. Os cinco tratamentos correspondem às doses de radiação empregadas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ao nível de 5% de significância pelo teste F. Para as características da análise sensorial, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de tukey a 5% de significância. Para as demais características foi realizada a análise de regressão, quando o teste F foi significativo. O programa estatístico utilizado na análise dos dados foi o ASSISTAT 7.7 (Silva & Azevedo, 2016).

### 3. Resultados e Discussão

O efeito das doses de radiação da fécula de açafrão sobre a composição centesimal, o valor energético e o volume específico dos bolos está apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Composição centesimal, valor energético e volume específico dos bolos de cenoura elaborados com fécula de açafrão irradiada.

Trat. (kGy)	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)	Valor Energético (Kcal)	Volume Específico (cm <sup>3</sup> /g)
0	27,51 <sup>a</sup>	5,89 <sup>a</sup>	16,98 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>	47,88 <sup>a</sup>	367,99 <sup>a</sup>	2,18 <sup>a</sup>
2,5	29,48 <sup>a</sup>	7,16 <sup>b</sup>	16,53 <sup>a</sup>	1,68 <sup>a</sup>	45,14 <sup>a</sup>	357,98 <sup>a</sup>	2,18 <sup>a</sup>
5	27,87 <sup>a</sup>	7,07 <sup>ab</sup>	16,65 <sup>a</sup>	1,70 <sup>a</sup>	46,71 <sup>a</sup>	365,01 <sup>a</sup>	2,29 <sup>a</sup>
7,5	29,81 <sup>a</sup>	6,98 <sup>ab</sup>	17,07 <sup>a</sup>	1,54 <sup>a</sup>	44,59 <sup>a</sup>	359,95 <sup>a</sup>	2,08 <sup>a</sup>
10	29,16 <sup>a</sup>	6,64 <sup>ab</sup>	16,87 <sup>a</sup>	1,59 <sup>a</sup>	45,73 <sup>a</sup>	361,37 <sup>a</sup>	1,98 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os cálculos estão expressos em base seca ou base úmida. Fonte: Autores

A incorporação da fécula de açafrão sob as diferentes doses de radiação não influenciou significativamente no teor de umidade dos bolos. Os valores obtidos foram inferiores ao encontrado por Cassares et al. (2020), 57,4%, ao estudar o efeito da irradiação

gama na extensão da vida útil de massas frescas. Isso pode ser explicado pelo fato do presente estudo tratar-se de um produto assado, o que confere maior perda de umidade durante o cozimento.

Com relação ao teor proteico, observa-se que o bolo com fécula de açafrão irradiada com 2 kGy apresentou diferença significativa em relação ao bolo do tratamento controle. A diferença apresentada pode estar relacionada aos valores das doses empregadas, pois a radiação gama pode influenciar nas propriedades das proteínas, dependendo de sua natureza e da dosagem aplicada, ocasionando alterações químicas de aminoácidos, como quebra de ligações peptídicas, dissulfídicas, pontes de hidrogênio, bem como ligações cruzadas das cadeias proteicas podem acontecer, influenciando a estrutura terciária das proteínas (Nisizawa, 1988).

Os teores de lipídeos não foram influenciados pelas doses de radiação aplicadas, sugerindo que a irradiação tem pouca influência nas ligações éster dos triglicerídeos.

A irradiação gama não provocou diferença significativa nos teores de cinzas entre os tratamentos. Estudos anteriores sobre irradiação gama de farinha de trigo mostraram variação insignificante no conteúdo de cinzas da farinha de trigo irradiada a 2,5 e 5 kGy (Bhat et al., 2016).

O percentual de carboidrato não foi afetado pelas doses de radiação estudadas, indicando que a irradiação gama não causa degradação dos polissacarídeos, como afirma (Hussain et al., 2014).

Quanto ao valor energético, este não sofreu influência das doses de radiação. No estudo realizado por Alvarenga et al. (2018) foi observado resultado semelhante em biscoito enriquecido com farinha de banana verde irradiada nas doses de 1 e 3 kGy. Os resultados foram de 301,05, 297,34 e 303,44 Kcal para os tratamentos com 0,0 kGy, 1kGy e 3 kGy, respectivamente. Os dados contribuem com o trabalho, pois indicam que as dosagens têm pouca influência no valor calórico, mesmo que ocorram alterações em algumas cadeias glicosídicas.

O volume específico dos bolos não diferiu com a aplicação da irradiação. Este resultado pode ser atribuído ao fato de que cada amido apresenta comportamento diferente diante do tratamento de irradiação, pois, como afirma Grant e D'Appolonia (1991), a irradiação gama gera radicais livres que podem induzir mudanças moleculares e fragmentação do amido e proteínas no trigo. A degradação da proteína, no exemplo do trigo, e subsequente perda de atração intramolecular entre os ingredientes pode gerar um colapso, o que resulta na redução do volume do bolo (Sirisoontarak et al., 2017). No estudo, realizado pelo mesmo

autor, com bolo chiffon irradiado a 0, 2, 4, 6, 8 e 10 kGy, foi verificado que o volume específico diminuiu quando o bolo foi submetido a irradiação de 2 kGy.

Os resultados dos parâmetros avaliados na análise de cor, tanto do miolo quanto da crosta dos bolos, estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Coloração do miolo e da crosta dos bolos de cenoura elaborados com fécula de açafrão irradiada.

	Parâmetro	Doses de radiação (kGy)				
		0	2,5	5	7,5	10
MIOLO	a *	1,13 <sup>ab</sup>	0,71 <sup>a</sup>	1,30 <sup>ab</sup>	1,47 <sup>bc</sup>	2,03 <sup>c</sup>
	b*	35,38 <sup>a</sup>	39,84 <sup>ab</sup>	41,24 <sup>b</sup>	41,09 <sup>b</sup>	43,02 <sup>b</sup>
	L*	23,57 <sup>a</sup>	23,57 <sup>a</sup>	30,45 <sup>b</sup>	30,42 <sup>b</sup>	31,78 <sup>b</sup>
	C*	38,92 <sup>ab</sup>	37,58 <sup>ab</sup>	36,05 <sup>a</sup>	38,78 <sup>ab</sup>	41,95 <sup>b</sup>
	h <sup>0</sup>	88,06 <sup>a</sup>	88,06 <sup>a</sup>	87,54 <sup>a</sup>	87,68 <sup>a</sup>	87,29 <sup>a</sup>
CROSTA	a *	10,83 <sup>ab</sup>	11,91 <sup>b</sup>	11,63 <sup>b</sup>	9,75 <sup>a</sup>	9,71 <sup>a</sup>
	b*	24,19 <sup>a</sup>	27,44 <sup>ab</sup>	25,74 <sup>a</sup>	30,43 <sup>b</sup>	30,35 <sup>b</sup>
	L*	31,59 <sup>a</sup>	36,61 <sup>b</sup>	34,18 <sup>ab</sup>	37,65 <sup>b</sup>	37,21 <sup>b</sup>
	C*	29,30 <sup>ab</sup>	29,14 <sup>a</sup>	30,99 <sup>ab</sup>	35,73 <sup>b</sup>	34,47 <sup>ab</sup>
	h <sup>0</sup>	66,62 <sup>a</sup>	66,89 <sup>a</sup>	67,72 <sup>a</sup>	72,10 <sup>b</sup>	72,99 <sup>b</sup>

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Foi possível observar a mudança na cor do miolo referente às coordenadas a\* e b\*. O valor mais expressivo para a\* foi encontrado no tratamento de 10 kGy, apesar de não diferir estatisticamente do tratamento com 7,5 kGy, o qual houve aumento significativamente ( $p < 0,05$ ) após a irradiação, enquanto b\* diminuiu a intensidade da cor vermelha no tratamento controle, diferindo significativamente dos demais tratamentos, exceto do com 2,5 KGy. O aumento dos valores a\* e b\* podem estar relacionados à reação de caramelização e rompimento das ligações glicosídicas dos carboidratos pela irradiação (Verma et al., 2018). Houve diferença significativa entre o tratamento controle e as doses mais altas aplicadas (5, 7,5 e 10 kGy) para o parâmetro luminosidade (L\*), indicando uma degradação da cor das amostras. Houve diferença estatística entre os tratamentos para os valores de Chroma (C\*) indicando que a irradiação afetou a coloração do miolo dos bolos. Os valores de Hue (h<sup>0</sup>) não

apresentaram diferenças e isso pode estar relacionado ao fato da irradiação não alterar as características colorimétricas das amostras irradiadas, de acordo com Silva et al. (2019).

Para coloração da crosta, o valor da coordenada  $a^*$  do tratamento controle não diferiu significativamente ( $p > 0,05$ ) dos tratamentos com açafrão irradiado. O aumento das doses de irradiação, 7,5 e 10 kGy, causou redução na intensidade das amostras, porém, todas se mantiveram na intensidade  $+a$ , que indica a coloração vermelha. Já para os valores da coordenada  $b^*$ , houve diferença significativa entre o tratamento controle e os com dose de radiação de 7,5 e 10 kGy, causando um aumento na intensidade da cor amarela. Com relação ao parâmetro de cor  $L^*$ , houve diferença significativa entre o tratamento controle e os tratamentos de 2,5, 7,5 e 10 kGy. Nota-se que, conforme houve aumento nas dosagens de irradiação na fécula de açafrão, obteve-se ganho de luminosidade, ou seja, reduziu a tonalidade.

O parâmetro Chroma ( $C^*$ ) não apresentou diferença estatística entre o tratamento controle e os demais tratamentos. Porém, o parâmetro Hue ( $h^0$ ) foi afetado pelas doses de radiação de 7,5 e 10 KGy; seus valores aumentaram em relação aos demais tratamentos. Em produtos forneados, a cor é um parâmetro de qualidade; crosta na sua aparência clara ou escura remete a impressão de falhas durante o processamento, como a temperatura elevada relacionada à presença de açúcares que favorecem as reações de Maillard e de caramelização, levando ao seu escurecimento. A coloração alarajanda da crosta é resultante dos índices de  $a^*$  e  $b^*$  que originaram no índice de saturação.

Os valores dos parâmetros do perfil de textura dos bolos elaborados com fécula de açafrão irradiada estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Perfil de textura dos bolos de cenoura com fécula de açafrão irradiada.

Trat. (KGy)	Dureza	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade
0	638,71 <sup>b</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	427,48 <sup>b</sup>	363,38 <sup>b</sup>
2,5	617,15 <sup>ab</sup>	0,87 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>	416,29 <sup>b</sup>	361,99 <sup>b</sup>
5	534,19 <sup>a</sup>	0,87 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	357,31 <sup>a</sup>	312,06 <sup>a</sup>
7,5	629,43 <sup>b</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	419,54 <sup>b</sup>	358,09 <sup>ab</sup>
10	634,73 <sup>b</sup>	0,87 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	425,01 <sup>b</sup>	368,05 <sup>b</sup>

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores

O bolo com fécula de açafrão irradiada com 5 kGy foi o que apresentou menor dureza, apesar de não diferir significativamente do tratamento com 2,5 KGy. Este comportamento pode estar associado a uma natureza diferente das interações amilopectina-amilopectina formadas nessas amostras (Roman et al., 2020). Além disso, esse comportamento pode estar associado ao fato da radiação ionizante gerar radicais livres capazes de induzir alterações moleculares e fragmentação do amido (Sokhey & Chinnaswamy, 1993). Sugere-se ainda que essa propriedade única seja um dos principais mecanismos subjacentes às alterações físico-químicas em alimentos ricos em amido, como alta solubilidade em água, estabilidade térmica, resistência a retrógrados e diminuição da viscosidade (Atrous et al., 2015). Resultado semelhante foi encontrado no estudo de Sirisoontarak et al. (2017), o qual a dureza do bolo de chiffon irradiado reduziu na dose de 4 kGy e permaneceu inalterado na dose de 6 kGy.

Os valores referentes as elasticidades dos bolos não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Resultado semelhante ao obtido por Seul-Gi e Dong-Hyun (2017), que aplicaram a irradiação gama e feixe de elétrons em massa de biscoito pronta para assar e não observaram diferença entre a massa de biscoito não irradiada e irradiada.

Observa-se que a radiação não afetou a coesividade dos bolos. De acordo com Rios (2014), a baixa coesão indica uma maior suscetibilidade da estrutura do pão a se desintegra, assim, a radiação nas dosagens aplicadas não apresentou efeito positivo sobre esse parâmetro.

A gomosidade indica a energia necessária para desintegrar um alimento semissólido até o ponto que se possa engolir (Gonzalez et al., 2015). Para esta característica a dose de 5 kGy foi a que apresentou diferença significativa em relação ao tratamento controle.

Para o parâmetro mastigabilidade, observou-se que o tratamento com 5 kGy apresentou menor valor, que, por sua vez, apresenta correlação positiva com a dureza e a gomosidade. Segundo Peng et al. (2017), uma mastigabilidade menor denota melhores propriedades de degustação.

Os resultados das análises microbiológicas realizadas nos bolos de cenoura com fécula de açafrão irradiada estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Testes microbiológicos dos bolos de cenoura com féculas de açafrão irradiada.

Tratamento (kGy)	Coliformes a 45°C/g NMP/g	Análise Microbiológicas		
		<i>Salmonella</i> sp./25g (Aus./Pres.)	Estafilococos coagulase positiva /g	Bolores e leveduras/g
0	< 3	Ausência	< 10 estimado	< 10 estimado
2,5	< 3	Ausência	< 10 estimado	< 10 estimado
5	< 3	Ausência	< 10 estimado	< 10 estimado
7,5	< 3	Ausência	< 10 estimado	< 10 estimado
10	< 3	Ausência	< 10 estimado	< 10 estimado
<i>Padrão máximo permitido</i>	10	Ausência	5x10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>

Fonte: Autores.

Os resultados das análises microbiológicas dos bolos apresentaram-se satisfatórios, pois se encontraram de acordo com os limites máximos estabelecidos pela legislação em vigor (Brasil, 2001; Brasil, 1978). Portanto, os bolos mostraram-se aptos para o consumo, com segurança para o consumidor.

Os resultados obtidos na análise sensorial dos bolos mostraram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os atributos analisados. Os valores médios obtidos ficaram entre 7,43 e 7,74, o que equivale na escala hedônica entre “gostei moderadamente” e “gostei muito”.

Vale ressaltar que a fécula irradiada não influenciou negativamente esses atributos, o

que é favorável. Apesar da aplicação da irradiação na fécula não ter elevado potencialmente as características do bolo, a inserção da mesma não prejudicou o produto, indicando seu uso em outro alimento e podendo, até mesmo, melhorar as características desse novo produto.

A análise de cor instrumental foi influenciada pelas doses de radiação, mas a mesma não foi perceptível aos olhos dos provadores. O valor médio obtido foi igual a  $7,63 \pm 1,32$ . Diante deste contexto, os dados são indicativos que a utilização de matéria-prima com coloração semelhante ao produto de aplicação, favoreceu a aceitação por parte dos consumidores, a irradiação potencializou a percepção das cores, que é considerado um fator determinante na análise sensorial.

O valor médio no atributo aparência foi de  $7,66 \pm 1,29$ . Esse resultado indicou que a fécula do açafrão irradiada em combinação com a massa do bolo de cenoura resultou em um produto com visual atrativo. Para os atributos aroma e textura, os valores médios obtidos foram de  $7,43 \pm 1,42$  e  $7,74 \pm 1,25$ , respectivamente. Quanto ao atributo sabor, os resultados indicaram valor médio de  $7,60 \pm 1,38$ . Diante desse resultado, pode-se afirmar que as doses de radiação utilizadas não alteraram o sabor dos bolos e, além disso, proporcionaram segurança ao produto.

Pelos resultados obtidos no teste de Intenção de Compra, observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos. As médias ficaram próximas de 4, entre  $3,79 \pm 0,88$  e  $4,16 \pm 1,03$ , que na escala hedônica estruturada de cinco pontos, corresponde a “provavelmente compraria”. Esses resultados são de grande importância, pois indicam que os provadores aceitaram os bolos e que há possibilidade de inserí-los no mercado, proporcionando variedade de produtos irradiados. Anwar et al. (2015), obtiveram resultados semelhantes em estudo sobre o efeito da radiação nas propriedades tecnológicas de pão. Os resultados revelaram diferença estatística na cor do pão do tratamento controle e do irradiado, no entanto, não houve diferença significativa para os atributos de sabor, textura, aparência e odor entre as amostras do pão.

Os consumidores apresentaram atitude positiva com relação à aceitação dos bolos, visto que todos os tratamentos tiveram Índice de Aceitabilidade maior que 80 %, para todos os atributos estudados (Tabela 6).

**Tabela 6** - Índice de Aceitabilidade dos bolos de cenoura com fécula de açafrão irradiada.

Atributos	Índice de Aceitabilidade dos bolos (%)				
	0	2,5	5	7,5	10
Aparência	84,60	87,30	84,60	83,17	85,71
Cor	84,44	85,71	85,71	83,02	84,92
Aroma	81,27	81,59	83,49	82,22	84,28
Sabor	82,38	84,13	84,92	83,33	87,62
Textura	84,60	84,92	85,71	86,35	88,57
Impressão global	82,38	84,44	83,65	83,49	86,66

Fonte: Autores.

A maioria dos provadores indicou que provavelmente compraria. Os elevados índices de aceitação do bolo de cenoura indicam que é viável a utilização da fécula de açafrão, sem e com irradiação, evidenciando um resultado positivo, pois, segundo Almeida et al. (2011), a substituição parcial da farinha de trigo por fécula, é uma forma de incentivar a cadeia produtiva de outras fontes e reduzir os gastos com a importação de trigo. Em estudo realizado por Cassares et al. (2020), foi verificado que massas frescas submetidas a altas doses de radiação gama (5, 10 e 15 kGy) não diferiram entre si, quanto à preferência dos provadores.

#### 4. Conclusão

A fécula de açafrão irradiada apresentou características tecnológicas importantes, com impacto direto nas características finais do produto. Além disso, diante da alta taxa de aceitação do bolo de açafrão, considera-se uma oportunidade de aprofundar os estudos no que diz respeito à vida de prateleira desse produto, podendo realizar análises físico-químicas, microbiológicas e avaliar seu perfil de textura. Vislumbra-se, também, estudar o uso da fécula de açafrão como ingrediente em formulações de outros produtos de panificação.

#### Referências

Almeida, E. L., Marangoni, A. L. & Steel, C. J. (2013). Starches from non-conventional sources to improve the technological characteristics of pound cake. *Ciência Rural*, 43(11), 2101-2108.

Almeida, M. L., Santos, A. A. O., Silva, I. C. V., da Costa Leite, M. L., dos Santos, J. P. A. & Marcellini, P. S. (2011). Desenvolvimento de bolos de chocolate a partir da incorporação de produtos da mandioca na farinha de trigo. *Scientia Plena*, 7(12).

Alvarenga, N. et al. (2018). Desenvolvimento de biscoitos com farinha de banana verde irradiada por  $^{60}\text{Co}$ : Conservação em embalagens de atmosfera modificada. *Jornal de alimentos e agricultura da Emirates*.

Andrade, L. A., Nagata, C. L. P., Assumpção, G. M. P., Gonçalves, G. A. S. & Pereira, J. (2015). Farinha desmucilada de taro utilizada na elaboração de bolos. *Científica*, 43(3), 203-214.

Anwar, M. M., Asael, M. A. & El-Adly, N. A. (2015). Gamma Radiation Influence on Rheological and Technological Characteristics of Wheat Flour (misr-1) and Sensory Properties of Pan Bread. *Journal of Nuclear Technology in Applied Science (Online)*, 3(2), 89-97.

Atrous, H., Benbettaieb, N., Hosni, F., Danthine, S., Blecker, C., Attia, H. & Ghorbel, D. (2015). Effect of  $\gamma$ -radiation on free radicals formation, structural changes and functional properties of wheat starch. *International journal of biological macromolecules*, 80, 64-76.

Barham, P. et al. (2010). Molecular gastronomy: a new emerging scientific discipline. *Chemical Reviews*, 110(4), 2313-2365.

Bashir, K. & Aggarwal, M. (2016). Effects of gamma irradiation on cereals and pulses—a review. *Int J Recent Sci Res*, 7(12), 14680-14686.

Bashir, K., Jan, K. & Aggarwal, M. (2017). Thermo-rheological and functional properties of gamma-irradiated wholewheat flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(4), 927-935.

Bhat, N. A., Wani, I. A., Hamdani, A. M., Gani, A. & Masoodi, F. A. (2016). Physicochemical properties of whole wheat flour as affected by gamma irradiation. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 175-183.

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Brasília, DF: ANVISA, 2001.

Brasil. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978a. Aprova as seguintes normas técnicas especiais relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território brasileiro. Diário oficial da União. Brasília, DF: Anvisa.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Diário Oficial da União. Brasília, 23 de dezembro de 2003.

Cassares, M., Sakotani, N. L., Kunigk, L., Vasquez, P., & Jurkiewicz, C. (2020). Effect of gamma irradiation on shelf life extension of fresh pasta. *Radiation Physics and Chemistry*, 108940.

Dhen, N., Román, L., Rejeb, I. B., Martínez, M. M., Garogouri, M., & Gómez, M. (2016). Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 179-185.

Dutcosky, S. D. (2011). Análise sensorial de alimentos. In *Análise sensorial de alimentos* (pp. 426-426).

Gan, H., Charters, E., Driscoll, R., & Szrednicki, G. (2017). Effects of drying and blanching on the retention of bioactive compounds in ginger and turmeric. *Horticulturae*, 3(1), 13.

González, A., Alvis, A., & Arrázola, G. (2015). Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas Lam*) Fritos por Inmersión: Parte 1: Textura. *Información tecnológica*, 26(1), 95-102.

Grant, L. A., & D'apponia, B. L. (1991). Effects of low-level gamma radiation on water-soluble nonstarchy polysaccharides isolated from hard red spring wheat flour and bran. *Cereal chemistry*, 68(6), 651-652.

Griswold, R. M. (1972). *Estudo experimental dos alimentos*. EDUSP/Edgard Blucher.

Hussain, P. R., Wani, I. A., Suradkar, P. P., & Dar, M. A. (2014). Gamma irradiation induced modification of bean polysaccharides: Impact on physicochemical, morphological and antioxidant properties. *Carbohydrate polymers*, 110, 183-194.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 4. ed. São Paulo: IMESP, 2008. 1020 p.

Jeong, S. G. & Kang, D. H. (2017). Inactivation of Escherichia coli O157: H7, Salmonella Typhimurium, and Listeria monocytogenes in ready-to-bake cookie dough by gamma and electron beam irradiation. *Food microbiology*, 64, 172-178.

McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.

Meilgaard, M. C., Carr, B. T., & Civille, G. V. (1991). *Técnicas de avaliação sensorial*. CRC press.

Moscatto, J. A., Prudêncio-Ferreira, S. H., & Haully, M. C. O. (2004). Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. *Food Science and Technology*, 24(4), 634-640.

Nisizawa, M. (1988). Studies on irradiation of agar-agar in the solid state: On the changes of water holding capacity of agar-agar hydrogel produced by irradiation. *Journal of applied polymer science*, 36(7), 1673-1676.

Pătrașcu, L., Banu, I., Vasilean, I., & Aprodu, I. (2017). Effect of gluten, egg and soy proteins on the rheological and thermo-mechanical properties of wholegrain rice flour. *Food Science and Technology International*, 23(2), 142-155.

Peng, B., Li, Y., Ding, S., & Yang, J. (2017). Characterization of textural, rheological, thermal, microstructural, and water mobility in wheat flour dough and bread affected by trehalose. *Food Chemistry*, 233, 369-377.

Rios, R. V. (2014). *Efeitos da substituição de gordura vegetal hidrogenada nas propriedades estruturais de bolos* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Roman, L., Reguilon, M. P., Gomez, M. & Martinez, M. M. (2020). Intermediate length amylose increases the crumb hardness of rice flour gluten-free breads. *Food Hydrocolloids*, 100, 105451.

Sahin, S. (2008). Cake batter rheology. *Food engineering aspects of baking sweet goods*, 99-119.

Schirmer, M., Jekle, M., Arendt, E., & Becker, T. (2012). Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake. *Food Research International*, 48(1), 291-298.

Shafi, M., Baba, W. N., Masoodi, F. A., & Bazaz, R. (2016). Wheat-water chestnut flour blends: effect of baking on antioxidant properties of cookies. *Journal of food science and technology*, 53(12), 4278-4288.

Silva, F. D. A. S., & de Azevedo, C. A. V. (2016). The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, 11(39), 3733-3740.

Silva, L. C. et al.(2019). Efeitos da radiação gama na cor e características físico-químicas de abobrinha Cucurbita moschata minimamente processada. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*.

Sirisoontarak, P., Suthirak, P., Papaka, K., & Vongsawasdi, P. (2017). Development of shelf stable chiffon cake using gamma irradiation. *LWT*, 75, 78-84.

Sokhey, A. S., & Chinnaswamy, R. (1993). Chemical and Molecular Properties of Irradiated Starch Extrudates'. *Cereal Chem*, 70(3), 260-268.

Stanić, Z. (2017). Curcumin, a compound from natural sources, a true scientific challenge—a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 1-12.

Teixeira B. S. Características de amidos processados pela radiação ionizante. (2016). (Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo) 107p.

Verma, R., et al. (2018). Physicochemical and functional properties of gamma irradiated buckwheat and potato starch. *Radiation Physics and Chemistry*, 144, 37-42.

Wani, I. A., Jabeen, M., Geelani, H., Masoodi, F. A., Saba, I. & Muzaffar, S. (2014). Effect of gamma irradiation on physicochemical properties of Indian Horse Chestnut (*Aesculus indica* Colebr.) starch. *Food hydrocolloids*, 35, 253-263.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Bruna Araújo de Moura – 40%

Annanda Carvalho dos Santos – 10%

Samara Kelly Amaral Barros – 10%

Valter Arthur – 10%

Adriana Régia Marques de Souza – 20%

Miriam Fontes Araújo Silveira – 10%