

## **Efeito da irradiação gama nas propriedades tecnológicas de amido misto de rizomas primário e secundário de cúrcuma**

**Effect of gamma irradiation on the technological properties of mixed starch of turmeric's primary and secondary rhizomes**

**Efecto de la irradiación gamma sobre las propiedades tecnológicas del almidón mixto de rizomas de cúrcuma primarios y secundarios**

Recebido: 20/12/2022 | Revisado: 03/01/2023 | Aceitado: 06/01/2023 | Publicado: 08/01/2023

**Dien Lin Lu**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0749-2661>  
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
E-mail: [dienykov@gmail.com](mailto:dienykov@gmail.com)

**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)

**Maria Sebastiana Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7265-5872>  
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
E-mail: [mssilva@ufg.br](mailto:mssilva@ufg.br)

**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)

**Miriam Fontes Araujo Silveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0191-8628>  
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
E-mail: [miriam\\_fontes\\_araujo@ufg.br](mailto:miriam_fontes_araujo@ufg.br)

**Maria Assima Bittar Gonçalves**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8145-4025>  
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
E-mail: [assima.bittar@gmail.com](mailto:assima.bittar@gmail.com)

### **Resumo**

O estudo objetivou avaliar o efeito da irradiação nas propriedades tecnológicas dos amidos mistos extraídos de rizomas primário e secundário de cúrcuma. Foi utilizada a cúrcuma da cidade de Mara Rosa, Goiás, para extração do amido misto por meio do método de decantação. Os amidos extraídos foram submetidos às doses de radiações de 2,5, 5 e 10 kGy, exceto o controle. Posteriormente, foram submetidos às seguintes análises: microscopia eletrônica de varredura; propriedade térmica; difração de raio-X; poder de inchamento e solubilidade em água. A irradiação não influenciou morfológicamente os grânulos do amido, no entanto, pode ter causado mudanças no nível molecular. Os amidos irradiados e o controle apresentaram padrão de difração do tipo B. A irradiação diminuiu a cristalinidade dos amidos tratados, mas aumentou na amostra irradiada com 5 kGy. As temperaturas de gelatinização das amostras não foram afetadas pela irradiação, entretanto, as entalpias de gelatinização dos amidos irradiados foram reduzidas. A solubilidade em água aumentou com a elevação da dose da radiação. O poder de inchamento das amostras irradiadas foi reduzido em relação ao controle. As alterações tecnológicas induzidas pela irradiação gama possibilitam o amido misto potenciais aplicações nas indústrias de alimentos.

**Palavras-chave:** Grânulos de amido; Radiação; Extração; Amilopectina.

### **Abstract**

This study aimed to evaluate the effect of irradiation on technological properties of mixed starches extracted from primary and secondary rhizomes of turmeric. Was used Mara Rosa city's tumeric, Goiás State, for the extraction of mixed starches by the method of decanting. The extracted starches were subjected to radiation doses of 2.5, 5 and 10kGy, except the control was not irradiated. Subsequently, they were subjected to the following tests: scanning electron microscopy; thermal properties; X-ray diffraction; swelling power and solubility in water. The irradiation did not influence the morphology of the starch granules, however, it may have caused changes in molecular level. The starches irradiated and control showed B type diffraction pattern, irradiation decreased the crystallinity of treated starches, but increased in the sample irradiated with 5kGy. The gelatinization temperatures of the samples were not

affected by irradiation, however, reduced the enthalpy of gelatinization of the irradiated starches. The water solubility increased with increasing radiation dose. The swelling power of the irradiated samples was reduced compared to control. Technological changes induced by gamma irradiation allow the mixed starch potential applications in the food industries.

**Keywords:** Starch granules; Radiation; Extraction; Amylopectin.

### Resumen

El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la irradiación sobre las propiedades tecnológicas de los almidones mixtos extraídos de rizomas de cúrcuma primarios y secundarios. Se utilizó cúrcuma de la ciudad de Mara Rosa, Goiás, para extraer el almidón mixto por el método de decantación. Los almidones extraídos fueron sometidos a dosis de radiación de 2,5, 5 y 10 kGy, excepto el control. Posteriormente, fueron sometidos a los siguientes análisis: microscopía electrónica de barrido; propiedad térmica; Difracción de rayos X; poder de hinchamiento y solubilidad en agua. La irradiación no influyó morfológicamente en los gránulos de almidón, sin embargo, pudo haber causado cambios a nivel molecular. Los almidones irradiados y el control mostraron un patrón de difracción tipo B. La irradiación disminuyó la cristalinidad de los almidones tratados, pero aumentó en la muestra irradiada con 5 kGy. Las temperaturas de gelatinización de las muestras no se vieron afectadas por la irradiación, sin embargo, las entalpías de gelatinización de los almidones irradiados se redujeron. La solubilidad en agua aumentó con el aumento de la dosis de radiación. El poder de hinchamiento de las muestras irradiadas se redujo en relación al control. Los cambios tecnológicos inducidos por la radiación gamma permiten aplicaciones potenciales de almidón mixto en la industria alimentaria.

**Palabras clave:** Gránulos de almidón; Radiación; Extracción; Amilopectina.

## 1. Introdução

A cúrcuma (*Curcuma Longa* Linneu) é conhecida internacionalmente como “turmeric”; tem origem indiana e é encontrada também nos países da América do Sul. Seus rizomas têm atividade econômica muito importante no setor industrial, sendo amplamente utilizados como matérias-primas para produção de medicamentos, cosméticos, condimentos e aditivos alimentares, como corantes (Panneerselvam *et al.*, 2007; Cecílio Filho *et al.*, 2000).

O amido de cúrcuma não tem sido muito aproveitado industrialmente, visto que sua extração é considerada como atividade secundária, entretanto, devido ao alto teor de amido e ao fato de o processo de isolamento não interferir na obtenção de outros componentes, torna-se promissora a utilização do amido dos rizomas de cúrcuma como fonte de matéria-prima para o uso industrial (Leonel *et al.*, 2003).

O amido é o principal carboidrato de reserva alimentar existente nas plantas (Schmiele *et al.*, 2019), correspondendo de 70 a 80% do consumo diário em calorias ingeridas pelo homem em todo o mundo (Wang *et al.*, 2020; Braga *et al.*, 2006). Obtido de diferentes fontes botânicas, apresenta distintas estruturas, incluindo a distribuição e o tamanho granular, bem como a proporção amilose e amilopectina (Donmez *et al.*, 2021). A amilose, 20-30% do polissacarídeo, é um polímero relativamente linear composto por cadeias longas de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4. A amilopectina, 70-80% do polissacarídeo, é um polímero altamente ramificado, formado por cadeias curtas de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6 (Bemiller, 2019).

O processamento industrial, utilizando meios físicos, químicos, enzimáticos ou combinados, pode modificar as propriedades físicas, químicas e funcionais do amido (Punia, 2020; Syahariza *et al.*, 2010). As propriedades mais relevantes para o aproveitamento do amido na fabricação de alimentos e outras aplicações industriais incluem: gelatinização, retrogradação, viscosidade, poder de inchamento, solubilidade em água, sinérese, perfil reológico e propriedade térmica da pasta (Ascheri *et al.*, 2010).

A irradiação gama tem sido utilizada para estender a vida de prateleira de alimentos e, também, é aplicada para modificar as propriedades físicas de matérias-primas de origem alimentar (Yoon *et al.*, 2010). Pode gerar radicais livres que são capazes de clivar ligações glicosídicas, fragmentando moléculas grandes em tamanhos menores. Essa degradação de polissacarídeos de amido, pela irradiação gama, pode resultar numa redução significativa do peso molecular e da viscosidade da pasta e aumento da solubilidade e da acidez.

Vários estudos têm sido realizados para estabelecer o efeito da radiação gama em diversas fontes de amido (Moura *et al.*, 2020; Verma *et al.*, 2018; Bashir & Aggarwal, 2016). Entretanto, algumas propriedades como estrutura granular, cristalinidade e gelatinização ainda não foram bem esclarecidas, devido às diferentes origens botânicas e às doses de radiação aplicadas (Chung & Liu, 2010).

Ferreira *et al.* (2020) concluíram na pesquisa bibliográfica que a tecnologia utilizada para a irradiação de alimentos favorece o fornecimento da segurança alimentar e nutricional, pois além de ser um método de processamento de alimentos limpo e seguro, garante o aumento da oferta de alimentos de alta qualidade biológica, sanitária e nutricional.

Considerando as características particulares de cada tipo de amido, torna-se importante a investigação do efeito que a irradiação pode ocasionar nas propriedades tecnológicas dessa reserva alimentar. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações tecnológicas do amido misto extraído de rizomas primário e secundário da cúrcuma exposto a diferentes doses de radiação gama.

## 2. Metodologia

A cúrcuma (*Curcuma Longa* L.) foi obtida na Cooperativa dos Produtores de Açafrão de Mara Rosa, na cidade de Mara Rosa, Goiás. Os rizomas da cúrcuma foram divididos em primário e secundário para extração de seus respectivos amidos.

A extração de amido do rizoma primário e secundário foi feita de acordo com o processo descrito por Leonel *et al.* (2003), com modificações. Um quilo de rizomas (meio quilo de cada rizoma) foi utilizado para extração. Os rizomas higienizados foram triturados em liquidificador industrial inox da marca Metalúrgica Siemens, modelo LB-25, por 5 minutos com dois volumes de água. Após trituração, usou-se peneira de 270 *mesh* para quatro lavagens da massa, com dois volumes de água para cada lavagem. Após a lavagem, o leite de amido foi submetido à decantação em câmara fria, durante 24 horas a 5°C. O amido decantado foi lavado com etanol 90%, para remoção do óleo resina e da curcumina. Após, o amido foi seco em estufa à vácuo, durante 24 horas a 38°C, para obtenção da amostra para irradiação.

As amostras foram acondicionadas em vidro âmbar e enviadas Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, Piracicaba/SP, onde receberam doses de 2,5, 5 e 10 kGy, utilizando o irradiador  $^{60}\text{Co}$ , com taxa de irradiação de 0,5 kGy/hora. O controle, sem irradiação, foi mantido nas mesmas condições.

Os grânulos de amido foram observados em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Uma pequena quantidade de amostra de amido foi colocada sobre uma fita adesiva aderida a um disco metálico e conduzida ao MEV, marca Jeol, modelo JSM-6610, com as micrografias obtidas em escala 500x de magnificação.

A cristalinidade relativa foi determinada utilizando um Difrátometro de raio-X, marca Shimadzu, modelo XRD-6000. O difratograma foi medido entre intervalos de 4° a 35° na escala de 2 $\theta$ , com velocidade de digitalização de 1°/min. O grau de cristalinidade foi calculado pelo software padrão da análise de sistema do difratômetro.

Para análise da propriedade térmica foi utilizada a metodologia de Singh *et al.* (2011). A temperatura inicial ( $T_i$ ), a temperatura de pico ( $T_p$ ), a temperatura final ( $T_f$ ) e a entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ) foram calculadas pelo Software Star<sup>e</sup>.

As análises do poder de inchamento e da solubilidade do amido misto foram realizadas segundo método descrito por Schoch (1964), com adaptações. As suspensões foram preparadas com 0,3 g (base seca) de amido misto e 30 mL de água destilada em tubos de centrifuga e aquecidas em banho térmico com agitação constante, por 30 minutos, em diferentes temperaturas (60, 70, 80 e 90 °C). Posteriormente, as suspensões foram centrifugadas por 10 minutos a 8000 x g em centrífuga MPW, modelo 350-R. Uma alíquota de 5 mL de sobrenadante foi retirada e seca em estufa convencional a 105°C, para obter a massa constante de sobrenadante seco (Mso). O material aderido no tubo de centrífuga foi pesado como a massa de

sedimentado (Ms). O poder de inchamento (P.I.) e a solubilidade (S%) foram calculados segundo as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$PI(g/g) = Ms \times 100/0,3 \times (100 \times S\%) \quad (1)$$

$$S\% = Mso \times 600/0,3 \quad (2)$$

As amostras foram analisadas em triplicatas e os resultados submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância, utilizando o programa estatístico SPSS versão 15.0.

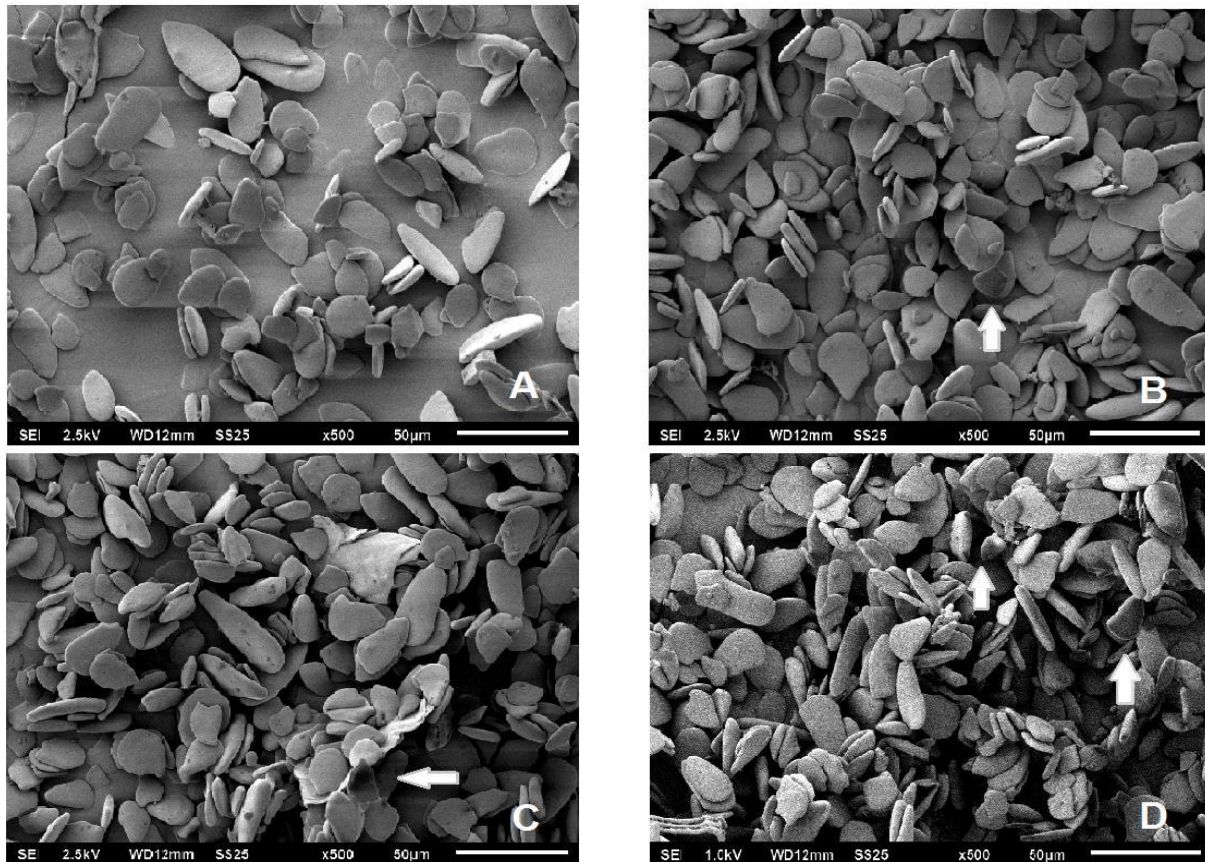
### 3. Resultados e Discussão

As imagens da MEV (Figura 1) indicam que os grânulos do amido misto possuem forma triangular ou elíptica achatada, com certa espessura e variação do tamanho, e superfícies lisas. Resultados semelhantes foram reportados por Braga *et al.* (2006) e Leonel *et al.* (2003), que analisaram a forma dos grânulos de amido não irradiado de cúrcuma. Alguns grânulos apresentaram rugosidade ou fragmentação superficial. A presença de fragmentação superficial nos grânulos de amido foi observada por Singh *et al.* (2006), que pesquisaram grânulos de fécula de batata.

As microestruturas dos grânulos, tanto do amido não tratado quanto dos tratados com diferentes doses de radiação, não apresentaram mudanças visuais nas superfícies. Presume-se que a irradiação gama em si não influencia morfológicamente os grânulos de cúrcuma, preservando, assim, sua integridade original da forma e do tamanho. Liu *et al.* (2012), que irradiaram amido de milho até 500 kGy, relataram que a morfologia dos grânulos não foi alterada. Chung & Liu (2010) reportaram que, em pesquisa feita com fécula de batata irradiada até 50 kGy, a superfície dos grânulos também não foi afetada pela irradiação.

De acordo com imagens dispostas na Figura 1, observa-se que alguns grânulos foram queimados pelo feixe de luz emitido pela MEV (seta). Essa queima pode ter sido causada pela irradiação que provocou a fragilidade na estrutura molecular dos grânulos do amido. Esse fato aconteceu principalmente com as amostras que receberam as maiores doses de radiação, o que forçou uma redução da voltagem da MEV para amenizar o escurecimento dos grânulos.

**Figura 1** - Micrografias dos grânulos dos amidos mistos não irradiado (A, 500x) e irradiados com 2,5 kGy (B, 500x), 5 kGy (C, 500x) e 10 kGy (D, 500x).

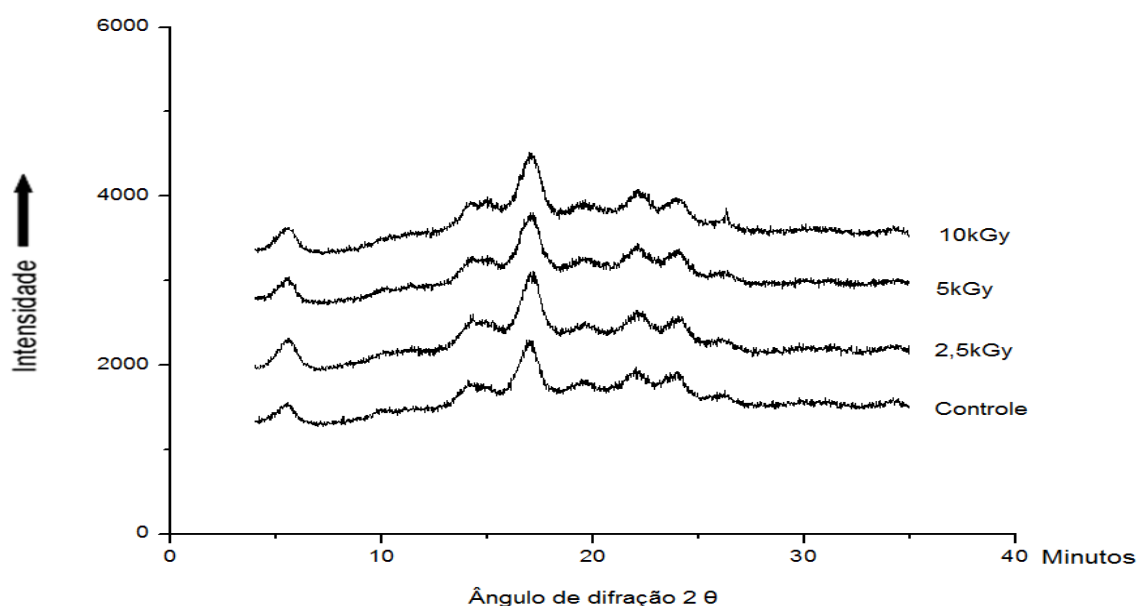


Fonte: Dados dos autores.

O padrão de difração de raio-X dos amidos mistos não irradiados e irradiados de rizomas primário e secundário de cúrcuma, está apresentado na Figura 2. O amido não tratado mostrou o padrão de difração tipo B com fortes reflexões nos ângulos de difração  $2\theta$  de  $5,6^\circ$ ,  $17,1^\circ$ ,  $22^\circ$  e  $24^\circ$ . O padrão tipo B é típico dos tubérculos, rizomas, frutas e alguns amidos com alto teor de amilose. Os amidos irradiados exibiram o padrão de difração de raio-X similar ao amido não irradiado, sem mudanças no tipo de padrão.



**Figura 2** - Representação ilustrativa de Padrão tipo B da difração de raio-X dos amidos mistos não irradiado e irradiados com 2,5, 5 e 10 kGy.



Fonte: Dados dos autores.

A cristalinidade relativa do amido misto não irradiado foi de 20,88% (Tabela 1), os valores de cristalinidade oscilaram com o aumento da dose de radiação, sendo 18,35, 22,59 e 18,58% para amidos irradiados com 2,5, 5 e 10 kGy, respectivamente.

**Tabela 1** - Propriedade térmica e cristalinidade relativa dos amidos mistos não irradiado e irradiados de rizomas primário e secundário de *Curcuma Longa* L.

Doses de radiação (kGy)	Parâmetros térmicos			Cristalinidade Relativa	
	$T_i$ (°C) <sup>a</sup>	$T_p$ (°C) <sup>a</sup>	$T_f$ (°C) <sup>a</sup>	$\Delta H$ (J/g) <sup>a</sup>	(%)
0	76,13±0,15 <sup>a</sup>	81,86±0,15 <sup>ab</sup>	88,00±0,10 <sup>a</sup>	14,00±0,04 <sup>a</sup>	20,88±0,20 <sup>b</sup>
2,5	76,23±0,14 <sup>a</sup>	81,77±0,16 <sup>ab</sup>	87,36±0,25 <sup>b</sup>	11,92±0,03 <sup>b</sup>	18,35±0,09 <sup>c</sup>
5	76,10±0,21 <sup>a</sup>	81,65±0,10 <sup>a</sup>	86,96±0,15 <sup>b</sup>	10,94±0,05 <sup>d</sup>	22,59±0,19 <sup>a</sup>
10	76,21±0,19 <sup>a</sup>	81,92±0,19 <sup>b</sup>	87,33±0,14 <sup>b</sup>	11,14±0,03 <sup>c</sup>	18,58±0,05 <sup>c</sup>

Média ± desvio padrão. Os valores seguidos pela mesma letra dentro da mesma coluna não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ). <sup>a</sup>  $T_i$  = Temperatura de gelatinização;  $T_p$  = Temperatura de pico;  $T_f$  = Temperatura final;  $\Delta H$  = Entalpia. Fonte: Dados dos autores

O aumento de cristalinidade relativa com irradiação tem sido reportado em trabalhos com amido de milho (Chung & Liu, 2009), de arroz (Bao *et al.*, 2005) e de trigo (MacArthur & D’Apolonia, 1984). No entanto, casos de redução de cristalinidade relativa, com aumento da irradiação, também foram relatados por Liu *et al.* (2012), Singh *et al.* (2011) e Chung e Liu (2010), que estudaram amido de milho, fécula de batata e amido de feijão, respectivamente.

A cristalinidade relativa de amidos, em geral, é restrita pelo tamanho de cristalito, orientação de dupla hélice, comprimento médio da cadeia de amilopectina e porcentagem molar da fração de cadeia curta de amilopectina (Gunaratne & Hoover, 2002). O decréscimo de cristalinidade das amostras irradiadas com 2,5 e 10 kGy, pode estar correlacionado à redução do conteúdo de amilopectina e à desordenação da dupla hélice na estrutura interna dos grânulos, conforme Liu *et al.* (2012). Porém, segundo Chung & Liu (2009), o aumento da cristalinidade pela irradiação, provavelmente, está ligado à lenta taxa de dosagem, no qual o tempo do processo de irradiação torna-se prolongado, permitindo a ocorrência de recombinação de radicais livres na formação de estrutura cristalina.

Os resultados das temperaturas de gelatinização ( $T_i$ ,  $T_p$  e  $T_f$ ) e a entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ) das amostras, também, estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que as temperaturas iniciais de gelatinização das amostras foram semelhantes, que as temperaturas de pico e finais decaíram ligeiramente conforme o aumento da dose de radiação até 5 kGy e aumentaram na amostra irradiada com 10 kGy. O mesmo comportamento foi verificado com as entalpias de gelatinização, sendo que o amido não tratado apresentou maior entalpia de gelatinização (14 J/g) e o amido tratado com 5 kGy menor entalpia (10,94 J/g).

A redução das temperaturas de gelatinização e da entalpia observada neste estudo, também tem sido relatada por Liu *et al.* (2012), Chung *et al.* (2010), e Bao *et al.* (2005), que trabalharam com amido de milho, amido de milho ceroso e farinha de arroz, respectivamente. Esse decréscimo, provavelmente, pode estar relacionado ao baixo conteúdo de amilopectina e/ou à ausência de cristalito de longa extensão. Sugere-se que a alta dose de radiação possa despolimerizar, parcialmente, as cadeias ramificadas de amilopectina e quebrar as forças de ligação entre as duplas hélices (Liu *et al.*, 2012).

O aumento de entalpia de gelatinização e o decréscimo de cristalinidade foram observados no amido tratado com 10 kGy. Cooke e Gidley (1992) sugeriram que a entalpia de gelatinização reflete, principalmente, na perda da ordem da dupla hélice (estabilidade estrutural) em vez da perda da ordem cristalina (empacotamento denso). Para atingir a dose de 10 kGy, um tempo maior foi despendido e, durante esse período prolongado, foi possível ocorrer a reestruturação molecular das cadeias da fécula dentro da região amorfa e cristalina. Esse processo de reestruturação poderia promover a ligação de hidrogênio dentro das cadeias de amido, procedendo uma estabilidade estrutural (rearranjo de dupla hélice), que levaria a um aumento na entalpia de gelatinização sem gerar o empacotamento denso na ordem molecular, podendo ser detectado por difração de raio-X (Chung & Liu, 2009).

Os resultados da solubilidade (Tabela 2) mostraram que todas as amostras tornaram-se mais solúveis com o aumento da temperatura. O amido não irradiado apresentou menor solubilidade e os amidos irradiados tiveram aumento crescente de solubilidade, conforme o aumento da dose de radiação. Quando a fécula é aquecida em excesso de água, os grânulos se expandem com as moléculas de água ligadas nos seus grupos hidroxilas de amilose e amilopectina. Quando se elevou a temperatura de 60 a 90 °C, as amostras irradiadas tornaram-se mais solúveis, concluindo que o efeito da irradiação foi maior que o efeito do aquecimento na solubilidade.

Diversas pesquisas relataram o mesmo comportamento observado no presente estudo, onde a temperatura e a irradiação aumentaram a solubilidade do amido na água. Liu *et al.* (2012) irradiaram amido de milho até 500 kGy e obtiveram elevação da solubilidade até 48,64%. De Kerf *et al.* (2001) observaram aumento na solubilidade dos amidos de milho e batata, utilizando irradiação gama e feixe de elétron. MacArthur e D'Appolonia (1984) também melhoraram a solubilidade do amido de trigo com baixa dose de irradiação gama.

**Tabela 2** - Solubilidade em água e poder de inchamento dos amidos mistos não irradiado e irradiados de rizomas primário e secundário de *Curcuma Longa* L.

Rizomas	Doses de radiação (kGy)	Temperatura			
		60°C	70°C	80°C	90°C
Solubilidade (%)	0	0,71±0,07 <sup>aA</sup>	0,85±0,13 <sup>aA</sup>	2,51±0,04 <sup>bA</sup>	5,67±0,06 <sup>cA</sup>
	2,5	0,52±0,09 <sup>aA</sup>	0,73±0,03 <sup>aA</sup>	3,20±0,11 <sup>bB</sup>	5,77±0,03 <sup>cA</sup>
	5	1,10±0,10 <sup>aB</sup>	1,47±0,08 <sup>bB</sup>	3,23±0,15 <sup>cB</sup>	7,84±0,23 <sup>dB</sup>
	10	0,79±0,03 <sup>aAB</sup>	1,08±0,18 <sup>aA</sup>	1,73±0,09 <sup>bD</sup>	14,00±0,20 <sup>cC</sup>
Inchamento (gAmido/gÁgua)	0	2,24±0,07 <sup>aC</sup>	2,71±0,02 <sup>bA</sup>	2,95±0,04 <sup>bB</sup>	7,47±0,10 <sup>cA</sup>
	2,5	2,36±0,01 <sup>aBC</sup>	2,76±0,05 <sup>bA</sup>	3,18±0,07 <sup>cAB</sup>	6,97±0,22 <sup>dB</sup>
	5	2,64±0,05 <sup>aA</sup>	2,75±0,02 <sup>aA</sup>	3,33±0,12 <sup>bA</sup>	5,64±0,03 <sup>cC</sup>
	10	2,55±0,07 <sup>aAB</sup>	2,81±0,03 <sup>bA</sup>	3,01±0,06 <sup>bB</sup>	7,37±0,05 <sup>cA</sup>

Médias ± desvios padrão. Valores seguidos pela mesma letra minúscula dentro da mesma linha e os seguidos pela mesma letra maiúscula dentro da mesma coluna não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ). Fonte: Dados dos autores.

No poder de inchamento, todas as amostras observadas tiveram aumento de inchamento, com a elevação da temperatura (de 60 à 90°C). Entre as temperaturas testadas, o amido controle obteve o maior inchamento, com 5,23 g/g (90 - 60 °C), e o amido irradiado a 5 kGy a menor expansão (3 g/g). O inchamento decresceu com o aumento da dose da radiação até 5 kGy e aumentou na amostra tratada com 10 kGy.

A amilopectina é considerada fator principal no inchamento dos grânulos de amido, pelo fato de que os grupos fosfatos que contêm cargas negativas, existentes na amilopectina, repulsam entre si nas cadeias adjacentes e essa repulsão pode aumentar a hidratação por meio do enfraquecimento de ligações dentro do domínio cristalino (Singh *et al.*, 2003). Uma vez reduzida a quantidade de fração de amilopectina pela radiação gama, o poder de inchamento também é diminuído. Diversas pesquisas reportaram que a capacidade de inchamento de amido foi reduzida, devido à diminuição de amilopectina pelo processo de irradiação (Chung & Liu, 2010; Chung & Liu, 2009; Abu *et al.*, 2006; De Kerf *et al.*, 2001; MacArthur & D'Appolonia, 1984).

## 4. Conclusão

A irradiação gama não modificou morfológicamente os grânulos, mas, induziu mudanças tecnológicas nos amidos analisados. A irradiação foi eficiente na modificação do amido misto de cúrcuma, potencializando sua utilização para possível aplicação industrial.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos que avaliem o uso desse amido como ingrediente em formulações de produtos para industrialização.



## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Cooperativa dos Produtores de Açafração de Mara Rosa, pelo recurso financeiro e matérias-primas, respectivamente.

## Referências

- Abu, J. O., Duodu, K.G. & Minnaar, A. (2006). Effect of  $\gamma$ -irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna Unguiculata* L. Walp) starch. *Food Chemistry*, 95, 386-393.
- Ascheri, D. P. R., Moura, W. S., Ascheri, J. L. R. & Carvalho, C. W. P. (2010). Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40, 159-166.
- Bao, J., Ao, Z. & Jane, J. (2005). Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. *Starch/Stärke*, 57, 480-487.
- Bashir, K. & Aggarwal, M. (2016). Effects of gamma irradiation on cereals and pulses - a review. *International Journal of Recent Scientific Research*, 7(12), 14680-14686.
- Bemiller, J. N. (2019). Starches: molecular and granular structures and properties. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, 3, 159-189.
- Braga, M. E. M., Moreschi, S. R. M., Meireles, M. A. A. (2006). Effects of supercritical fluid extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. *Carbohydrate Polymers*, 63, 340-346.
- Cecílio Filho, A. B. C., Souza, R. J., Braz, L.T. & Tavares, M. (2000). Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usos potenciais. *Ciência Rural*, 3(1), 171-175.
- Chung, H. J., Lee, S. Y., Kim, J., Lee, J. W., Byun, M. & Lim, S. (2010). Pasting characteristics and in vitro digestibility of  $\gamma$ -irradiated RS<sub>4</sub> waxy maize starches. *Journal of Cereal Science*, 52, 53-58.
- Chung, H. J. & Liu, Q. (2009). Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. *Journal of Food Science*, 74, 353-361.
- Chung, H. J. & Liu, Q. (2010). Molecular structure and physicochemical properties of potato and bean starches as affected by gamma irradiation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 47, 214-222.
- Cooke, D. & Gidley, M. J. (1992). Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition. *Carbohydrate Research*, 227, 103-112.
- De Kerf, M., Mondelaers, W., Lahorte, P., Vervaet, C. & Remon, J. P. (2001). Characterisation and disintegration properties of irradiated starch. *International Journal of Pharmaceutics*, 221, 69-76.
- Donmez, D., Pinho, L., Patel, B., Desam, P. & Campanella, O. H. (2021). Characterization of starch-water interactions and their effects on two key functional properties: starch gelatinization and retrogradation. *Current Opinion in Food Science*, 39, 103-109.
- Ferreira, A. S., Tavares, D. Y. S., Ornela, L. L., Rodrigues, M. S., Pelegrineli, S. Q. & Filho, W. S. S. (2020) Normas nacionais para beneficiamento em irradiação de alimentos. *Brazilian Journal of Development*, 6 (7), 43201-43213.
- Gunaratne, A. & Hoover, R. (2002). Effect on heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49, 425-437.
- Leonel, M., Sarmiento, S. B. S. & Cereda, M. P. (2003). New starches for the food industry: *Curcuma longa* and *Curcuma zedoaria*. *Carbohydrate Polymers*, 54, 385-388.
- Liu, T., Ma, Y., Xue, S. & Shi, J. (2012). Modifications of structure and physicochemical properties of maize starch by  $\gamma$ -irradiation treatments. *LWT – Food Science and Technology*, 46, 156-163.
- MacArthur, L. A. & D'Appolonia, B. L. (1984). Gamma radiation of wheat. II. Effects of low-dosage radiations on starch properties. *Cereal Chemistry*, 61, 321-326.
- Moura, B. A., Santos, A. C., Barros, S. K. A., Arthur, V., Souza, A. R. M. & Silveira, M. F. A. (2020). Aplicação tecnológica de fécula de açafração (*Curcuma Longa* L.) irradiada. *Research, Society and Development*, 9(12), e24091211103.
- Panneerselvam, R., Abdul, J. C., Somasundaram, R., Sridharan, R. & Gomathinayagam, M. (2007). Carbohydrate metabolism in *Dioscorea esculenta* (Lour.) Burk. tubers and *Curcuma longa* L. rhizomes during two phases of dormancy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59, 59- 66.
- Punia, S. (2020). Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 578-585.
- Schmiele, M., Sampaio, U. M. & Clerici, M. T. P. S. (2019). Basic principles: composition and properties of starch. *Starches for Food Application*, 1-22.
- Schoch, T. J. Swelling power and solubility of granular starches. In: Whistle R. R. L. et al. (1964). *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Orlando: Academic Press, 4, 106-108.

Singh, J., McCarthy, O. J. & Singh, H. (2006). Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand *Taewa* (Maori potato) starches. *Carbohydrate Polymers*, 64, 569 – 581.

Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S. & Gill, B. S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 219 - 231.

Singh, S., Singh, N., Ezekiel, R & Kaur, A. (2011). Effects gamma irradiation on the morphological, structural, thermal and rheological properties of potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 83, 1521-1528.

Syahriza, Z. A., Li, E. & Hasjim, J. (2010). Extraction and dissolution of starch from rice and sorghum grains for accurate structural analysis. *Carbohydrate Polymers*, 82, 14-20.

Verma, R., Jan, S., Rani, S., Jan, K., Swer, T. L., Prakash, K. S., Dar, M. Z. & Bashir, K. (2018). Physicochemical and functional properties of gamma irradiated buckwheat and potato starch. *Radiation Physics and Chemistry*, 144, 37-42.

Wang, S., Chao, C., Cai, J., Niu, B., Copeland, L. & Wang, S. (2020). Starch–lipid and starch–lipid–protein complexes: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19, 1056-1079.

Yoon, H. S., Yoo, J. Y., Kim, J. H., Lee, J. W., Byun, M. W., Baik, B. K. & Lim, S. T. (2010). *In vitro* digestibility of gamma irradiated corn starches. *Carbohydrate Polymers*, 81, 961-963.