

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DIEN LIN LU

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO GAMA NAS PROPRIEDADES
TECNOLÓGICAS DE FÉCULAS EXTRAÍDAS DE *CURCUMA*
*LONGA L.***

Goiânia
2013

DIEN LIN LU

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO GAMA NAS PROPRIEDADES
TECNOLÓGICAS DE FÉCULAS EXTRAÍDAS DE *CURCUMA
LONGA L.***

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

Orientadora: Prof^a Dr^a Adriana Régia Marques de Souza

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Maria Sebastiana Silva

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

Lu, Dien Lin.

L926e Efeito da irradiação gama nas propriedades tecnológicas de féculas extraídas de *Curcuma longa* L. [manuscrito] / Dien Lin Lu. – 2012.

52 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Adriana Régia Marques de Souza;
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Sebastiana Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,
Escola Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2013.

Bibliografia.

1. *Curcuma longa* L. (Açafrão). 2. Fécula. 3. Irradiação gama. I. Título.

CDU: 582.572.7



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

DIEN LIN LU

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO GAMA NAS
PROPRIEDADES TECNÓLOGICAS DE FÉCULAS
EXTRAÍDAS DE *Curcuma Longa L.***

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 05 de Fevereiro de 2013,
pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Profª Drª Adriana Régia Marques Souza
Orientador(a) – EA/UFG

Prof. Dr. Celso José de Moura
Membro

Profª Drª Clarissa Damiani
Membro – EA/UFG

Profª Drª Maria Sebastiana Silva
Membro – EA/UFG

DEDICATÓRIA

Aos Meus pais, professores e amigos que me acompanharam desde o início até o fim

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, Deus, que me proporcionou esse ambiente de estudos, trabalhos e desafios;

Agradeço de forma incondicional, à minha família, o núcleo da minha vida, que está sempre do meu lado, dando apoios extraordinários;

Agradeço do fundo do coração, à minha Orientadora Adriana e Co-orientadora Maria, que me receberam como orientando, gastaram tempos preciosos de suas vidas, compartilharam os momentos de frustrações e felicidades, para concretização do meu trabalho, ou melhor, de um sonho de ser Mestre;

Agradecimento especial para professora Mara Reis, que me concedeu a oportunidade de pesquisar no LANAL e fez parte da banca da qualificação;

Agradeço à professora Clarissa, como banca da defesa e pelos incentivos;

Agradeço aos professores Celso e Angelo, foi uma honra tê-los como banca examinadora;

Agradeço à Cooperativa dos Produtores de Açafreão de Mara Rosa, que forneceu rizomas de cúrcuma para análises;

Agradeço ao professor Valter Arthur do Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, que irradiou as féculas;

Agradeço ao Tiago, que contribuiu muito com seus conhecimentos para realização de análises químicas;

Agradeço à Thaís, pelos esforços e horas despendidas na extração de fécula.

Agradeço à professora Maria Inês e Gustavo, que auxiliaram nas análises de DSC e DRX;

Agradeço ao professor Eduardo e Edemilson, pelo uso de seu laboratório na Faculdade de Farmácia;

Agradeço à Lucidarcy, que ajudou na análise de microscopia óptica;

Agradeço a todos os professores do Programa que contribuíram com seus conhecimentos;

Agradeço aos colegas do curso, pela companhia durante os dois anos;

Agradeço ao Diogo e ao Gerlon, pelas amizades cultivadas desde o período pré-histórico;

Agradeço ao CNPQ pelo apoio financeiro;

E agradeço ainda à todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente na concretização da pesquisa.

RESUMO

A cúrcuma é conhecida internacionalmente e utilizada como matéria prima para vários produtos alimentícios e farmacêuticos. Os rizomas da cúrcuma são processados e deles se extraem óleo essencial, curcumina e fécula. A extração de fécula não compromete a obtenção de outros componentes da cúrcuma e, devido ao seu teor elevado dentro dos rizomas, torna-se interessante seu aproveitamento como matéria prima para uso industrial. A irradiação é utilizada para fins como conservação e modificação física dos alimentos, a fécula irradiada tem sido pesquisada como alternativa para sua utilização nas indústrias como matéria prima. Este estudo objetivou em avaliar o efeito da irradiação nas propriedades tecnológicas das féculas extraídas de rizomas de cúrcuma. Foi utilizada a cúrcuma da cidade de Mara Rosa, Goiás, para extração das féculas do rizoma primário e secundário por meio do método de decantação. As féculas extraídas foram submetidas às doses de radiações de 2,5, 5 e 10kGy, exceto o controle não foi irradiado. Posteriormente, foram submetidas 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 das féculas nos dois rizomas, entretanto, pode ter causado mudanças no nível molecular. As duas féculas irradiadas e o controle apresentaram padrão de difração do tipo B, a irradiação aumentou a cristalinidade daquelas que foram irradiadas. Para as féculas do rizoma primário, até 5kGy, as temperaturas de gelatinização aumentaram e as entalpias de gelatinização decresceram. A irradiação não teve efeito nas temperaturas de gelatinização das amostras do rizoma secundário. A solubilidade em água das féculas dos dois rizomas aumentou com a irradiação, sendo esse efeito mais efetivo no rizoma primário. A irradiação aumentou o poder de inchamento de todas as amostras e acelerou a expansão das amostras quanto maior a dose empregada. As alterações tecnológicas induzidas pela irradiação gama possibilitam as féculas potenciais aplicações nas indústrias de alimentos como espessante.

Palavras-chave: Cúrcuma, fécula, irradiação gama, rizoma, amilopectina, espessante

ABSTRACT

Turmeric is known internationally and used as a raw material for various food products and pharmaceuticals. The rhizomes of turmeric are processed and then essential oil, curcumin and starch are extracted. The extraction of starch does not compromise the achievement of other components of turmeric and, due to its high rhizomes contents, it's of high interests in industrial use. Irradiation is used for purposes such as conservation and physical modification of food. The starch irradiated has been researched as an alternative to its use as a raw material in industries. This study aims at evaluating the effect of irradiation on the technological properties of starches extracted from turmeric rhizomes. Was used Mara Rosa city's turmeric, Goiás State, for extraction of starch from the primary and secondary rhizome through 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. Irradiation did not affect the morphology of starch granules in both rhizomes; however, it may have caused changes at the molecular level. Both control and irradiated starches showed B type diffraction pattern, irradiation increased the crystallinity of those who were irradiated. For the starch of the primary rhizome, until 5kGy, the increase of gelatinization temperatures decreased enthalpies of gelatinization. Irradiation had no effect on the gelatinization temperatures of the secondary rhizome's samples. The water solubility of both rhizome's starches was improved by irradiation, and this mainly affected the primary rhizome. The irradiation increased the swelling power in all samples and accelerated the expansion of the samples with higher doses. Technological changes induced by gamma irradiation allow the starches potential applications in the food industries as a thickener.

Key words: Turmeric, starch, gamma irradiation, rhizome, amylopectin, thickener

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1	<i>CURCUMA LONGA L.</i>	11
2.2	AMIDO.....	14
2.2.1	Amilose.....	15
2.2.2	Amilopectina.....	16
2.2.3	Organização dos grânulos de amido.....	17
2.2.4	Propriedade térmica.....	19
2.2.5	Poder de inchamento e solubilidade em água.....	20
2.2.6	Cristalinidade dos grânulos de amido.....	21
2.3	IRRADIAÇÃO DE AMIDO.....	23
3	OBJETIVOS	26
3.1	OBJETIVO GERAL.....	26
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	MATERIAL.....	27
4.2	MÉTODOS.....	27
4.2.1	Extração de fécula.....	27
4.2.2	Irradiação da amostra.....	29
4.2.3	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	29
4.2.4	Propriedade térmica.....	29
4.2.5	Difração de Raio – X.....	30
4.2.6	Poder de inchamento e Solubilidade.....	30
4.2.7	Análise estatística.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	32
5.2	CRISTALINIDADE RELATIVA.....	35
5.3	PROPRIEDADE TÉRMICA.....	37
5.4	SOLUBILIDADE EM ÁGUA.....	39
5.5	PODER DE INCHAMENTO.....	41
6	POSSÍVEIS APLICAÇÕES DAS FÉCULAS	44
7	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

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 tem atividade econômica muito importante no setor industrial, amplamente utilizados como matérias-primas para produção de medicamentos, produtos cosméticos, condimentos, corantes e aditivos alimentares (PANNEERSELVAM et al., 2007).

O rizoma é processado até a forma de pó e dele extrai-se 2,5 à 5% de óleo essencial, 2 à 8% de curcumina e 25 à 70% de fécula. A fécula de cúrcuma não tem sido muito aproveitada industrialmente, visto que sua extração é considerada como atividade secundária, entretanto, devido ao alto teor de fécula e ao fato do processo de isolamento não interferir na obtenção de outros componentes, torna-se promissor a utilização da fécula dos rizomas de cúrcuma como fonte de matéria-prima para o uso industrial (LEONEL; SARMENTO; CEREDA, 2003).

O amido é a maior substância de reserva alimentar existente nas plantas, que corresponde de 70 à 80% de calorias ingeridas pelo homem em todo o mundo. Possui características físico-químicas e qualidades nutricionais peculiares (BRAGA; MORESCHI; MEIRELES, 2006). Além do carboidrato como componente principal do amido, outros macro e micronutrientes como proteínas, lipídios e sais minerais, também, aparecem em pequenos teores na sua constituição e, quanto menor esses constituintes na sua composição, melhor será o rendimento final de extração de amido (HOOVER, 2001).

O amido de diferentes fontes botânicas têm diferentes estruturas, incluindo o tamanho granular, a distribuição de peso molecular e a proporção de amilose e a amilopectina. A amilose apresenta molécula menor e é essencialmente linear, enquanto que a amilopectina contém maior molécula e possui elevado número de ramificações curtas. Durante seus processamentos industriais, podem interferir nas propriedades finais do amido (SYAHARIZA; LI; HASJIM, 2010). As propriedades mais notadas para aproveitamento de amido na fabricação de alimentos e outras aplicações industriais incluem as físico-químicas: gelatinização e retrogradação e, as funcionais: viscosidade, poder de inchamento, solubilidade, absorção em água, sinérese, perfil reológico, propriedade térmica da pasta e de geis moleculares formados (ASCHERI et al., 2010).

A irradiação gama tem sido utilizada para estender a vida de prateleira de alimentos e, é freqüentemente aplicada para modificar as propriedades físicas de matérias-primas de origem alimentar (YOON, et al., 2010). Portanto, a irradiação gama é considerada como o

método de modificação de amido, pois sua aplicação 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 de peso molecular e viscosidade da pasta e aumento da solubilidade e acidez. Entretanto, algumas propriedades físico-químicas como estrutura granular, cristalinidade, gelatinização e retrogradação ainda não foram bem esclarecidas devido às diferentes origens botânicas e as diferentes doses de radiação aplicadas, bem como digestibilidade de amido, que pode ser alterada pela irradiação, mas não de forma proporcional à dose de radiação (CHUNG; LIU, 2009; CHUNG; LIU, 2010).

Considerando as características particulares de cada tipo de amido, torna-se importante a investigação do efeito que a irradiação pode ocasionar nas propriedades funcionais dessas reservas alimentares. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações tecnológicas da fécula extraída de *Curcuma longa* exposta às diferentes doses de radiação gama.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *CURCUMA LONGA* L.

O açafrão da Índia (*Curcuma Longa* Linneu) pertence à família Zingiberaceae, subordem Zingiberoide, com origem no sul e sudeste da Ásia, pode ser encontrado na Índia, China, Formosa, Indonésia, Filipinas, Oriente Médio, Caribe, Norte da Austrália e países da América do Sul (GOVINDARAJAN, 1980).

No Brasil, o açafrão da Índia é confundido com outra espécie, a *Crocus sativus* L., também denominada de açafrão, conhecida como o açafrão verdadeiro. Por esse motivo, parece crescer no meio científico o consenso pela denominação da espécie *Curcuma longa* (Koenig), sinônimo de *C. domestica* (Valet), de cúrcuma (CECÍLIO FILHO et al., 2000). Não obstante, é comum deparar-se com a regionalização do nome da espécie, tais como as citadas por Maia et al. (1995): açafroeira, açafão-da-terra, batatinha amarela, gengibre dourada e mangarataia.

A cúrcuma é uma planta herbácea que atinge na sua fase adulta, em média, 1,0 a 1,5 m de altura em condições favoráveis de clima e solo. As folhas são grandes, oblongo-lanceoladas e oblíquo-nervadas de coloração verde clara, exalam odor agradável quando são amassadas. Possui pecíolos tão compridos quanto os limbos, que reunidos em sua base, formam pseudocaule. O sistema radicular é composto por rizoma primário ou central que pode ser periforme, arredondado ou ovoide (Fig. 1), com ramificações secundárias laterais, compridas, também tuberizadas, porém mais finas e cilíndricas ou fusiformes. Os rizomas secundários podem alcançar até 15 cm de comprimento e 1 à 2,5 cm de diâmetro (Fig. 2). A planta de cúrcuma é propagada vegetativamente, utilizando seus rizomas, que, também, são os produtos de interesses econômicos da cultura (GOTO, 1993; CECÍLIO FILHO et al., 2000; VON HERTWIG, 1991).

Os rizomas de cúrcuma desenvolvem-se ao redor de uma estrutura tuberosa central denominada rizoma primário (cabeça), a partir da qual originam rizomas secundários mais delgados, designados “piões” ou “dedos”, devidos às suas formas. Sob as hastas das novas brotações, surgem novos rizomas primários que originam estruturas semelhantes às descritas. Estudos avaliaram o crescimento da planta e produção de rizomas, utilizando no plantio, rizomas dos tipos cabeças e dedos. Os resultados mostraram que as plantas oriundas dos rizomas primários apresentaram resultados superiores aos secundários (MAIA et al., 1995).



Figura 1. Rizoma primário de *Curcuma Longa* L. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 2. Rizoma secundário de *Curcuma Longa* L. Fonte: arquivo pessoal.

Segundo Abreu Matos (1994), a época adequada para cultivo encontra-se nos meses de agosto e setembro, nas regiões tropicais de clima temperado, ou no outono em regiões cujo inverno não desfavorece o crescimento e desenvolvimento do plantio.

No estado de Goiás, os agricultores que se dedicam à cultura, normalmente, utilizam para o plantio os rizomas secundários, porém preferem vender o tipo primário por serem maiores e, conseqüentemente, possuem maior rendimento na comercialização (MILHOMEM; TEIXEIRA, 1999).

A qualidade dos rizomas é caracterizada, principalmente, pela presença do corante curcumina e de óleos essenciais (GOVINDARAJAN, 1980). A cúrcuma possui grande valor medicinal, sendo utilizada como cicatrizante, diurético, antioxidante, anti-diarrético e anti-hemorrágico. Possui, também, propriedades antibióticas, que inibe o crescimento de vários micro-organismos em diluições elevadas (PRUTHI, 1980; SUGAYA, 1992).

Segundo Mangalakumari e Matheus (1988), a cúrcuma contém, em média, 1,8 à 5,4% de pigmentos responsáveis pela cor amarela, 1 à 5% de óleo essencial, 25 à 50% de amido, 4 à 10% de proteínas, 2 à 7% de fibras e 3 à 7% de cinzas. Já com a cúrcuma brasileira, Leonel, Sarmiento e Cereda (2003) obtiveram 4,84% de lipídeos, 47,04% de amido, 10,81% de proteína, 9,42% de fibras e 10,7% de cinzas. O conteúdo varia em função de cultivar, do local de cultivo, das práticas agrícolas, do uso de fertilizantes e da maturidade dos rizomas (KRISHNAMURTHY et al., 1975).

As qualidades da cúrcuma favorecem sua utilização na industrialização de alimentos, como fonte de amido, para confecção de bolo ou como corante em sopa desidratada, molhos, produtos cárneos, macarrões, mostardas, sorvetes, queijos, ovos, margarinas e carnes. No Brasil, as indústrias de alimentos que utilizam a cúrcuma como corante ou tempero exigem padrões de qualidade bem definidos, entre eles: teor de umidade de 10 à 12% para macarrão e máximo de 10% para indústria de pratos prontos; cor amarelo-escuro; teor máximo de cinzas de 9,5%; teor mínimo de curcumina de 3,9% e teor mínimo de óleo essencial de 0,6% para pratos prontos (MARINOZZI, 2002).

O amido extraído da cúrcuma, apesar de não ser considerado o produto principal para comercialização, apresenta alto teor que varia de 25 à 70% na composição do rizoma, além de alta viscosidade com característica semelhante aos perfis dos grãos, despertando interesse comercial como fonte alternativa de amido para indústria de alimentos (LEONEL; SARMENTO; CEREDA, 2003).

2.2 AMIDO

A amido é a principal reserva energética encontrada nas raízes, sementes, tubérculos e rizomas nas plantas superiores. Na alimentação humana, é a substância majoritária ingerida, representando de 80 à 90% de todos os polissacarídeos da dieta. (BULÉON et al., 1998; WHO/FAO, 1998).

Segundo a Resolução de Diretoria Colegiada – RDC N° 263 de 2005, no Brasil, amido é definido como produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes e rizomas. Entretanto, a designação de fécula, também pode ser chamada nos amidos isolados nos tubérculos, rizomas e raízes (BRASIL, 2005).

A biossíntese de amido inicia-se em organela subcelular especializada designada de amiloplasto, no qual apresenta uma membrana lipoproteica limitante. No interior dos amiloplastos localizam-se as enzimas que catalisam a síntese de amilose e amilopectina. Inicialmente, o amido é sintetizado nas folhas, local onde serve como fonte energética temporária, acumula-se durante o dia nos cloroplastos e torna-se matéria-prima principal na síntese de sacarose citosólica no período noturno. Desde então, a sacarose é transportada para os órgãos de armazenamento das plantas (DENARDIN; SILVA, 2009; GALLIARD; BOWLER, 1987).

O amido é um polissacarídeo que possui os grânulos com estrutura e tamanho diferentes dependendo da fonte botânica, é composto por dois polímeros: amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α (1–4), que apresenta uma cadeia linear, enquanto a amilopectina, é composta por unidades de glicoses unidas por ligações α (1–4) e α (1–6), originando uma cadeia ramificada (DENARDIN; SILVA, 2009). O amido deve muito de sua funcionalidade a estas duas macromoléculas, assim como à organização física das mesmas dentro da estrutura granular (BILIADERIS, 1991; BULÉON et al., 1998).

Além do carboidrato, o amido também é constituído pelas substâncias como proteína, lipídeos e sais minerais, porém, em pequenas quantidades. A quantidade desses componentes depende muito da genética da planta e do método da extração. Quanto menor a taxa desses constituintes, melhor a qualidade do amido (PERONI, 2003).

O amido é um dos fatores mais importantes que responsabiliza pela consistência e textura dos alimentos, não importa somente de forma quantitativa nas propriedades dos produtos, como também o tipo de amido, em outras palavras, a fonte da qual é extraída. Recentemente, o amido tem sido utilizado como o substituto de gordura em alimentos de

baixa caloria, bem como seu uso tradicional como estabilizante e/ou emulsificante na matriz dos alimentos industrializados (BELLO-PEREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

2.2.1 Amilose

A amilose, representada na figura 3, é componente minoritário de amido e definida como uma molécula, essencialmente, linear composta de unidades de α -D-glucopiranoses com ligações (1-4), entretanto, também são conhecidas algumas ligeiras ramificações, com aproximadamente de 9-20 pontos, de ligações (1-6) por molécula (HIRASHIMA et al., 2005; CURÁ et al., 1995; TAKEDA et al., 1987). A extensão de ramificação tem mostrado o aumento do peso molecular de amilose, que pode variar de 1×10^5 à 1×10^6 g/mol. Uma prova da ocorrência de pontos de ramificações na amilose é a conversão incompleta deste polímero em maltose pela ação da β -amilase, que pode variar de 73 à 95% (MORRISON; KARKALAS, 1990).

A molécula de amilose tem estrutura helicoidal, quando está na forma cristalina, devido à conformação das unidades de glicose e a um interior hidrofóbico que contém átomos de hidrogênio (ACQUARONE; RAO, 2003) e, quando interage com solução de iodo, forma uma dispersão de complexo azul escuro, que serve de base para determinação quantitativa de conteúdo de amilose (*Blue value*) e diagnosticar a presença de amido (BILIADERIS, 1991). De acordo com a quantidade de amilose detectada, o amido pode ser classificado em diferentes grupos: amido ceroso, que possui pequena quantidade de amilose (cerca de 1%), amido normal, que contém de 17 à 24% de amilose e amido de alta quantidade de amilose, acima de 70% deste polímero (BELLO-PEREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

A amilose tem propriedade de formar pasta no ato de cozimento, denominada de gelatinação, entretanto, esse comportamento é instável em certos amidos que contêm teores maiores de amilose, formando retículo pela retrogradação, que é o reagrupamento de moléculas de amilose no processo de resfriamento do cozimento (BILIADERIS, 1991; THOMAS; ATWELL, 1999) e seu conteúdo no grânulo é um fator que afeta, significativamente, as propriedades reológicas do amido (SINGH et al., 2003).

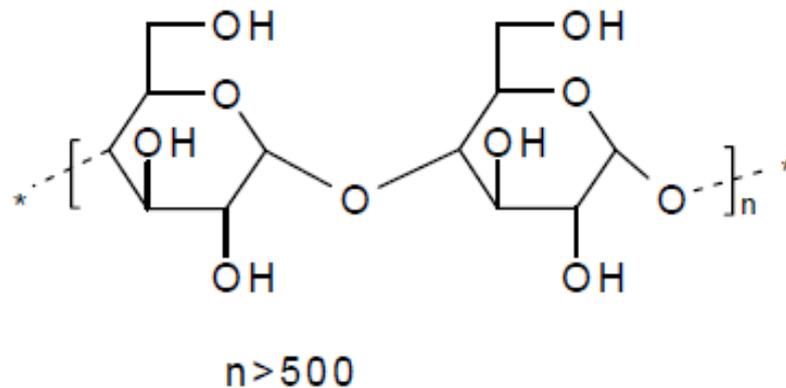


Figura 3. Estrutura molecular de amilose. Fonte: Solomons e Fryhle, 2000

2.2.2 Amilopectina

A amilopectina (Fig. 4) é um componente majoritário e altamente ramificado de amido, formada por cadeias de (1-4)-D-glucanas e com 4 à 6% de ligações α 1-6 nos pontos de ramificações entre as cadeias de glicose (ELLIS et al., 1998; SING et al., 2003; ZOBEL, 1988)

A molécula de amilopectina contém várias distribuições de cadeias (Fig. 5). A única cadeia principal, chamada de cadeia C, que carrega o grupo terminal redutor da molécula, e outras cadeias denominadas A e B. As cadeias A (não ramificadas) são ligadas somente às cadeias B por ligações α (1-6). As cadeias B (B1 – B4) estão conectadas às outras cadeias A e/ou B por ligações α (1-6) (HOOVER, 2001). Segundo Hizukuri (1985), o comprimento das cadeias A e B1 e das cadeias B2 – B4 é de 14 à 18 e de 45 à 55 de unidades de glicose respectivamente. A razão molar de cadeias curtas e longas é influenciada pela fonte do amido e varia entre 3:1 ou 2:1. O mesmo autor alegou que a amilopectina dos amidos de tuberosas contém menos cadeias curtas e mais cadeias longas do que as amilopectinas de cereais.

Segundo Hoover (2001), o modelo de conformação estrutural de amilopectina mais aceito, atualmente, é da organização do tipo “cacho” (*Clusters*), onde as ramificações da cadeia de amilopectina são formadas pelo grande número de cadeias laterais lineares curtas, arranjadas em duplas hélices. As estruturas de clusters são extremamente compactas, que originam regiões cristalinas e, estas regiões alternam-se com regiões amorfas, que são menos ramificadas e compactadas.

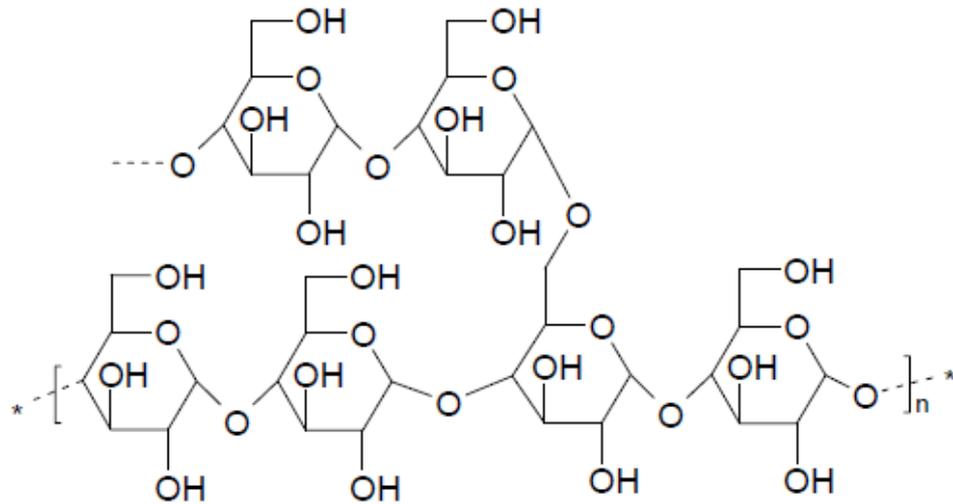


Figura 4. Estrutura molecular de amilopectina. Fonte: Solomons e Fryhle, 2000

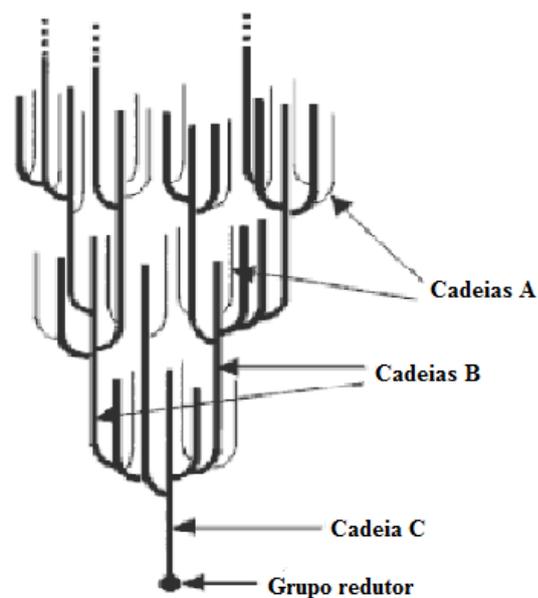


Figura 5. Modelo Cluster da molécula de amilopectina. Fonte: Denardin e Silva, 2009

2.2.3 Organização dos grânulos de amido

Os grânulos de fécula são compostos por macromoléculas arranjadas na direção radial e apresentam estruturas ordenadas que são semi-cristalinas. Quando amilose e amilopectina estão dispostas paralelamente, suas cadeias são ligadas por pontes de hidrogênio, nas quais formam regiões cristalinas. Quando sob a observação da luz polarizada, apresenta a típica cruz de malta, que é conhecida como birrefringência, evidenciando um alto grau de organização molecular nos grânulos. Os grânulos apresentam níveis de cristalinidade

diferentes, na faixa de 15 a 45 % e os diferentes graus de ordenação estrutural do grânulo são responsáveis pelas propriedades de birrefringência e cristalinidade (YONEMOTO; CALORI-DOMINGUES; FRANCO, 2007; ZOBEL, 1984).

A birrefringência e a cristalinidade fornecem ampla evidência de uma estrutura ordenada do grânulo de fécula. Esta estrutura é formada por camadas concêntricas, que podem ser observadas em microscopia eletrônica de grânulos de fécula submetidos a tratamento ácido ou a digestão parcial por amilases (ZHOU et al., 1998).

Os grânulos estão organizados em regiões amorfas e em regiões de deposição mais ou menos densas. A amilopectina é a responsável pela cristalinidade de fécula, na qual se encontra a região mais densa e compacta, não há evidências que a amilose faz parte das regiões cristalinas (LINEBACK, 1984).

As regiões cristalinas sustentam a estrutura dos grânulos, controlam seus comportamentos no meio aquoso e os tornam mais ou menos resistentes aos ataques químicos e enzimáticos. As áreas amorfas dos grânulos são menos densas e mais susceptíveis aos efeitos enzimáticos e absorve mais água em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização. A proporção entre amilose e amilopectina nos grânulos de fécula bem como sua organização física responsabilizam as propriedades físico-químicas e funcionais da fécula. De forma geral, as féculas contêm de 15 à 30% de amilose e 70 à 85% de amilopectina. O poder de inchamento dos grânulos é a propriedade particular da amilopectina. A amilose comporta como um diluente, enquanto a presença de ácidos graxos inibe o inchamento dos grânulos por meio da ligação com a amilose (BILIADERIS, 1991; TESTER; MORRISON, 1990; ZOBEL, 1984).

A forma dos grânulos varia de acordo com a fonte botânica, a fécula de batata apresenta grânulo oval ou cúbico, o grânulo de amido de milho possui forma angular enquanto o grânulo de arroz, apresenta formato pentagonal e angular. Quando grânulos são observados na Microscopia Eletrônica de Varredura, a superfície dos grânulos de milho, arroz e trigo aparentam menos lisos que os da batata. Alguns “furos de pino” e sulco equatorial foram vistos nos grânulos de tamanho grande do amido de milho e a presença de grande protuberância foi observada na superfície dos grânulos da fécula de batata (SINGH et al., 2003). Segundo Buleón e seus colaboradores (1998), a via biossintética dos grânulos pode moldar o formato dos mesmos pela restrição física encontrada durante a deposição celular da fécula, devido à presença de outros componentes subcelulares como forma assumida pelas membranas de amiloplastos.

2.2.4 Propriedade térmica

Nas últimas décadas, o Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) tem sido utilizado para pesquisas sobre o comportamento térmico de féculas, englobando temperaturas de gelatinização, retrogradação, temperatura e entalpia de transição e cristalização. (YU; CHRISTIE, 2001). Essa técnica dá possibilidade de avaliar as mudanças de entalpias que ocorrem com uma substância e um material de referência em função da temperatura, enquanto esses são submetidos a uma programação controlada de temperatura (IONASHIRO, 2005).

Geralmente, uma panela de alumínio vazia é utilizada como referência para determinação de capacidade calorífica da amostra, as amostras também são hermeticamente seladas dentro das panelas de alumínio para realização de uma varredura de temperatura, simultaneamente com a referência. Na transição térmica, a absorção ou liberação de energia pela amostra é compensada por acréscimo ou decréscimo da energia fornecida à mesma pelo DSC para manter o balanço de temperatura. Como esta energia fornecida é diretamente proporcional à energia despendida na transição, um registro do balanço de energia produz uma mensuração de calorimetria da transição de energia, que é marcada sob formato de um pico no termograma. A dimensão do pico é equivalente à alteração na entalpia (ΔH) e sua direção orienta se o evento térmico é endotérmico ou exotérmico (KARIM et al., 2000).

Cada fécula tem suas temperaturas características de gelatinização, num termograma obtido por DSC, a entalpia de gelatinização (ΔH) e as temperaturas de transição T_i , T_p e T_f (Temperatura inicial, temperatura de pico e temperatura final de gelatinização, respectivamente) são determinadas conforme a figura 6. T_i é a temperatura em que a linha tangencial do lado de uma temperatura mais baixa do pico se cruza com a linha de base; T_p é quando a temperatura atinge a ponta do pico e T_f é a temperatura na qual a linha tangencial do lado da temperatura alta do pico se cruza com a linha de base. A entalpia de gelatinização ΔH é a área sob o pico limitado pela linha de base no gráfico (BENINCA, 2008; BLENNOW et al., 2000).

Temperatura inicial indica quando o processo de gelatinização é iniciado, a temperatura de pico indica o comprimento da dupla hélice, geralmente T_i e T_p são utilizadas como medidas da estabilidade ou perfeição das regiões cristalinas e, a largura do pico endotérmico é como estimativa da heterogeneidade da estrutura cristalina, enquanto a temperatura final é a finalização do processo de gelatinização e indica a dissociação total de dupla hélice da amilopectina. O intervalo entre as temperaturas $T_f - T_i$ representa o período de gelatinização. A entalpia de gelatinização informa uma estimativa da qualidade e quantidade

de cristalinidade e também é uma referência da perda de ordem da estrutura molecular no interior dos grânulos. (BLENNOW et al., 2000; SINGH et al., 2003).

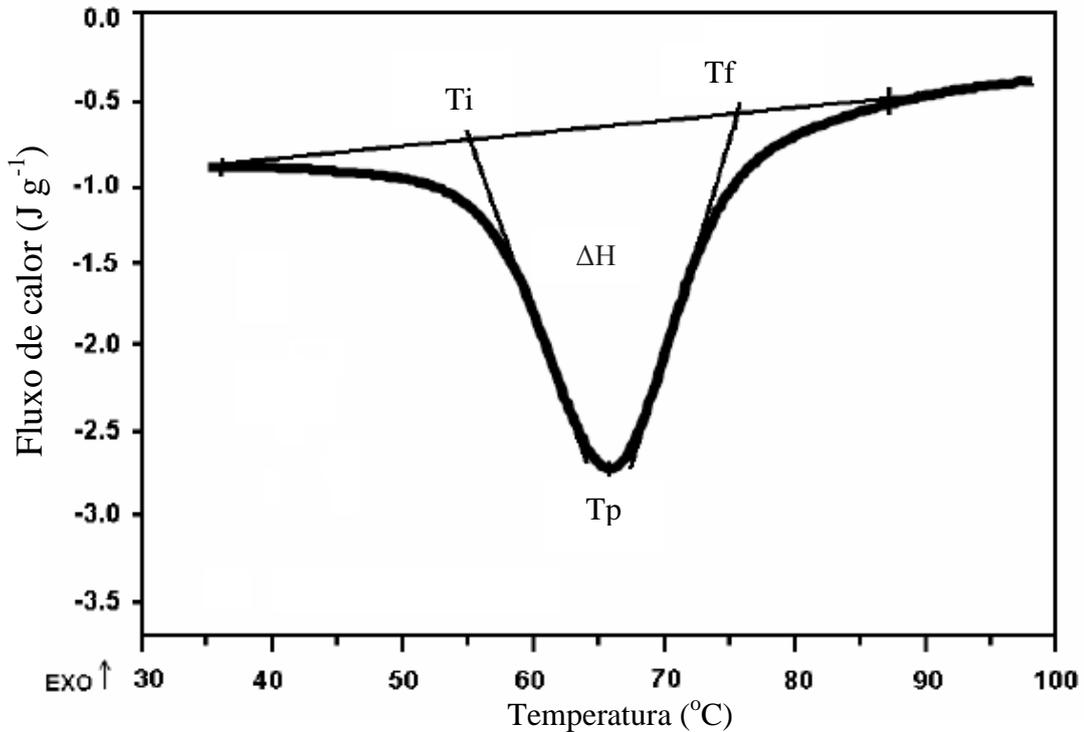


Figura 6. Termograma endotérmico das temperaturas de transição e entalpia (T_i = temperatura inicial; T_p = Temperatura de pico; T_f = Temperatura final; ΔH = Entalpia de gelatinização). Fonte: Beninca, 2008 com adaptação.

O processo de gelatinização acontece quando as moléculas de fécula são aquecidas em excesso de água, ocasionando uma expansão irreversível nas suas estruturas aumentando o tamanho granular, concomitantemente, as duplas hélices são dissociadas no meio aquoso, as estruturas cristalinas são fundidas, a birrefringência é perdida, o meio aquoso torna-se mais viscoso e a fécula é solubilizada. As temperaturas de gelatinização e a entalpia podem estar relacionadas com característica de grânulo, são influenciadas pela composição química de fécula. Féculas de diferentes fontes botânicas diferem na composição e exibem as temperaturas de transição e a entalpia de gelatinização variadas (SINGH et al., 2003).

2.2.5 Poder de inchamento e solubilidade em água

Em contato com água fria, os grânulos de amido expandem ligeiramente em torno de 10 à 20%, devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas, mas esse fenômeno é reversível pela secagem (DENARDIN; SILVA, 2009). Entretanto, quando o amido é

aquecido em excesso de água, a estrutura cristalina dos grânulos é rompida devido à quebra de pontes de hidrogênio e as moléculas de água se ligam com os grupos expostos das hidroxilas da amilose e da amilopectina. Isso ocasiona o aumento do tamanho dos grânulos, devido ao inchamento e a solubilização (HOOVER, 2001).

O poder de inchamento e a solubilidade do amido mostram evidências da magnitude de interação entre as cadeias de amido dentro dos domínios amorfo e cristalino. Essa interação depende da força e da propriedade da rede micelar (forças associativas) no interior do grânulo de amido. Os vários fatores que podem influenciar as forças associativas são: razão entre amilose e amilopectina, peso molecular das frações, distribuição do peso molecular, grau de ramificação, conformação e comprimento das cadeias ramificadas mais externas de amilopectinas, que podem compartilhar em ligações associativas (LEACH; McCOWEN; SCHOCH, 1959; BALAGOPALAN et al., 1988; HOOVER, 2001).

O poder de inchamento dos grânulos, determinado pelo aquecimento de amido em excesso de água, é definido como o peso do precipitado expandido (g) por grama de amido. A solubilidade do amido, também, é medida na mesma suspensão, ela é expressa como a porcentagem (de peso) da amostra de amido dissolvida na suspensão após o aquecimento (LEACH; McCOWEN; SCHOCH, 1959).

A capacidade de inchamento e de solubilidade varia de acordo com a fonte botânica, pois apresenta diferenças na estrutura morfológica dos grânulos de amido. O amido de milho, que tem uma expansão limitada, ocorre em dois estágios. Isto sugere que existem duas forças que estão envolvidas nas interações poliméricas entre as cadeias que dissociam em diferentes temperaturas (LEACH; McCOWEN; SCHOCH, 1959). Galliard e Bowler (1987) relataram que o alto poder de inchamento e a solubilidade de fécula de batata são provavelmente influenciados pela grande quantidade de grupos fosfatos alojados na amilopectina, caracterizando a repulsão entre grupos fosfatos e cadeias adjacentes, aumentando a hidratação pelo enfraquecimento da extensão das ligações no interior do domínio cristalino dos grânulos. Outros elementos também podem interferir no poder de inchamento e da solubilidade. Segundo Swinkels (1985), o complexo amilose-lipídeo pode limitar o inchamento e solubilização de amidos.

2.2.6 Cristalinidade dos grânulos de amido

Os grânulos de amido são caracterizados como birrefringentes, quando observados microscopicamente na luz polarizada, dentro de uma solução aquosa. A refração pelas regiões

cristalinas forma-se “Cruz de Malta”, no qual caracteriza a orientação radial das macromoléculas. O centro da cruz é considerado como o ponto inicial de crescimento do grânulo (DENARDIN; SILVA, 2009).

O grânulo de amido é considerado como um polímero parcialmente cristalino, isso é devido à organização de clusters da cadeia de amilopectina que são radialmente arranjadas com seus grupos terminais não redutores em direção à superfície e estas são organizadas alternando áreas cristalinas e amorfas (ELIASSON, 1996; JENKINS; CAMERON; DONALD, 1993).

Os grânulos de amido apresentam cerca de 15 à 45% de cristalinidade e essa proporção pode variar de acordo com a fonte botânica, que caracteriza padrões específicos de difração de raio-x para cada grupo vegetal. A cristalinidade consiste em três padrões principais, sendo A, B e C. O padrão A é típico de cereais (arroz, aveia, milho, trigo), o padrão B é característico de tubérculos, de frutas, de amidos com alto teor de amilose e de amidos retrogradados e o padrão C é considerado como intermediários entre os padrões A e B e é pertencente aos grupos leguminosos (BELLO-PEREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006; ELIASSON, 2004; ZOBEL, 1988). A figura 7 mostra o difratograma de raio-X dos padrões supracitados.

Segundo Mestres (1996), os padrões têm as características como:

- Padrão tipo A tem picos com maiores intensidades de refração para os ângulos a 2 Å a 15, 17, 18 e 23 Å;
- Padrão tipo B tem picos com maiores intensidades de refração para os ângulos a 2 Å a 5, 6, 15, 17, 22 e 23 Å;
- Padrão tipo C é uma mistura dos padrões A e B, o qual é característico da maioria dos amidos de leguminosas e, também, de cereais cultivados em condições específicas de temperatura e hidratação (BULÉON et al., 1998).

Quando um cristal é irradiado por raio-X, os raios rompem-se para formar um padrão particular da estrutura cristalina. O difrator de raio-X tem sido aplicado para revelar a presença e característica da estrutura dos grânulos de amido. A estrutura formada por regiões cristalinas e amorfas é a principal responsável pelo comportamento de amido em meio aquoso e a suscetibilidade dos grânulos de sofrer ação enzimática (BILIADERIS, 1991; THOMAS; ATWELL, 1999; ZOBEL, 1988).

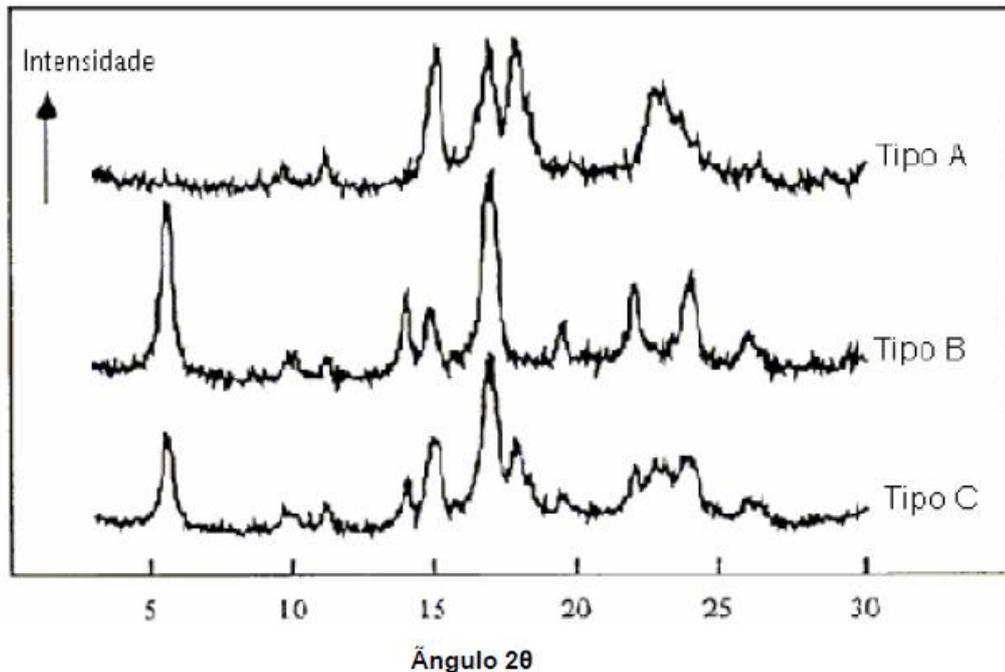


Figura 7. Difratoograma de raio-X para padrões de cristalinidade tipo A, B e C.
Fonte: Gonçalves, 2007

2.3 IRRADIAÇÃO DE AMIDO

A irradiação é um processo tecnológico que envolve a exposição de alimento na radiação ionizante. A irradiação penetra profundamente no interior de alimento e, por meio de seus efeitos físicos, interage com as moléculas de alimentos e também microorganismos neles existente, ocasionando assim, alterações químicas e biológicas dos mesmos para utilização de maneira benéfica. Com aumento da demanda de produtos alimentares nutritivos, frescos e com alto tributos de características organolépticas, essa tecnologia tem despertado interesses dos pesquisadores de campo de ciências de alimentos em utilizá-la para aumentar a segurança e a vida de prateleira dos alimentos nas últimas décadas (BEHRENS et al., 2009; JUNQUEIRA-GONÇALVES et al., 2011; THAKUR; SINGH, 1995).

A irradiação é utilizada para controlar a infestação de insetos, inativar microorganismos de origem alimentar (parasitos, bactérias patogênicas, fungos e leveduras), reduzir as perdas de qualidade durante o armazenamento como: retardar a maturação e a deterioração de frutas, inibir a germinação de tubérculos e bulbos após a colheita, alterar tributos sensoriais e funcionais de cereais e, garantir a qualidade higiênica dos alimentos (FAO, 2003; ZANÃO et al., 2009).

Como a irradiação exige a preparação mínima da amostra, é rápida, não tem nenhuma dependência em qualquer tipo de catalisadores e não provoca aumento significativo de temperatura, por essas razões, a irradiação de *commodities* alimentares e agrícolas tem sido reconhecido como um dos métodos mais seguros e confiáveis para preservação e manutenção da qualidade higiénica e valor nutricional, e também tem sido aplicado para superar as barreiras comerciais no cenário internacional (DIEHL, 2002; BHAT et al., 2007).

O amido é o produto derivado de agricultura e, biologicamente, um polissacarídeo que desempenha a função de reserva energética para sobrevivência das plantas e pode ser isolado por vários processos de extração. Como uma das principais fontes para alimentação de seres vivos, o amido confere estrutura, textura, consistência e recurso ao sistema de muitos alimentos. A produção de amido em larga escala torna-se favorável para uso industrial, entretanto, amidos nativos em si possuem algumas limitações como baixa resistência à ação mecânica e térmica, decomposição térmica e alta tendência de retrogradação. Portanto, amido precisa ser modificado para adquirir propriedades físico-químicas ideais para sua área de aplicação. A modificação da sua estrutura e as propriedades físico-químicas podem ser explorada para aplicações benéficas. Amidos utilizados nas indústrias de alimentos, geralmente, são modificados para melhorar as propriedades de viscosidade (como consistência pastosa, suavidade e clareza), bem como dar a estabilidade a armazenamento ao frio. Além da aplicação nas indústrias de alimentos, a capacidade de ligação com água, aumento da solubilidade e redução de viscosidade dos amidos irradiados podem ser aproveitados na construção, fabricação de papel e nos materiais têxteis (BHAT; KARIM, 2009; CHUNG; LIU, 2009; SINGH et al., 2011).

Para obter as características funcionais desejadas em níveis industriais, amidos de diferentes fontes botânicas são geralmente modificados quimicamente, enzimaticamente, ou fisicamente. A aplicação de métodos físicos para modificação de amido, que é considerada mais segura que a modificação química. Alguns desses métodos físicos incluem tratamentos por irradiação, térmico e a modificação por cisalhamento. A irradiação gama é considerada como ferramenta conveniente na modificação de polímeros por meio de ligações cruzadas, exerto e técnica de degradação (BHAT; KARIM, 2009; SINGH et al., 2011).

A aplicação da irradiação ionizante gera radicais livres nas macromoléculas (Fig. 8) que são capazes de induzir a hidrólise de ligações glicosídicas e fragmentação de macromoléculas em dextrina. Essa propriedade peculiar tem sido sugerida para ser um dos principais mecanismos subjacentes de alterações físico-químicas em alimentos ricos em amido, como redução da viscosidade, aumento de solubilidade em água e alterações nas

propriedades reológicas de amidos (BAO; CORKE, 2002; BHAT; KARIM, 2009; CIE'SLA et al., 1991; ZANÃO et al., 2009).

Durante o tratamento com irradiação, as ligações glicosídicas dos grânulos de amido são quebradas, causando a despolimerização e degradação de cadeias de polissacarídeos e posteriormente ocorre decomposição de macromoléculas reduzindo progressivamente o tamanho molecular de amilose e amilopectina (CHUNG et al., 2010). Estudos também mostraram que há uma diminuição no teor de fase cristalina bem como na ordem de distribuição de amilose e amilopectina nos grânulos de amido (CIE'SLA et al., 1991). No entanto, esses efeitos nas propriedades físico-químicas de amido não são consistentes e depende muito das fontes botânicas e condições de irradiação (CHUNG et al., 2010).

O processo irradiativo também pode promover *cross-linking* ou ligações cruzadas (Fig. 8) no amido, que pode controlar o grau de expansão dos grânulos fazendo com que o amido seja mais resistente às ações térmica e cisalhamento mecânica. Além disso, amido com *cross-linking* também tem sido usado para aumentar a estabilidade nas condições ácidas (CHUNG et al., 2010).

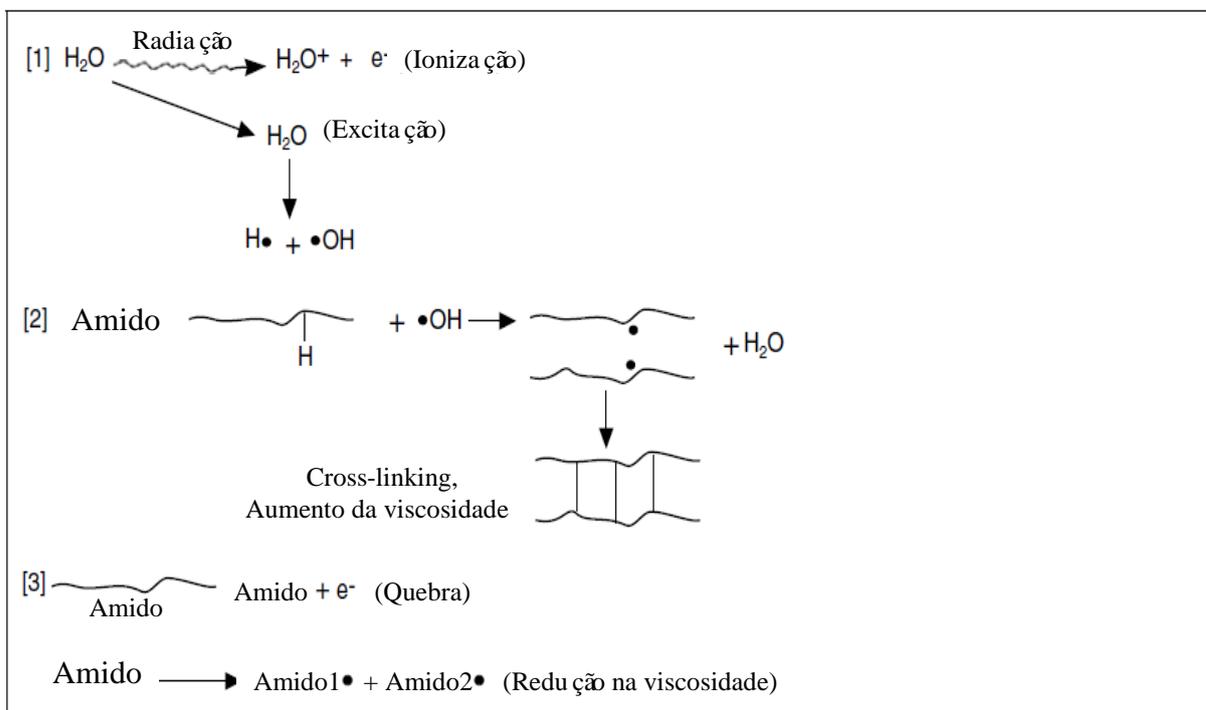


Figura 8. Promoção da degradação [3] e *Cross-linking* [1] e [2] nas cadeias de amido pela irradiação gama. Fonte: Bhat e Karim, 2009 com adaptações.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da irradiação nas propriedades tecnológicas de féculas extraídas de rizomas de cúrcuma (*Curcuma Longa* L.).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as características tecnológicas de féculas extraídas de rizoma primário e submetidas às diferentes doses de radiação;
- Determinar as características tecnológicas de féculas extraídas de rizoma secundário e submetidas às diferentes doses de radiação;
- Comparar as características tecnológicas de féculas extraídas de rizomas primários e secundários submetidas às diferentes doses de radiação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

A Cúrcuma (*Curcuma Longa* L.) foi adquirida na Cooperativa dos Produtores de Açafreão de Mara Rosa, na região norte do Estado de Goiás. Os rizomas da cúrcuma foram divididos em rizoma primário e secundário e, suas respectivas féculas, foram extraídas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos/UFG.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Extração de fécula

O processo de extração de fécula do rizoma primário e secundário da cúrcuma foi feito de acordo com a metodologia descrita por Sarmiento (1997), com algumas modificações (Figura 9). Dois quilos de rizomas (um kilo de rizoma primário e um kilo de rizoma secundário) foram utilizados para extração de féculas. Os rizomas foram primeiramente higienizados com água para remoção de sujidade, em seguida, cortados em pedaços menores para processo de trituração, utilizando o liquidificador industrial inox da marca Metalúrgica Siemens, modelo LB-25. Para cada kilo de rizoma, dois litros de água potável foram despendidos para trituração, durante 5 minutos. Após a trituração, a peneira de 60 mesh foi utilizada para três lavagens de massa (rizoma + água), para cada lavagem utilizou-se dois litros de água potável. Após a lavagem, o bagaço retido na peneira foi descartado, o leite de fécula foi coletado para segundo peneiramento, desta vez, com peneira de 270 mesh, o bagaço retido na rede da peneira foi novamente descartado e o leite de fécula foi submetido à decantação em câmara fria durante 20 horas a 5°C. Após a decantação, o leite de fécula passou por mais um peneiramento com peneira de 270 mesh e a fécula decantada no fundo do recipiente foi retirada e lavada com etanol 90% para remoção de óleo resina e curcumina, posteriormente, a fécula lavada foi seca na estufa à vácuo a 40 °C no período de 24 horas para obtenção de amostra pronta para análises.

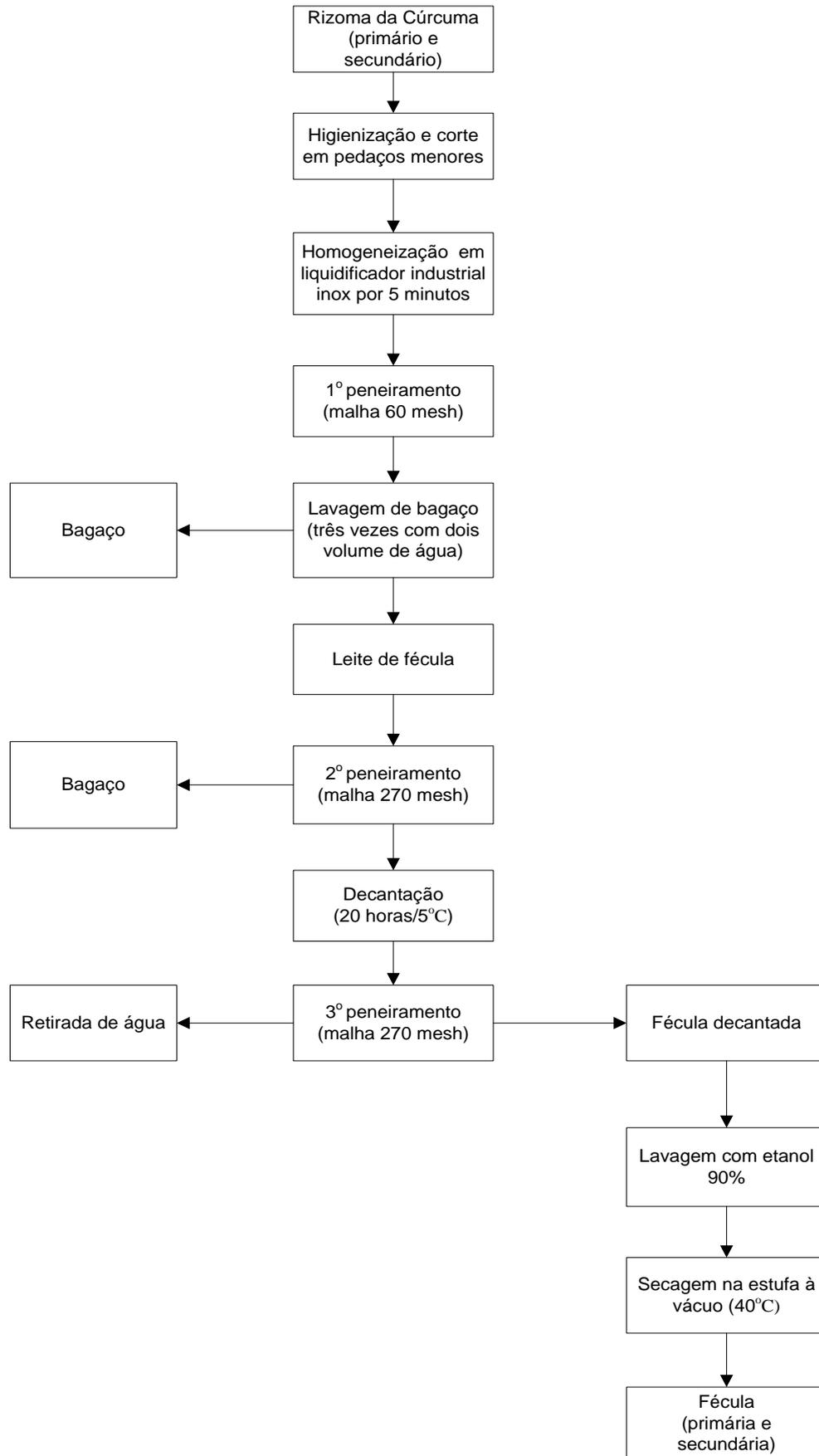


Figura 9. Fluxograma de extração de fécula do rizoma primário e secundário de cúrcuma.

4.2.2 Irradiação das amostras

A fécula de cada região de rizoma (primário e secundário) foi dividida em quatro porções, com pesos iguais, acondicionado em sacos de polietileno, totalizando oito embalagens. As amostras foram levadas ao Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, na cidade de Piracicaba/SP, onde receberam doses radiação de 2,5, 5 e 10 kGy, utilizando o irradiador ^{60}Co com taxa de irradiação de 0,5kGy/hora. As amostras controle foram mantidas nas mesmas condições sem irradiação.

4.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Os grânulos de féculas foram observados em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), da marca Jeol, modelo JSM-6610. As amostras de fécula foram posicionadas em “stubs” com fita adesiva de dupla face, para fixação de fécula e em seguida, feita a deposição de uma camada de 20nm de filme de ouro por metalizador da marca Denton Vacuum, modelo Desk V. As amostras foram examinadas sob tensão de 1kV e 2,5kV e as micrografias representativas foram tiradas nas escalas de 500x e 2500x de magnificação. Esta análise foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução, do Instituto de Física, da Universidade Federal de Goiás.

4.2.4 Propriedade térmica

A análise térmica foi feita seguindo a metodologia descrita por Singh et al. (2011), com ligeiras modificações. Foi utilizado Calorímetro Diferencial de Varredura – 821^e da marca Mettler Toledo (Suíça). As amostras de féculas (3mg, base seca) foram acondicionadas nas panelas de alumínio (Mettler, ME-27331), com capacidade de 40 μl e a água destilada foi adicionada, utilizando a microsseringa Hamilton para obter suspensão de fécula com 30% de água (p/p). As amostras foram seladas e deixadas em repouso durante uma hora em temperatura ambiente. O aparelho de DSC foi calibrado com elemento Índio e uma panela de alumínio vazia foi usada como referência. As panelas com amostras foram aquecidas de 30 a 100 °C, a uma taxa de 10°C/minuto. A temperatura inicial (T_0), temperatura de pico (T_p), temperatura final (T_f) e a entalpia de gelatinização (ΔH) foram calculadas para as endotermas utilizando Software Star^e para análise térmica. Esta análise foi feita no Laboratório de

Métodos de Extração e Separação, do Instituto de Química, da Universidade Federal de Goiás.

4.2.5 Cristalinidade Relativa

A análise foi feita empregando Difratômetro de raio-X, da marca Shimadzu Modelo XRD-6000, que opera com filtro monocromático, radiação $K\alpha$ de cobre com comprimento de onda igual a 1,542 Å, corrente de 30 mA e voltagem de 40 kV. As amostras foram fixadas em suporte de vidro e analisadas à temperatura ambiente. O difratograma foi medido entre intervalos de 4° à 35° na escala de 2θ , com a velocidade de varredura de 1°/min. A intensidade (I) foi expressa em contagem de picos por segundo. O grau de cristalinidade foi calculado por software padrão da análise de sistema do difratômetro. A análise foi feita no Central Analítica, do Instituto de Química, da Universidade Federal de Goiás.

4.2.6 Poder de inchamento e solubilidade em água

O poder de inchamento e solubilidade de fécula de cúrcuma primário e secundário foi realizado, em triplicatas, segundo método descrito por Schoch (1964), com adaptações.

As suspensões foram preparadas com 0,3g de féculas primários ou secundários e 30mL de água destilada em tubo de centrífuga, a qual foi aquecida em banho térmico com agitações constantes por 30 minutos em quatro temperaturas diferentes (60, 70, 80 e 90 °C) para gelatinização. Após a gelatinização de amidos, as suspensões foram centrifugadas por 10 minutos a 8000 x g em centrífuga MPW, modelo 350-R, e uma alíquota de 5mL de sobrenadante foi retirada de tubo de centrífuga e seca em estufa convencional a 105°C para obter a massa constante de sobrenadante seco (Mso). Somente o material aderido na parede de tubo de centrífuga foi pesado como a massa de sedimentado (Ms). Estes testes foram realizados no Laboratório de Nutrição e Análise de Alimentos, da Faculdade de Nutrição – Universidade Federal de Goiás.

O poder de inchamento (P.I.) e a solubilidade (S) foram calculados segundo as equações 1 e 2:

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

$$S\% = Mso \times 600 / 0,3$$

4.2.7 Análise estatística

Todas as amostras foram analisadas em duplicatas e reportadas com valores de média e desvio-padrão. Foi realizado o teste de Diferença Mínima Significativa (teste de multicomparação) e para análise de variância (ANOVA) foi aplicado teste de Tukey com nível de 5% de significância utilizando o programa estatístico SPSS versão 15.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As féculas irradiadas e não irradiadas de rizomas primários e secundários foram observadas em Microscopia Eletrônica de Varredura para estudar a variação nas suas características morfológicas (Fig. 10 e 11). Nas féculas não irradiadas, tanto do rizoma primário quanto do secundário, os grânulos possuem forma triangular ou elíptica achatada, com certa espessura e variação no seu tamanho, apresentam superfícies lisas, porém, em alguns poucos grânulos, apresentam rugosidade ou fragmentação superficial. Resultados semelhantes foram reportados por Leonel (2007), Leonel et al. (2003) e Braga et al. (2006), que analisaram a forma dos grânulos de fécula não irradiada de cúrcuma. A presença de fragmentação superficial nos grânulos de amido também foi relatada por Singh, McCarthy e Singh (2006) que pesquisaram grânulos de fécula de batata e relataram que a bioquímica de cloroplasto ou amiloplasto, bem como a fisiologia da planta, são os principais fatores que determinam a morfologia de grânulos de amido.

As microestruturas dos grânulos irradiados com diferentes doses de radiação não apresentaram mudanças visuais nas superfícies observadas, que são muito semelhantes aos grânulos não tratados, tanto para féculas de rizoma primário quanto para secundário. Presume-se que a irradiação gama, em si, não interfere morfologicamente nos grânulos de cúrcuma, preservando assim a integridade original da forma e do tamanho.

Abu, Duodu e Minnaar (2006) constataram que a irradiação até 50kGy não causou a fratura ou rachadura na estrutura dos grânulos de amido de feijão Cowpea. Liu et al. (2012) que irradiaram amido de milho até 500kGy, relataram que a estrutura morfológica dos grânulos não foi alterada. Chung e Liu (2010) reportaram que, na sua pesquisa feita com fécula de batata irradiada até 50kGy, a superfície dos grânulos também não foram afetadas pela irradiação.

De acordo com imagens dispostas na figura 10, provavelmente alguns grânulos foram queimados pelo feixe de luz que foi emitido pelo aparelho de MEV. Essa queima pode ter sido causada em consequência da irradiação gama que provocou mudança e fragilidade na estrutura molecular interna dos grânulos da fécula de cúrcuma. Esse fato aconteceu principalmente com as amostras que receberam as maiores doses de radiação gama, o que forçou uma diminuição da voltagem da MEV para amenizar o escurecimento dos grânulos.

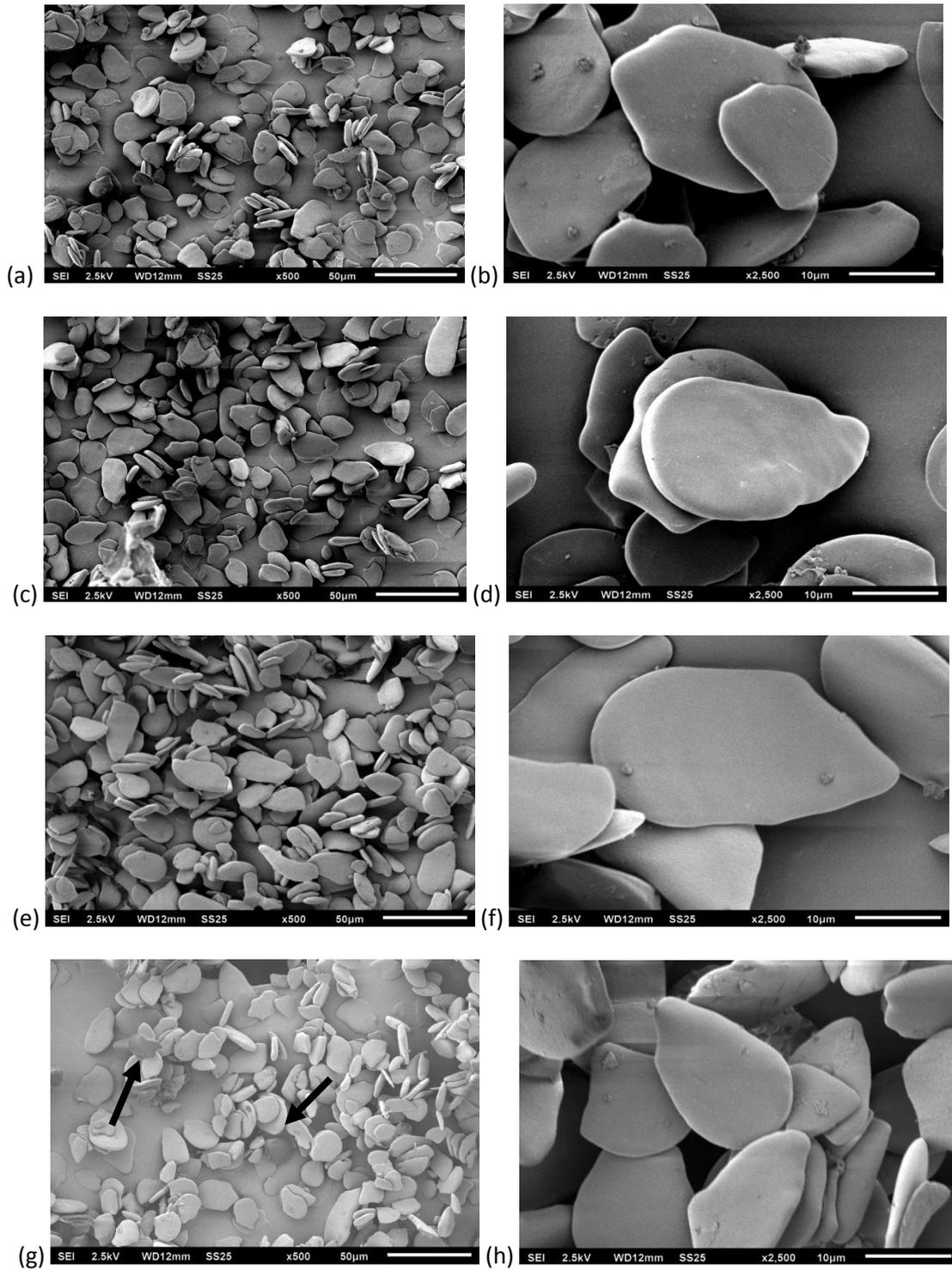


Figura 10. Micrografias dos grânulos das féculas não irradiada (a, 500x) e (b, 2500x) e irradiadas com 2,5kGy (c, 500x) e (d, 2500x), 5kGy (e, 500x) e (f, 2500x) e 10kGy (g, 500x) e (h, 2500x) do rizoma primário.

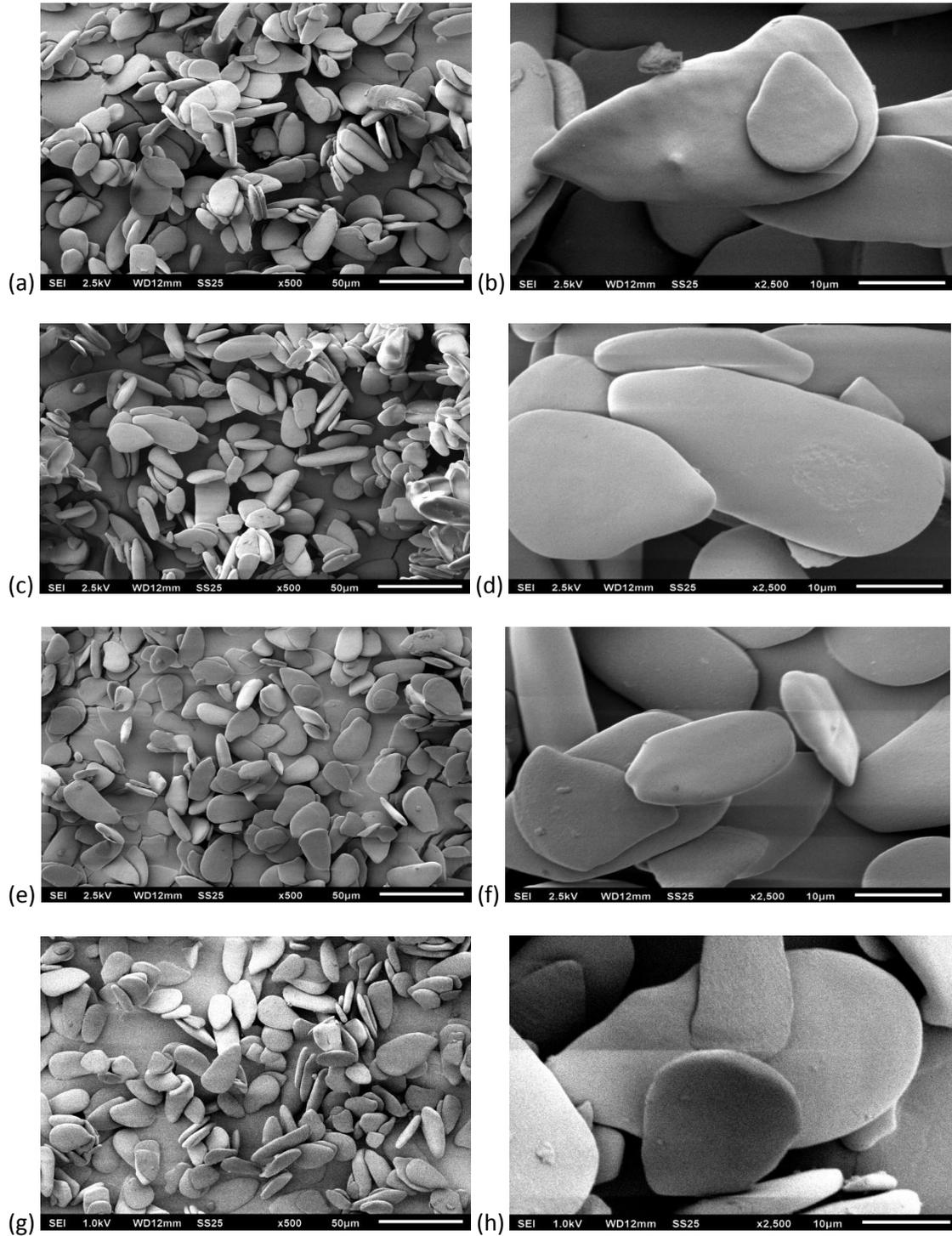


Figura 11. Micrografias dos grânulos das féculas não irradiada (a, 500x) e (b, 2500x) e irradiadas com 2,5kGy (c, 500x) e (d, 2500x), 5kGy (e, 500x) e (f, 2500x) e 10kGy (g, 500x) e (h, 2500x) do rizoma secundário.

5.3 CRISTALINIDADE RELATIVA

O padrão de difração de raio-X de féculas de rizomas primário e secundário de cúrcuma não irradiadas e irradiadas, com diferentes doses, está apresentado nas figuras 12 e 13. As féculas não irradiadas mostraram o padrão de difração típico de tipo B, com fortes reflexões nos ângulos de difração 2θ de $5,6^\circ$, $17,1^\circ$, 22° e 24° . O padrão tipo B é típico dos tubérculos, rizomas, frutas e alguns amidos com alto teor de amilose. As féculas irradiadas de ambos os rizomas exibiram o padrão de difração de raio-X similar as féculas não irradiadas, sem mudanças no tipo de padrão.

A cristalinidade relativa das féculas não irradiadas dos rizomas primário e secundário foi de 16,69% e 16,71%, respectivamente (Fig. 14). Todas as amostras irradiadas do rizoma primário tiveram os valores da cristalinidade maiores que as não irradiadas, sendo que a amostra tratada com 2,5kGy obteve maior valor (20,3%). Esses valores decresceram com aumento da dose da radiação aplicada. Nas amostras irradiadas do rizoma secundário, somente a fécula tratada com 5kGy obteve a cristalinidade menor que a fécula não tratada (Fig. 14).

O aumento de cristalinidade relativa com irradiação tem sido reportado por alguns trabalhos feitos com amido de arroz (BAO; AO; JANE, 2005), trigo (MACARTHUR; D'APOLONIA, 1984) e milho (CHUNG; LIU, 2009). 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 pesquisaram sobre amido de milho, fécula de batata e, amido de feijão e fécula de batata, respectivamente.

Segundo Chung e 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, onde permite a ocorrência de recombinação de radicais livres na formação de estrutura cristalina. A reestruturação da área cristalina com provável aumento do conteúdo de amilopectina e da ordenação da dupla hélice nas cadeias dos grânulos pode ter as consequências como elevação do poder de inchamento dos grânulos em meio aquoso, melhora da estabilidade do gel durante a gelatinização e redução da retrogradação (SINGH, *et al.*, 2003).

A cristalinidade relativa de amidos, em geral, é restrita pelo tamanho de cristalito, orientação de dupla hélice, o comprimento médio da cadeia de amilopectina e a porcentagem molar da fração de cadeia curta de amilopectina (GUNARATNE; HOOVER, 2002). O decréscimo de cristalinidade das amostras de fécula irradiada com 2,5kGy do rizoma primário,

pode estar correlacionado à redução de conteúdo de amilopecina e à desordenação da dupla hélice na estrutura interna dos grânulos, segundo Liu et al. (2012).

A diferença de cristalinidade relativa não foi significativa entre as duas féculas (rizoma primário e secundário) não irradiadas, entretanto, após a aplicação da irradiação, as féculas do rizoma secundário obtiveram os valores de cristalinidade significativamente mais baixos que os do rizoma primário (Fig. 14). Isso sugere uma possível diferença na estrutura molecular do grânulo entre os dois tipos de rizomas, onde o rizoma secundário possui mais força na ligação intermolecular nas duplas hélices e nas cadeias de amilopectina, que impede a geração de radicais livres resultantes do processo radioativo que, por sua vez, pode favorecer uma possível recombinação e reconstituição das estruturas cristalinas fragmentadas pela própria irradiação.

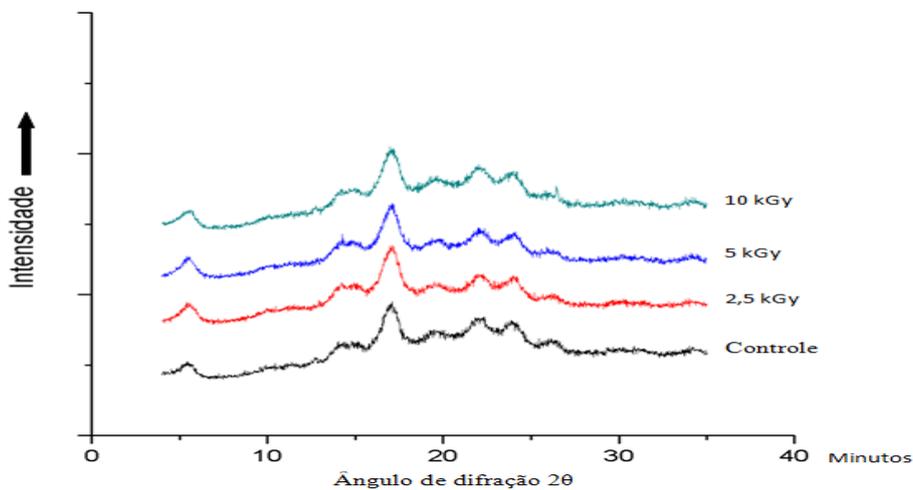


Figura 12. Padrão tipo B da difração de raio-X das féculas do rizoma primário.

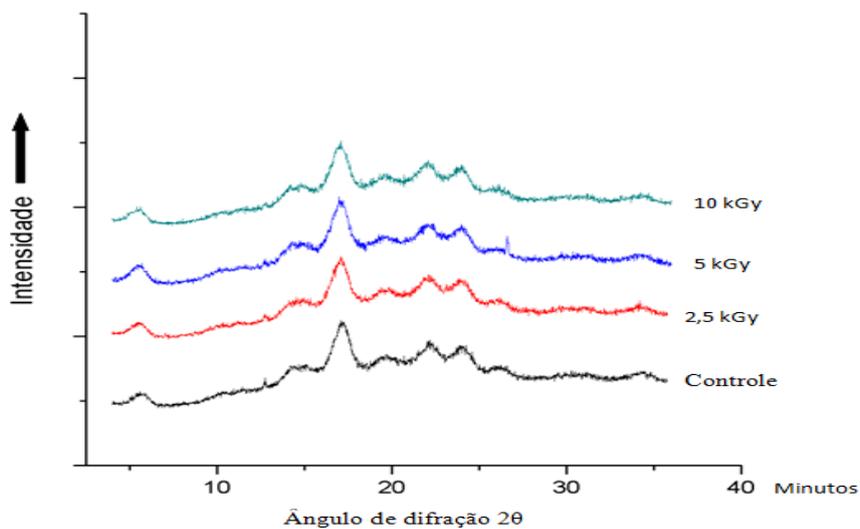


Figura 13. Padrão tipo B da difração de raio-X das féculas do rizoma secundário.

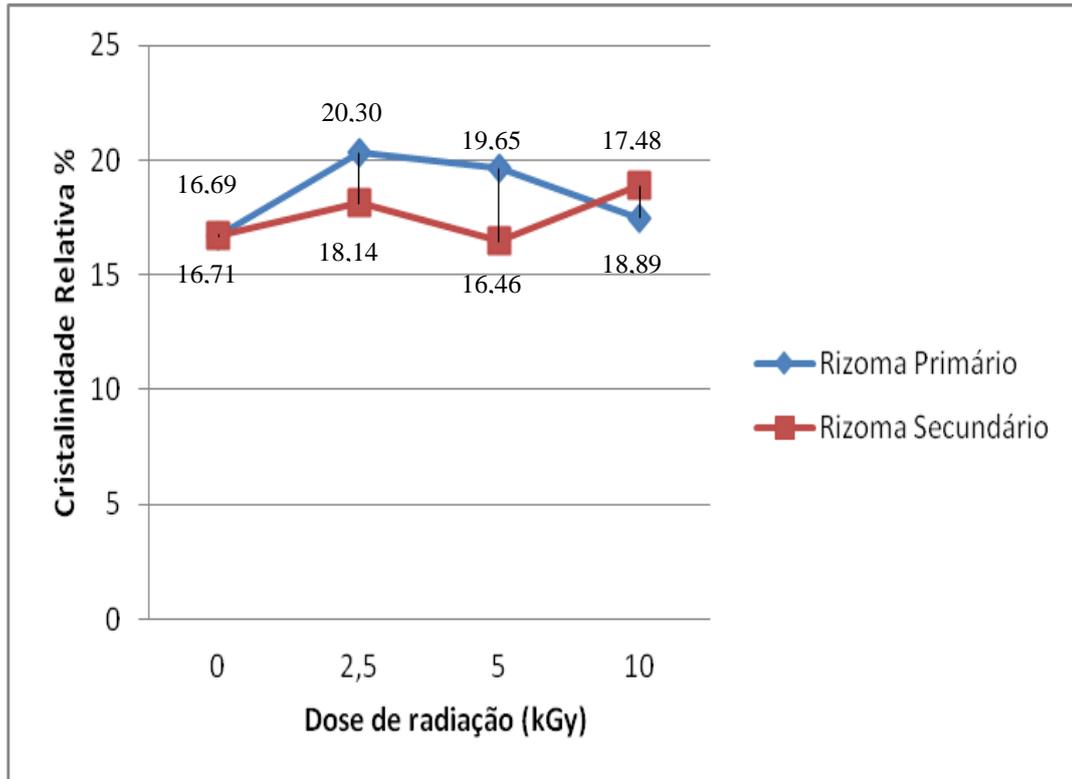


Figura 14. Cristalinidade Relativa das féculas dos rizomas primários e secundários.

5.4 PROPRIEDADE TÉRMICA

Os resultados das temperaturas de gelatinização (T_i , T_p e T_f) e a entalpia de gelatinização (ΔH) das amostras estão apresentados na Tabela 1. A temperatura de gelatinização aumentou na dose controle até a dose de 5kGy no rizoma primário. Nas amostras de rizoma secundário, irradiadas ou não, não houveram alterações significativas nas suas temperaturas de gelatinização. As entalpias da gelatinização das amostras do rizoma primário decresceram até 5kGy, mas aumentou na 10kGy. Já para as amostras de rizoma secundário, as entalpias de gelatinização não seguiram tendência crescente ou decrescente. Vale ressaltar que o processo de gelatinização de todas as amostras foi endotérmico, tendo em vista que a entalpia de gelatinização é o gasto total de energia para fundir as amilopectinas.

O aumento da temperatura de gelatinização e a entalpia após a irradiação têm sido reportados com feijão Caupi (ABU; DUODU; MINNAAR, 2006), farinha de feijão (ROMBO; TAYLOR; MINNAAR, 2004) e fécula de batata (SINGH, et al., 2011). Por outro lado, a redução de temperaturas de gelatinização e da entalpia tem sido relatados por Liu et al. (2012) e Bao, Ao e Jane (2005) que estudaram amido de milho e farinha de arroz, respectivamente.

Tabela 1. Propriedade térmica de féculas não irradiadas e irradiadas de rizomas primário e secundário de *Curcuma Longa L.*

Rizomas	Doses de radiação (kGy)	Parâmetros térmicos			
		T_i (°C) ^a	T_p (°C) ^a	T_f (°C) ^a	ΔH (J/g) ^a
Primário	0	80,75 ± 0,17 ^A	86,14 ± 0,04 ^A	91,05 ± 0,21 ^A	11,81 ± 0,03 ^A
	2,5	82,27 ± 0,16 ^B	86,05 ± 0,07 ^A	91,67 ± 0,05 ^B	10,88 ± 0,02 ^B
	5	81,48 ± 0,18 ^C	86,00 ± 0,09 ^A	91,85 ± 0,07 ^B	10,33 ± 0,01 ^C
	10	80,65 ± 0,18 ^A	85,40 ± 0,12 ^B	89,90 ± 0,14 ^C	11,12 ± 0,03 ^D
	0	82,44 ± 0,06 ^A	87,80 ± 0,26 ^A	91,50 ± 0,28 ^A	11,15 ± 0,21 ^A
Secundário	2,5	82,05 ± 0,06 ^A	87,90 ± 0,06 ^A	91,60 ± 0,14 ^A	10,26 ± 0,02 ^B
	5	82,32 ± 0,17 ^A	88,02 ± 0,05 ^A	91,74 ± 0,09 ^A	10,91 ± 0,03 ^{AC}
	10	82,12 ± 0,13 ^A	87,85 ± 0,07 ^A	92,10 ± 0,14 ^A	10,51 ± 0,02 ^{BC}

Média ± desvio padrão. Os valores seguidos pela mesma letra dentro da mesma coluna não diferem significativamente ($p < 0,05$).

^a T_i = Temperatura de gelatinização; T_p = Temperatura de pico; T_f = Temperatura final; ΔH = Entalpia

O aumento da temperatura de gelatinização e a redução de entalpias de gelatinização que ocorreu com as féculas até 5kGy de rizoma primário, podem estar relacionados com o nível da ligação cruzada dentro dos grânulos. Alguns trabalhos reportaram que a ligação cruzada pode elevar a temperatura de gelatinização e reduzir a entalpia de gelatinização quando medida no DSC (CARMONA-GARCIA et al., 2009; CHATAKANONDA; VARANIT; CHINACHOTI, 2000; CHUNG et al., 2010). As alterações ocorridas nas propriedades de gelatinização sugerem que a ligação cruzada por diésteres de fosfato inibiu a gelatinização de cristalitos ou promoveu uma compactação de organização molecular nos grânulos de amido (CARMONA-GARCIA et al., 2009; WOO; SEIB, 2002).

Geralmente, a elevação das temperaturas de transição, tem sido relacionada a alto teor de cristalinidade, os quais contribuem a estabilidade estrutural e tornam os grânulos mais resistentes à gelatinização (DERNADIN; SILVA, 2009). Essas características conferem o perfil apresentado pelas féculas do rizoma primário.

O aumento de entalpia de gelatinização foi observado na fécula tratada com 10kGy do rizoma primário com decréscimo de cristalinidade (Fig. 12). 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 10kGy, um tempo maior foi despendido, e durante esse período prolongado, seria possível ocorrer a reestruturação molecular das cadeias da fécula dentro de região amorfa e cristalina. Esse processo de reestruturação poderia promover a ligação de hidrogênio dentro das cadeias de fécula, procedendo uma estabilidade estrutural (rearranjo de dupla hélice), o que levaria um aumento na entalpia de gelatinização sem gerar o empacotamento denso na ordem molecular, o que pode ser detectado por difração de raio-X (CHUNG; LIU, 2009).

A oscilação de valores de entalpia induzida pela irradiação nas féculas do rizoma secundário pode estar relacionada com efeito de diferentes doses de radiação na fécula do rizoma secundário, que dependendo da dose de radiação, a fécula pode se degradar ou realizar ligações cruzadas nas suas moléculas. O caso semelhante foi mencionado por Abu, Duodu e Minnaar (2006), que pesquisaram o efeito de irradiação gama no amido de feijão Caupi.

5.5 SOLUBILIDADE EM ÁGUA

Os resultados da solubilidade de féculas de rizomas primários e secundários de cúrcuma, tratadas com diferentes doses de radiação em temperaturas entre 60 a 90 °C estão resumidos na Tabela 2. Todas as amostras tiveram aumento de solubilidade, conforme a elevação de temperatura, sendo que nas amostras irradiadas, além do efeito da temperatura, o aumento da dose de radiação também favoreceu a solubilidade de fécula.

Para as amostras do rizoma primário, a fécula tratada com 5kGy obteve menor solubilidade na temperatura de 60 °C, no entanto, a partir de 70 °C, todas as amostras tiveram aumentos significativos na solubilidade até 90 °C. Entre a faixa de temperatura testada (60 - 90 °C), a fécula não tratada obteve menor percentual de solubilidade com 3,74% (90-60°C), enquanto a fécula irradiada com 10kGy, conseguiu o aumento de 13% (90-60°C). No rizoma secundário, o aumento significativo na solubilidade das amostras começaram a partir de 80 °C, sendo a fécula controle foi menos solúvel com 1,33% (90-60°C) e a fécula tratada com 10kGy, foi mais solúvel com 13,87% (90-60°C) entre todas as amostras observadas.

Tabela 2. Solubilidade em água (%) de féculas não irradiadas e irradiadas de rizomas primário e secundário de *Curcuma Longa L.*

Rizomas	Doses de radiação (kGy)	Temperatura (Solubilidade %)			
		60°C	70°C	80°C	90°C
Primário	0	0,61 ± 0,17 ^{abA}	0,88 ± 0,07 ^{abB}	2,54 ± 0,09 ^{acC}	4,35 ± 0,07 ^{adD}
	2,5	0,67 ± 0,12 ^{aA}	1,46 ± 0,10 ^{bbB}	1,66 ± 0,11 ^{bcC}	10,21 ± 0,17 ^{bdD}
	5	0,47 ± 0,09 ^{baA}	1,87 ± 0,09 ^{cbB}	2,06 ± 0,10 ^{ccC}	11,28 ± 0,16 ^{cdD}
	10	0,87 ± 0,08 ^{caA}	3,17 ± 0,02 ^{dbB}	4,52 ± 0,10 ^{dcC}	13,87 ± 0,11 ^{ddD}
Secundário	0	0,53 ± 0,08 ^{aA}	0,81 ± 0,03 ^{abB}	1,27 ± 0,12 ^{acC}	1,86 ± 0,11 ^{acC}
	2,5	0,56 ± 0,09 ^{aA}	1,19 ± 0,04 ^{bbB}	1,30 ± 0,04 ^{abB}	11,11 ± 0,08 ^{bdD}
	5	0,80 ± 0,00 ^{baA}	1,16 ± 0,04 ^{bbB}	1,87 ± 0,08 ^{bcC}	7,11 ± 0,08 ^{ccC}
	10	0,47 ± 0,10 ^{aA}	1,27 ± 0,10 ^{bbB}	2,68 ± 0,10 ^{ccC}	14,34 ± 0,20 ^{dcC}

Médias ± desvios padrão. Os valores seguidos pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna (entre o mesmo rizoma) não diferem significativamente ($p < 0,05$). Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula dentro da mesma linha não diferem significativamente ($p < 0,05$).

A fécula controle (sem dose de radiação) do rizoma secundário foi menos solúvel que a do rizoma primário e foi necessária uma temperatura maior para aumentar a solubilidade. Mesmo com o emprego da irradiação, os rizomas podem diferir-se nas suas estruturas ao nível molecular, onde pelo comportamento observado na solubilidade e na cristalinidade relativa, a fécula de rizoma secundário, provavelmente, tenha estrutura cristalina mais rígida, com grau de associação mais forte nas cadeias de amilopectina e nas duplas hélices dentro das moléculas do grânulo.

Vários estudos relataram o mesmo comportamento observado no presente estudo, onde a temperatura e a irradiação induziram o aumento de solubilidade de amido na água. Entre eles, Liu et al. (2012) irradiou amido de milho até 500kGy e elevou a solubilidade até 48,64%, De Kelf et al. (2001) aumentou a solubilidade substancialmente nos amidos de milho e batata, utilizando irradiação gama e feixe de elétron; MacArthur e D'Appolonia (1984), também, melhoraram a solubilidade de amido de trigo com baixa dose de irradiação gama.

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

eleva-se a temperatura de 60 a 90 °C, as amostras irradiadas tornaram-se mais solúveis e, por isso, conclui-se que o efeito de irradiação foi maior que efeito do aquecimento na solubilidade. Esse comportamento pode ter sido promovido pelo aumento da polaridade, devida à cisão das cadeias (quebra da ligação glicosídica) e pela redução de ligação de hidrogênio intercadeias, que favoreceu a ligação de pontes de hidrogênio com a água, conseqüentemente, melhorando a solubilidade de amido irradiado (LIU et al., 2012).

5.6 PODER DE INCHAMENTO

O poder de inchamento das amostras não irradiadas e irradiadas está demonstrado na Tabela 3. Todas as féculas analisadas tiveram aumento de inchamento, quanto maior a temperatura (de 60 à 90°C). No rizoma primário, as amostras controle e irradiada com 2,5kGy tiveram aumento significativo de inchamento, quando atingiram 80 °C, enquanto nas outras amostras irradiadas com 5 e 10kGy, o inchamento tornou-se significativo após 70 °C. Entre as temperaturas aplicadas, a fécula controle obteve menor índice de inchamento (1,56g/g), enquanto a fécula com radiação de 2,5kGy conseguiu maior valor de inchamento de (5,4g/g), entre as amostras irradiadas. Os valores de inchamento decresceram conforme a elevação de nível de radiação na temperatura de 90°C.

No rizoma secundário, a função temperatura exerceu papel importante no aumento de poder de inchamento nas amostras analisadas, visto que, quanto maior a temperatura, maiores os valores de inchamento encontrados. A amostra controle (0 kGy) obteve menor valor de inchamento (1,56g/g) comparado às outras amostras irradiadas. A fécula irradiada com 10kGy conseguiu maior índice de inchamento com 6,13g/g, seguido pela fécula tratada com 2,5kGy e 5kGy, que obtiveram valores de 4,88 e de 3,57g/g, respectivamente. Para as amostras irradiadas com 5 e 10kGy, o inchamento tornou-se significativo quando a temperatura atingiu 70°C e, para as amostras controle e tratadas com 2,5kGy, somente quando a temperatura chegou a marca de 80 °C. Esse comportamento, também, foi observado nas amostras do rizoma primário, sugerindo que a alta dose de radiação possa acelerar o processo de inchamento dos grânulos de fécula

Tabela 3. Poder de inchamento de féculas não irradiadas e irradiadas de rizomas primário e secundário de *Curcuma Longa* L.

Rizomas	Doses de radiação (kGy)	Temperatura (Inchamento gFécula/gÁgua)			
		60°C	70°C	80°C	90°C
Primário	0	2,46±0,10 ^{aA}	2,39±0,07 ^{aA}	2,76±0,20 ^{aB}	4,02±0,20 ^{aC}
	2,5	2,64±0,08 ^{abA}	2,62±0,08 ^{aA}	3,11±0,23 ^{bB}	8,04±0,10 ^{bC}
	5	2,29±0,11 ^{aA}	2,60±0,05 ^{aB}	3,00±0,12 ^{abC}	7,99±0,05 ^{bD}
	10	2,42±0,06 ^{aA}	2,98±0,05 ^{bB}	3,02±0,57 ^{abB}	7,44±0,29 ^{cC}
Secundário	0	2,40±0,17 ^{abA}	2,51±0,04 ^{aAB}	2,72±0,20 ^{aB}	3,91±0,20 ^{aC}
	2,5	2,52±0,18 ^{bA}	2,51±0,11 ^{aA}	2,67±0,08 ^{aA}	7,40±0,04 ^{bB}
	5	2,19±0,03 ^{acA}	2,59±0,05 ^{aB}	2,91±0,22 ^{aB}	5,76±0,18 ^{cC}
	10	1,98±0,23 ^{cA}	2,65±0,17 ^{aB}	2,78±0,09 ^{aB}	8,11±0,19 ^{dC}

Médias ± desvios padrão. Os valores seguidos pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna (entre o mesmo rizoma) não diferem significativamente ($p < 0,05$). Os valores seguidos pela mesma letra maiúscula dentro da mesma linha não diferem significativamente ($p < 0,05$).

O poder de inchamento é a capacidade de amido de reter água dentro da sua estrutura, antes e durante a gelatinização (ABU; DUODU; MINNAAR, 2006). A amilopectina é considerada como fator principal pelo inchamento dos grânulos de amido (TESTER; MORRISON, 1990), 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 de enfraquecimento de ligações dentro do domínio cristalino (SINGH et al., 2003). Uma vez reduzida a quantidade de fração de amilopectina pela radiação gama, conseqüentemente, o poder de inchamento também é diminuído. Vários trabalhos reportaram que a capacidade de inchamento de amido foi reduzida, devido à diminuição de amilopectina pelo processo de irradiação (CHUNG; LIU, 2009; MACARTHUR; D'APPOLONIA, 1984; ABU; DUODU; MINNAAR, 2006; CHUNG; LIU, 2010; DE KELF et al., 2001).

Neste estudo, a redução de inchamento não foi observada nas amostras de rizoma secundário; já nas féculas de rizoma primário, a redução somente ocorreu de forma decrescente com as amostras irradiadas na temperatura de 90 °C. Os resultados do poder de

inchamento são semelhantes aos achados da cristalinidade relativa do presente trabalho, onde a cristalinidade do rizoma primário decresceu a partir da amostra irradiada com 2,5kGy e oscilou entre as amostras do rizoma secundário.

Esses comportamentos apresentados nos dois rizomas sugerem uma possível ocorrência de recombinação da estrutura cristalina, por radicais livres, gerados na cisão de ligações glicosídicas das cadeias de amilopectina, causada pela taxa de dosagem lenta de irradiação que, provavelmente, ofereceu tempo suficiente para reconstrução das estruturas de amilopectina. Esse fenômeno também foi constatado pelo Chung e Liu (2009).

6 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DAS FÉCULAS

Irradiação gama afetou as propriedades das féculas analisadas, tanto primário quanto secundário, especialmente, na fécula irradiada com 2,5kGy do rizoma primário e 10kGy do rizoma secundário. A provável ocorrência das ligações cruzadas e das recombinações dos radicais livres na estrutura molecular dos grânulos das féculas do rizoma primário e do secundário, pode fazer com que estas féculas sejam mais estáveis à ação térmica, mais resistentes à agitação mecânica e à condição de pH baixo, melhorando assim, a viscosidade da pasta e o inchamento das fécula. Essas propriedades de espessante permitem as féculas irradiadas exercerem os papéis de estabilizador de textura e regulador de sistema alimentício que, concedem maior flexibilidade no trabalho com formulações e processos nos produtos alimentares e, também melhorar a vida de prateleira dos alimentos formulados (CEREDA; VILPOUX, 2003; CHATAKANONDA; VARANIT; CHINACHOTI, 2000; DEMIATE et al., 2000; THARANATHAN, 2005).

De acordo com as propriedades supracitadas, sugere que as féculas tem potencial para serem utilizadas nos produtos enlatados ou de panificação, por terem temperaturas de gelatinização mais elevada, também servirem como espessante e estabilizante no molho de salada, por resistirem a presença de acidez e ações mecânicas durante a homogeneização ou nos produtos extrusados, que passam por processos com altas temperaturas e cortes mecânicos.

Para confirmar essas aplicações potenciais, serão necessários alguns estudos que possam avaliar a reação destas féculas frente a essas possibilidades, a fim de saber a viabilidade real do uso de féculas irradiada dos rizomas primário e secundário nas indústrias de alimentos.

7 CONCLUSÃO

A irradiação gama não promoveu mudança na morfologia das féculas, mas, influenciou notavelmente na cristalinidade relativa, propriedade térmica, solubilidade em água e poder de inchamento das féculas irradiadas nos ambos os rizomas. Isso provavelmente induziu alterações tecnológicas das féculas de forma positiva que potencializa suas utilizações nas indústrias de alimentos como espessante.

REFERÊNCIAS

- ABREU MATOS, F. J. **Farmácias vivas: sistema de utilização de plantas medicinais projetados para pequenas comunidades**. 2 ed. Fortaleza: EUFC, 1994, 180 p.
- ABU, J. O.; DUODU, K. G.; MINNAAR, A. Effect of γ -irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna Unguiculata* L. Walp) starch. **Food Chemistry**, London, v, 95, n. 3, p. 386 – 393, 2006.
- ACQUARONE, V. M.; RAO, M. A. Influence of sucrose on the rheology and granular size of maize dispersion heated to two temperatures. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 51, n. 4, p. 451 - 458, 2003.
- ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do Lírio-do-Brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 159 – 166, 2010.
- BALAGOPALAN, C.; MOORTHY, S. N.; NANDA, S. K.; PADMAJA, G. Properties of cassava starch. In: **Cassava in food, feed and industry**, Cleveland: CRC Press, 1988, p. 116 - 126.
- BAO, J.; AO, Z.; JANE, J. L. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 57, n. 10, p. 480 - 487, 2005.
- BAO, J.; CORKE, H. Pasting properties of gamma-irradiated rice starches as affected by pH. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, p. 336 - 341, 2002.
- BEHRENS, J. H.; BARCELLOS, M. N.; FREWER, L. J.; NUNES, T. P.; LANDGRAF, M. Brazilian consumer views on food irradiation. **Innovative food science and emerging technologies**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 383 – 389, 2009.
- BELLO-PÉREZ, L. A.; MONTEALVO, M. G. M.; ACEVEDO, E. A. Amidón: definición, estructura y propiedades. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionales iberoamericano**. São Paulo: Edusp, 2006, cap. 1, p. 17 – 46.
- BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná 2008.
- BHAT, R.; KARIM, A. A. Impact of radiation processing on starch, **Comprehensive reviews in food science and food safety**. Chicago, v. 8, n.1, p. 44 – 58, 2009.
- BHAT, R.; SRIDHAR, K. R.; BHUSHAN, B. Free radicals in velvet bean seeds (*Mucuna pruriens* L. DC.) and their status after γ -irradiation and conventional processing. **LWT - Food Science & Technology**, London, v. 40, p. 1570 - 1577, 2007.

BILIADERIS, C. G. The Structure and Interactions of Starch with Food. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, Ottawa, v. 69, n. 1, p. 60 – 78, 1991.

BLENNOW, A.; BAY-SMIDT, A. M.; OLSEN, C. E.; MOLLER, B. L. The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 27, n. 3, p. 211 - 218, 2000.

BRAGA, M. E. M.; MORESCHI, S. R. M.; MEIRELES, A. A. Effects of supercritical fluid extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 63, n. 3, p. 340 – 346, 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 263, de 22 de Setembro de 2005**. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Brasília, DF: ANVISA, 2005. Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutec.htm>>. Acesso em 26 fev 2013.

BULEON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 23, n. 2, p. 85 - 112, 1998.

CARMONA-GARCIA, R.; SANCHEZ-RIVERA, M. M.; MENDEZ-MONTEALVO, G. M.; GARZA-MONTOYA, B.; BELLO-PEREZ, L. A. Effect of the cross-linked reagent type on some morphological, physicochemical and functional characteristics of banana starch (*Musa paradisiaca*). **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 76, n. 1, p. 117 – 122, 2009.

CECÍLIO FILHO, A. B.; SOUZA, R. J.; BRAZ, L. T.; TAVARES, M. Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usos potenciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 171 – 175, 2000.

CEREDA, M., VILPOUX, O. F. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003, v. 3, 711 p.

CHATAKANONDA, P.; VARANIT, S.; CHINACHOTI, P. Effect of cross linking on thermal and microscopic transitions of rice starch. **Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie**, London, v. 33, n. 2, p. 276 - 284, 2000.

CHUNG, H. J.; LEE, S. Y.; KIM, J. H.; LEE, J. W.; BYUN, M. W.; LIM, S. T. Pasting characteristics and in vitro digestibility of γ -irradiated RS₄ waxy maize starches. **Journal of Cereal Science**, London, v. 52, n. 1, p. 53 – 58, 2010.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, n. 5, p. 353 – 361. 2009.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. Molecular structure and physicochemical properties of potato and bean starches as affected by gamma irradiation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 47, n. 2, p. 214 – 222, 2010.

CIE SLA, K.; ZOLTOWSKI, T.; MOGILEVSKY, L. Y. Detection of starch transformation under gamma irradiation by small angle X-ray scattering. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 43, n. 1, p. 11 - 16, 1991.

COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 227, n. 1, p. 103 – 112, 1992.

CURÁ, J. A.; JANSSON, P. E.; KRISMAN, C. R. Amylose is not linear. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 47, n. 6, p. 207 - 209, 1995.

DE KELF, M.; MONDELAERS, W.; LAHORTE, P.; VERVAET, C.; REMON, J. P. Characterisation and disintegration properties of irradiated starch. **International Journal of Pharmaceutics**, Amsterdam, v. 221, n. 1, p. 69 – 76, 2001.

DEMIATE, I. M.; DUPUY, N.; HUVENNE, J. P.; CEREDA, M. P.; WOSIACKI, G. Relationship between baking behavior of modified cassava starches and starch chemical structure determined by FTIR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, v. 42, n. 2, p. 149 - 158, 2000.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945 – 954, 2009.

DIEHL, J. F. Food irradiation: past, present and future. **Radiation Physical and Chemistry**, Oxford, v. 63, p. 211 - 215, 2002.

ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food**. New York: Marcel Dekker, 1996. 664 p.

ELIASSON, A. C. **Starch in food: Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605 p.

ELLIS, R. P.; COCHRANE, M. P.; DALE, M. F. B.; DUFFUS, C. M.; LYNN, A.; MORRISON, I. M.; PRENTICE, R. D. M.; SWANSTON, J. S.; TILLER, S. A. Starch production and industrial use. **Journal of Science Food Agriculture**, London, v. 77, n. 3, p. 289 - 311, 1998.

FAO. 2003. Standard for irradiated foods. **CODEX STAN 106** 1983, REV. 1 2003. Revised Codex General. Food and Agriculture Organization: Rome.

GALLIARD, D. T.; BOWLER, P. Morphology and composition of starch. In:_____. **Starch properties and potential**. Chichester: Willey, 1987. p. 55 – 78.

GONÇALVES, M. F. V. **Tratamento térmico dos amidos de batata doce (*Ipomoea batatas* L.) e de mandioca salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) sob baixa umidade em microondas**. 2007. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2007.

GOTO, R. **Épocas de plantio, adubação fosfatada e unidades térmicas em cultura de açafrão (*Curcuma longa* L.)**. 1993. 93f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade

de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 1993.

GOVINDARAJAN, V. S. Turmeric – chemistry, technology and quality. **CRC Critical Reviews in Food Science Nutrition**, Cleveland, v. 12, n. 3, p. 199 - 301, 1980.

GUNARATNE, A.; HOOVER, R. Effect on heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 49, n. 4, p. 425 - 437, 2002.

HIRASHIMA M., TAKAHASHI, R.; NISHINARI, K. Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of cornstarch pastes. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, n. 5, p. 909 - 914, 2005.

HIZUKURI S. Relationship between the distribution on the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. **Carbohydrates Research**, v. 141, p. 295 - 306, 1985.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 45, n. 3, p. 253 - 267, 2001.

IONASHIRO, M. **Fundamentos de termogravimetria e análise térmica diferencial/calorimetria exploratório diferencial**. São Paulo: Giz, 2005, p. 80.

JENKINS, P. J.; CAMERON, R. E.; DONALD, A. M. A universal feature in the structure of starch granules from different botanical sources. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 45, n. 12, p. 417 - 420, 1993.

JUNQUEIRA-GONÇALVES, M. P.; GALOTTO, M. J.; VALENZUELA, X.; DINTEN, C. M.; AGUIRRE, P.; MILTZ, J. Perception and view of consumers on food irradiation and the Radura symbol. **Radiation physics and Chemistry**, Oxford, v. 80, n. 1, p. 119 - 122, 2011.

KARIM, A. A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, London, v. 71, n. 1, p. 9 - 36, 2000.

KRISHNAMURTHY, N.; PADMABAI, R.; NATARAJAN, C. P.; KUPPUSWAMU, S. Colour content of turmeric varieties and studies on its processing. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 12, n. 1, p. 12 - 14, 1975.

LEACH, H. W.; MCCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 36, n. 6, p. 534 - 544, 1959.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 579 - 588, 2007.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; CEREDA, M. P. New starches for the food industry: *curcuma longa* and *curcuma zedoaria*. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 54, n. 3, p. 385 - 388, 2003.

LINEBACK, D. R. The starch granule: organization and properties. **Bakers Digest**, New York, v. 58, n. 2, p.16 - 21, 1984.

LIU, T.; MA, Y.; XUE, S.; SHI, J. Modifications of structure and physicochemical properties of maize starch by γ -irradiation treatment. **LWT – Food Science and Technology**, Zurich, v. 46, n. 1, p.156 - 163, 2012.

MACARTHUR, L. A.; D'APPOLONIA, B. L.; Gamma radiation of wheat. II. Effects of low-dosage radiations on starch properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 61, n. 4, p. 321 – 326, 1984.

MAIA, N. B.; BOVI, O. A.; DUARTE, F. R.; SORIA, L. G.; ALMEIDA, J. A. R. Influência de tipos de rizomas de multiplicação no crescimento de cúrcuma. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 1, p. 33 – 37, 1995.

MANGALAKUMARI, C. K.; MATHEWS, A. G. Significant constituents of turmeric. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 25, n. 23, p. 93 - 96, 1988.

MARINOZZI, G. Estudo da cadeia produtiva do açafrão (*curcuma longa L.*) e do sistema produtivo local da região de Mara Rosa/GO. In: **Estabelecimento de Tecnologia para o Fortalecimento do Agronegócio do Açafrão (*curcuma longa L.*) em Mara Rosa-GO**. Goiânia: UFG/CNPq, 2002. (Relatório de Pesquisa).

MESTRES, C. Los estados físicos del amidon. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DEL ALMIDON, 1996, Quito. **Anais...** Quito: Escuela Politécnica Nacional. Instituto de Investigación Tecnológica, 1996. p. 1 - 16.

MILHOMEM, A. V.; TEIXEIRA, S. M. **Diagnóstico socioeconômico da produção de açafrão (*Curcuma longa L.*) no município de Mara Rosa-GO**. Goiânia: Ed. da UFG, 1999.

MORRISON, W. R.; KARKALAS, J. **Methods in plant biochemistry starch**. New York: Academic Press, 1990, p. 323 - 352.

PANNEERSELVAM, R.; ABDUL JALEEL, C.; SOMASUNDARAM, R.; SRIDHARAN, R.; GOMATHINAYAGAM, M. Carbohydrate metabolism in *Dioscorea esculenta* (Lour.) Burk. tubers and *Curcuma longa L.* rhizomes during two phases of dormancy. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 59 – 66, 2007.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, São Paulo, 2003.

PRUTHI, J. S. **Spices and condiments: chemistry, microbiology, technology**. New York: Academic Press, 1980. 434 p.

ROMBO, G. O.; TAYLOR, J. R. N.; MINNAAR, A. Irradiation of maize and bean flours: Effects on starch physicochemical properties. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v. 84, n. 4, p. 350 – 356, 2004.

SARMENTO, S. B. S. **Caracterização da fécula de mandioca (*Manihot esculenta*) no período de colheita de cultivares de uso industrial**. 1997. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SCHOCH, T. J. Swelling power and solubility of granular starches. In: WHISTLER, R. L.; SMITH, R. J.; BEMILLER, J. N. **Methods in Carbohydrate Chemistry**. Orlando: Academic Press, 1964. p.106 - 108.

SINGH, J.; MCCARTHY, O. J.; SINGH, H. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand *Taewa* (Maori potato) starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 64, n. 4, p. 569 – 581, 2006.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S.; Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, London, v. 81, n. 2, p. 219 - 231, 2003.

SINGH, S; SINGH, N.; EZEKIEL, R.; KAUR, A. Effects gamma irradiation on the morphological, structural, thermal and rheological properties of potato starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, n. 4, p. 1521 - 1528, 2011.

SOLOMON, G.; FRYHLE, G. **Química Orgânica**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 645 P.

SUGAYA, A. Micropropagation of turmeric (*Curcuma domestica* Valet.) and other Curcuma species. In: BAJAJ, Y. P. S. (Ed.). **Biotechnology in agriculture and forestry: high-tech and micropropagation III**, Berlin: Springer-Verlag, 1992. v. 19, p. 277-294.

SWINKELS, J. J. M. Composition and properties of commercial native starches. **Starke/Starch**, Weinheim, v. 37, n. 1, p. 1 - 5, 1985.

SYAHARIZA, Z. A.; LI, E.; HASJIMA, J. Extraction and dissolution of starch from rice and sorghum grains for accurate structural analysis. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 82, n. 1, p. 14 – 20, 2010.

TAKEDA, Y.; HIZUKURI, S.; TAKEDA, C.; SUZUKI, A. Structures of branched molecules of amyloses of various origins and molar fractions of branched and unbranched molecules. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 165, n. 2, p. 139 - 145, 1987.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 67, n. 3, p.551 - 557, 1990.

THAKUR, B. R.; SINGH R. K. Combination processes in food irradiation. **Trend in food science & technology**, Cambridge, v. 6, n. 1, p. 7 – 11, 1995.

THARANATHAN, R. N. Starch – value addition by modification. **Critical reviews in food science and nutrition**, Cleveland, v. 45, n. 5, p. 371 – 384, 2005.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. **Starches: Practical Guides for the Food Industry**. Minnesota: Eagan Press, 1999. 94 p.

VON HERTWIG, I. F. **Plantas medicinais e aromáticas**: plantio, colheita, secagem e comercialização. 2 ed. São Paulo: Icone, 1991, 414 p.

WHO/FAO. **Carbohydrates in human nutrition**. Rome: FAO, 1998, (FAO food and nutrition paper no. 66).

WOO, K. S.; SEIB, P. A. Cross-linked resistant starch :preparation and properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 6, p. 819 - 825, 2002.

YONEMOTO, P. G.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. M. L. Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 761 – 771, 2007.

YOON, H. S.; YOO, J. Y.; KIM, J. H.; LEE, J. W.; BYUN, M. W.; BAIK, B. K.; LIM, S. T. *In vitro* digestibility of gamma irradiated corn starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 81, n. 4, p. 961 – 963, 2010.

YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 46, n. 2, p. 179 - 184, 2001.

ZANÃO, C. F. P.; CANNIATI-BRAZACA, S. G.; SARMENTO, S. B. S.; ARTHUR, V. Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciência de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 46 – 55, 2009.

ZHOU, M.; ROBARDS, K.; GLENNIE – HOLMES, M.; HELLIWELL, S. Structure and Pasting Properties of Oat Starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 75, n. 7, p. 273 - 281, 1998.

ZOBEL, H. F. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. **Starch**: chemistry and technology. London: Academic Press, 1984, cap. 9, p. 285 - 309.

ZOBEL, H. F. Molecules to granules: a comprehensive starch review. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 40, n. 2, p. 44 – 50, 1988.

