

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo  
desta dissertação será  
disponibilizado somente  
a partir de 13/04/2020.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Câmpus de São José do Rio Preto

Marilia Gato Marim

Efeito de ácidos graxos saturados sobre as propriedades físico-químicas e  
digestibilidade do amido

São José do Rio Preto  
2018

Marilia Gato Marim

Efeito de ácidos graxos saturados sobre as propriedades físico-químicas e  
digestibilidade do amido

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos: área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: Capes DS

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Célia Maria Landi Franco

São José do Rio Preto  
2018

Marim, Marília Gato.

Efeito de ácidos graxos saturados sobre as propriedades físico-químicas e digestibilidade do amido / Marília Gato Marim . -- São José do Rio Preto, 2018

69 f. : il., tabs.

Orientador: Célia Maria Landi Franco

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Amido. 3. Ácidos graxos. I.

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

CDU – 577.115

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE  
UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Marilia Gato Marim

Efeito de ácidos graxos saturados sobre as propriedades físico-químicas e  
digestibilidade do amido

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos: área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: Capes DS

Comissão Examinadora

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Célia Maria Landi Franco  
UNESP – São José do Rio Preto  
Orientadora

Prof. Dr.<sup>a</sup>. Marina Costa Garcia  
Pós-doutoranda da UFG

Prof. Dr.<sup>a</sup>. Vânia Regina Nicoletti Telis  
UNESP – São José do Rio Preto

São José do Rio Preto  
13 de abril de 2018

*“O medo se vai quando ouço a voz do alto a me dizer:  
Sê valente, sê valente!”*

*Marcos Almeida*

## AGRADECIMENTO

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me dado força, sabedoria, paciência e perseverança para alcançar mais este objetivo.

À minha orientadora, Profa. Dra. Célia Maria Landi Franco, pela oportunidade, pelo direcionamento, apoio e confiança.

De forma especial, agradeço aos meus pais Cláudio Crespilho e Eleni C. Gato pelo apoio incansável, amor incondicional e incentivo.

Ao meu noivo, Rodrigo Diniz, pelo carinho, sinceridade e encorajamento.

Às amigas de convívio diário, Taís, Flávia, Mariana, Márcia, Vivian, Kamila, Jéssica, Ana Carolina, pelos conselhos, almoços, companhia e descontrações.

À aluna de iniciação científica Juliana Fiori por auxiliar em parte das análises.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT-UNESP, Botucatu, SP) pelo fornecimento de materiais utilizados neste trabalho.

À Capes pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de Mestrado.

## RESUMO

Amidos e lipídios são constituintes importantes dos alimentos capazes de interagir e formar complexos de inclusão amilose-lipídios insolúveis e resistentes às enzimas digestivas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos ácidos graxos saturados (AGS), láurico (AL) e palmítico (AP), no comportamento de gelatinização dos amidos de mandioca-salsa (AMS), batata-doce (ABD) e ervilha rugosa (AER), os quais continham 6,7, 17,3 e 43,2% de amilose, além de avaliar a cristalinidade, estabilidade térmica e digestibilidade dos complexos formados a partir do cozimento de misturas amido-AGS. Mistura amido-8%AGS foi cozida em água (10% m/v), precipitada, lavada com etanol, seca e analisada quanto ao índice de complexação, cristalinidade, propriedades térmicas e digestibilidade. A adição de 8% AGS (baseado no peso seco de amido) reduziu o teor de amilose lixiviada, poder de inchamento e solubilidade, independente do amido. As viscosidades de pico e de quebra reduziram e houve alargamento dos picos nos AMS e ABD, enquanto o AER, independente da adição de AGS, teve baixa viscosidade nas condições tempo/temperatura usadas devido ao denso empacotamento da amilose. A temperatura inicial de gelatinização obtida por DSC aumentou nos três amidos, independente do AGS, mas apenas o AER mostrou picos de dissociação do complexo amilose-lipídios ( $T_{\text{final}} > 104^{\circ}\text{C}$ ). A adição de AGS influenciou o comportamento de gelatinização dos amidos, que foi mais expressivo com o AL. A análise de componentes principais mostrou que o efeito da interação dos AGS na gelatinização foi semelhante para AMS e ABD, enquanto as amostras de AER foram bem discriminadas pelas propriedades térmicas. As misturas cozidas de amido-AGS tiveram alto índice de complexação ( $> 70\%$ ) e padrão de raios-X tipo V com picos principais a  $7^{\circ}$ ,  $13^{\circ}$  e  $20^{\circ}$  em  $2\theta$ , independentemente do amido e do AGS. As cristalinidades das misturas aumentaram significativamente quando comparadas àquelas dos amidos controle (sem AGS), principalmente para ABD-AGS que mostrou picos mais resolvidos. Os termogramas de todas as misturas cozidas mostraram picos endotérmicos referentes à dissociação dos complexos helicoidais, os quais foram classificados como amorfos tipo I, com temperaturas de pico próximas a  $92$  e  $97^{\circ}\text{C}$ , quando AL e AP, respectivamente, foram usados. Apenas a mistura AER-AP mostrou picos de dissociação de complexo cristalino (tipo II) com temperatura de transição entre  $101,5$  e  $117,3^{\circ}\text{C}$ . A formação do complexo amilose-AGS foi afetada por diferenças estruturais de cada amido e pela disponibilidade da amilose que no AER não estava totalmente disponível para a formação de complexos. O AL, por ser mais solúvel, teve maior efeito que o AP na gelatinização dos amidos, porém após cozimento e lavagem das amostras com etanol, as misturas amido-AP foram termicamente mais estáveis devido à maior interação hidrofóbica com as cadeias de amilose. As misturas cozidas de amido-AGS tiveram sua digestibilidade consideravelmente reduzida com maior formação de amido resistente no AER ( $\sim 51\%$ ), seguido do ABD ( $\sim 36\%$ ) e AMS ( $\sim 32\%$ ), independente do AGS utilizado.

Palavras-chave: complexo amido-lipídio; amido resistente; gelatinização.



## ABSTRACT

Starches and lipids are important constituents of foods capable of interacting each other and forming amylose-lipids inclusion complexes that are insoluble and resistant to digestive enzymes. The aim of this work was to evaluate the effect of the saturated fatty acids (SFA), lauric (LA) and palmitic (PA), on the gelatinization behavior of peruvian carrot (PCS), sweet potato (SPS) and wrinkled pea (WPS) starches, which contained 6.7, 17.3 and 43.2% amylose, besides evaluating the crystallinity, thermal stability and digestibility of the complexes formed from the cooking of starch-SFA mixtures. The starch-8% SFA mixture was boiled in water (10% w/v), precipitated, washed with ethanol, dried and analyzed for complexation index, crystallinity, thermal properties and digestibility. The addition of 8% SFA (based on the dry weight of starch) reduced the content of leached amylose, swelling power and solubility, regardless of the starch. Peak and break viscosities reduced and there was an enlargement of the peaks in PCS and SPC, while the WPS, regardless of the SFA addition, had low viscosity at the time/temperature conditions caused by dense packaging of amylose molecules. The initial gelatinization temperature obtained by DSC increased in the three starches, regardless of the SFA, but only the WPS showed dissociation peaks of the amylose-lipid complex ( $T_{end} > 104^{\circ}C$ ). The addition of SFA influenced the gelatinization behavior of starches, which was more expressive with LA. Principal component analysis showed that the effect of AGS interaction on starch gelatinization was similar for PCS and SPS, while WPS samples were well discriminated by thermal properties. The cooked starch-SFA mixtures had high complexing index ( $>70\%$ ) and X-ray type V pattern with principal peaks at  $7^{\circ}$ ,  $13^{\circ}$  and  $20^{\circ}$  in  $2\theta$ , regardless of the starch and SFA used. The crystallinities of the mixtures increased when compared to those of the control starches (without SFA), especially in the SPS-SFA that showed more resolved peaks. Thermograms of all the cooked mixtures showed endothermic peaks related with the dissociation of the helical complexes, which were classified as type I amorphous, with peak temperatures ranging from  $92$  to  $97^{\circ}C$ , when LA and PA were used. Only WPS-PA mixture showed crystalline complex dissociation peaks (type II) with transition temperature between  $101.5$  and  $117.3^{\circ}C$ . The formation of the amylose-SFA complex was affected by structural differences of each starch and by the availability of the amylose which in the WPS was not fully available for the formation of complexes. The LA, being more soluble, had higher effect than PA on the gelatinization of starches, but after cooking and washing the samples with ethanol, the starches-PA mixtures were thermally more stable due to the higher hydrophobic interaction between their amylose chains. Cooked starch-SFA mixtures had their digestibility considerably reduced with higher resistance to starch formation in WPS ( $\sim 51\%$ ), followed by SPS ( $\sim 36\%$ ) and PCS ( $\sim 32\%$ ), regardless of the SFA used.

Keywords: starch-lipid complex; resistant starch; gelatinization.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Diâmetro, polimorfismo e cristalinidade dos grânulos de amido de mandioquinha-salsa, batata-doce e ervilha rugosa.....	20
Tabela 2- Composição química <sup>1</sup> (%) dos amidos nativos de mandioquinha-salsa (AMS), batata-doce (ABD) e ervilha rugosa (AER).....	38
Tabela 3 - Afinidade por iodo e teores de amilose aparente e absoluto dos amidos nativos de mandioquinha-salsa (AMS), batata-doce (ABD) e ervilha rugosa (AER).....	39
Tabela 4 - Distribuição do comprimento de cadeias ramificadas da amilopectina dos amidos de mandioquinha-salsa (AMS), batata-doce (ABD) e ervilha rugosa (AER). .....	41
Tabela 5 - Teor de amilose lixiviada, em diferentes temperaturas, dos amidos de mandioquinha-salsa, batata-doce e ervilha rugosa com e sem adição de ácidos graxos saturados.....	42
Tabela 6 - Poder de inchamento (PI) e solubilidade (SOL) dos amidos de mandioquinha-salsa (AMS), batata-doce (ABD) e ervilha rugosa (AER) e suas misturas com ácidos láurico (AL) e palmítico (AP) a 85°C.....	43
Tabela 7 - Propriedades de pasta <sup>1</sup> dos amidos de mandioquinha-salsa (AMS), batata-doce (ABD) e ervilha rugosa (AER) com e sem adição de ácidos graxos saturados.....	47
Tabela 8 - Transparência (TRA) e sinérese (SIN) das pastas de amidos nativos e das misturas amido-AGS.....	48
Tabela 9 - Propriedades térmicas dos amidos de mandioquinha-salsa (AMS), batata-doce (ABD) e ervilha rugosa (AER) e suas misturas com ácidos graxos saturados.....	50
Tabela 10 - Índice de complexação (IC) das misturas cozidas de amido- AGS.....	53
Tabela 11 - Análise térmica dos amidos de mandioquinha-salsa (AMS), batata-doce (ABD) e ervilha rugosa (AER) complexados com ácidos graxos saturados.....	58
Tabela 12 - Conteúdo de ARD, ALD e AR dos amidos nativos e seus respectivos complexos sintetizados.....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura helicoidal compacta da amilose .....	16
Figura 2 - Distribuição do comprimento de cadeias ramificadas da amilopectina de amido de mandioca-salsa (AMS), amido de batata-doce (ABD) e amido de ervilha rugosa (AER).....	40
Figura 3 - Perfil de viscosidade do amido de mandioca-salsa (AMS) e suas misturas com AL e AP, obtido por RVA .....	45
Figura 4 - Perfil de viscosidade do amido de batata-doce (ABD) e suas misturas com AL e AP, obtido por RVA. ....	45
Figura 5 - Perfil de viscosidade do amido de ervilha rugosa (AER) e suas misturas com AL e AP, obtido por RVA.....	46
Figura 6 - Perfil endotérmico dos amidos nativos e adicionados de ácidos graxos saturados.....	49
Figura 7 - Gráfico dos componentes principais PC1 x PC2.....	52
Figura 8 - Difratogramas de Raios-X e cristalinidade relativa dos amidos nativos, dos amidos gelatinizados e das misturas amido-AGS cozidas .....	55
Figura 9 - Termogramas das misturas de amido-AGS cozidas, A) Aquecimento; B) Resfriamento; C) Reaquecimento.....	57

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
2.1 O AMIDO .....	14
2.2 COMPOSIÇÃO DO AMIDO .....	15
2.2.1 Amilose .....	15
2.2.2 Amilopectina .....	16
2.3.3 Componentes menores .....	17
2.3 AMIDOS DE FONTES NÃO-CONVENCIONAIS .....	17
2.3.1 Amido de Mandioquinha-Salsa .....	18
2.3.2 Amido de Batata-doce .....	18
2.3.3 Amido de Ervilha Rugosa .....	19
2.4 EFEITO DOS LIPÍDIOS NAS PROPRIEDADES DO AMIDO .....	20
2.5 COMPLEXO AMIDO-LIPÍDIO .....	22
2.6 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS COMPLEXOS .....	25
<b>3 OBJETIVO</b> .....	29
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	30
4.1 MATERIAIS .....	30
4.2 MÉTODOS .....	30
4.2.1 Isolamento do amido de ervilha rugosa .....	30
4.2.2 Composição química dos amidos .....	30
4.2.3 Teor de amilose .....	31
4.2.3.1 Isolamento da amilopectina .....	31
4.2.3.2 Determinação dos teores de amilose aparente e absoluto .....	31
4.2.4 Distribuição do comprimento das cadeias laterais da amilopectina .....	32
4.2.5 Efeito dos ácidos láurico e palmítico no comportamento de gelatinização dos amidos .....	33
4.2.5.1 Teor de Amilose lixiviada .....	33
4.2.5.2 Poder de inchamento (PI) e solubilidade (SOL) .....	33
4.2.5.3 Propriedades de pasta .....	33
4.2.5.4 Transparência de pasta (TRA) e sinérese (SIN) .....	34
4.2.5.5 Propriedade Térmica .....	34
4.2.6 Preparo de amostras cozidas e misturas amido-ácido graxo .....	35
4.2.6.1 Índice de complexação amilose-lipídeo (IC) .....	35

4.2.6.2 Difração de raios-X e cristalinidade relativa .....	35
4.2.6.3 Propriedades térmicas .....	36
4.2.6.4 Digestibilidade .....	36
4.2.7 Análise estatística.....	37
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
5.1 Composição química dos amidos.....	38
5.2 Afinidade por iodo e teor de amilose aparente e absoluto dos amidos nativos .....	39
5.3 Distribuição de comprimentos de cadeias ramificadas da amilopectina .....	40
5.4 Teor de amilose lixiviada.....	41
5.5 Poder de inchamento (PI) e Solubilidade (SOL).....	43
5.6 Propriedades de pasta .....	44
5.7 Transparência de Pasta (TRA) e sinérese (SIN).....	47
5.8 Propriedades térmicas .....	48
5.9 Análise de componentes principais .....	51
5.10 Índice de Complexação (IC) das misturas cozidas amido-AGS .....	53
5.11 Raios-X dos amidos e misturas amido-AGS cozidos.....	54
5.12 Propriedades térmicas das misturas amido-AGS cozidos .....	56
5.13 Digestibilidade .....	60
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>62</b>
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Amidos e lipídios são componentes importantes dos alimentos. Estes constituintes são capazes de interagir e formar complexos de inclusão que alteram as propriedades físico-químicas em sistemas alimentícios, pois modificam o comportamento do amido durante a gelatinização. A complexação amido-lipídio pode prevenir a lixiviação da amilose, inibir o inchamento do grânulo, reduzir a solubilidade em água, alterar as propriedades reológicas da pasta, e retardar a retrogradação, além de reduzir a susceptibilidade do amido ao ataque enzimático (AI; HASJIM; JANE, 2013; MENG et al., 2014; PUTSEYS; LAMBERTS; DELCOUR, 2010). Estas alterações influenciam diretamente a textura, a digestibilidade e a aceitabilidade dos alimentos à base de amido pelos consumidores (SALMAN; COPELAND, 2010; EXARHOPOULOS; RAPHAELIDES, 2012; WANG et al. 2016).

Complexos amido-lipídios são encontrados naturalmente ou formados durante a gelatinização do amido na presença de lipídios e/ou emulsificantes (GARCIA et al., 2016). Especialmente as cadeias longas e lineares da amilose são capazes de interagir com a parte menos polar e não polar dos lipídios formando complexos de inclusão helicoidais insolúveis em água, denominados complexos de inclusão de amilose tipo V (MARINOPOULOU et al., 2016). Para isso, é necessário que a amilose esteja disponível e com mobilidade suficiente para sofrer as mudanças conformacionais necessárias (CONDE-PETIT; ESCHER; NUSSLI, 2006). A amilopectina possui capacidade limitada para formar complexos do tipo V devido à sua estrutura altamente ramificada. No entanto, trabalhos têm mostrado ser possível também a interação entre as cadeias mais longas da amilopectina e os lipídios (MIRA, PERSSON, VILLWOCK, 2007; GARCIA; FRANCO, 2015; WANG et al., 2016).

Estudos têm mostrado que a formação de complexos amilose-lipídio e suas propriedades cristalinas são intensamente influenciadas pelas condições de formação (tempo e temperatura), estrutura dos lipídios (quantidade, tamanhos de cadeia e estrutura cristalina), além do tamanho da cadeia de amilose (SEO; KIM; LIM, 2015; ZHANG et al., 2012). A literatura relata que amidos com alto teor de amilose são mais propensos a formar complexos, pois possuem mais moléculas disponíveis para interagir com os lipídios (EXARHOPOULOS; RAPHAELIDES, 2012; SEO; KIM; LIM, 2015; GARCIA et al., 2016). Entretanto, além do teor de amilose, a disponibilidade, o comprimento e a linearidade dessas cadeias parecem ser as características estruturais mais importantes para a formação de complexos V (SEO; KIM; LIM, 2015, DRIES et al., 2016). Por exemplo, o elevado empacotamento das cadeias de amilose pode dificultar a

interação com os lipídios, assim como longas cadeias de amilose formam complexos mais estáveis e cristalinos (KAWAI et al. 2012; SEO; KIM; LIM, 2015).

Wang et al. (2016) analisaram a interação de amilose e amilopectina com diferentes tamanhos de cadeias de ácidos graxos (C12:0, C14:0, C16:0), utilizando o amido de trigo normal (~27% de amilose) e amido de trigo ceroso (~0,82 de amilose). Esses autores relataram que os ácidos graxos com menores comprimentos de cadeia, como o ácido láurico, formam complexos mais facilmente do que ácidos graxos de cadeias longas, possivelmente pelo fato de ficarem mais dispersos em amido gelatinizado (WANG et al., 2016). Em contrapartida, Marinopolou et al. (2016) avaliaram o efeito do tamanho de cadeias de ácidos graxos na formação dos complexos com amilose isolada de ervilha e observaram que, apesar de o ácido decanóico (C10:0) apresentar maior mobilidade, este foi facilmente lixiviado do complexo durante a etapa de lavagem com etanol, enquanto o ácido esteárico (C18:0) demonstrou estar mais fortemente entrelaçado pelas hélices de amilose.

Dependendo da fonte botânica, os amidos possuem diferentes características estruturais e teores de amilose que podem influenciar na formação de complexos amilose-lipídios. Inúmeros estudos analisaram sistematicamente o grau de complexação entre amilose e ácidos graxos em amidos de fontes comuns, como milho, trigo, arroz, batata (AI, HASJIM, JANE, 2013; KAWAI et al., 2012; GARCIA et al., 2016), enquanto fontes não convencionais ainda demandam mais estudos. Além disso, embora os complexos amido-lipídios sejam conhecidos por serem resistentes à hidrólise enzimática, há poucos dados sobre a relação entre a digestibilidade e a formação natural desses complexos, sem utilização de produtos químicos, nocivos à saúde.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de ácidos graxos saturados com diferentes comprimentos de cadeias nas propriedades físico-químicas e na digestibilidade dos amidos de mandioquinha-salsa, batata-doce e ervilha rugosa, selecionados por representarem fontes de amidos com diferentes teores de amilose.

## 6 CONCLUSÃO

O efeito dos AGS no comportamento de gelatinização dos amidos mostrou evidências de complexos formados na superfície dos grânulos e alterações nas propriedades físico-químicas dos amidos, como diminuição da amilose lixiviada, redução do inchamento e solubilidade, alterações nas propriedades de pasta e atraso na temperatura de gelatinização. A análise de componentes principais mostrou que o efeito da interação dos ácidos graxos na gelatinização dos amidos foi semelhante para AMS e ABD. O AL, por ser mais solúvel, teve maior influência que o AP durante a gelatinização. As misturas cozidas de amidos-AGS mostraram altos índices de complexação e seus difractogramas apresentaram picos característicos de complexos tipo V. Houve formação de complexos amorfos (tipo I) em todas as misturas, mas as misturas AER-AGS também mostraram formação de complexos cristalinos. As misturas cozidas amido-AGS mostraram-se resistentes à ação enzimática, independente do AGS utilizado. O teor de AR foi alto em todas as misturas atingido valores superiores a 50% nas misturas AER-AGS, seguido de ABD-AGS e AMS-AGS. Esses resultados são promissores, uma vez que os complexos foram produzidos de maneira simples e sem utilização de qualquer produto químico, potencializando seu uso como um ingrediente seguro e funcional.



## 7 REFERÊNCIAS

- AI, Y.; HASJIM, J.; JANE, J. Effects of lipids on enzymatic hydrolysis and physical properties of starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 92, p. 120-127, 2013.
- AI, Y.; JANE, J. Gelatinization and rheological properties of starch. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 65, p. 213-224, 2015.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. Saint Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 2000.
- BILIADERIS, C. G. Structures and phase-transitions of starch in food systems. **Food Technology**, v. 46, n. 6, p. 98-109, 1992.
- BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granule: structure and biosynthesis: – mini review. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 23, n. 2, p. 85–112, 1998.
- CAI, C.; ZHAO, L.; HUANG, J.; CHEN, Y.; WEI, C. Morphology, structure and gelatinization properties of heterogeneous starch granules from high-amylose maize. **Carbohydrate Polymers**, v. 102, p. 606-614, 2014.
- CHANG, F.; HE, X.; HUANG, Q. Effect of lauric acid on the V-amylose complex distribution and properties of swelled normal corn starch granules. **Journal of Cereal Science**, London, v. 58, p. 89-95, 2013.
- CHUNG, H. J; LIU, Q. Physicochemical properties and in vitro digestibility of flour and starch from pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 50, p. 131– 137, 2012.
- CONDE-PETIT, B.; ESCHER, F.; NUESSELI, J. Structural features of starch-flavor complexation in food model systems. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 17, p. 227–235, 2006.
- COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 23, p. 1527–1534, 2009.
- CRAIG, A. S.; MANINGAT, C. C.; SEIB, P. A.; HOSENEY, R. C. Starch pasta clarity. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 66, n. 3, p. 173-182, 1989.
- CZUCHAJOWSKA, Z.; OTTO, T.; PASZCZYNSKA, B.; BAIK, B. Composition, Thermal Behavior, and Gel Texture of Prime and Tailings Starches from Garbanzo Beans and Peas. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 4, p. 466-472, 1998.
- DAVYDOVA, N. I., LEONT'EV S.P., GENIN Y.V, SASOVA.Y., BOGRACHEVAT.Y. Some physico-chemical properties of smooth pea starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 27, n. 2, p. 109-115, 1995.
- 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.

DIAMANTINO, I. M.; PENNA, A. L. B. Efeito da utilização de substitutos de gordura em queijos *light*. *Revista do Instituto Adolfo Lutz, São Paulo*, v. 70, n. 3, p. 258-267, 2011.

DRIES D.M.; GOMAND S.V; DELCOUR J.A.; GODERIS B. V-type crystal formation in starch by aqueous ethanol treatment: The effect of amylose degree of polymerization. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 6, p.649-661, 2016.

DUNCAN, S. E. **Food Chemistry: Principles and Applications**. In: CHRISTEN, G. L.; SMITH, J. *Lipids: Basic concepts*. West Sacramento, CA: Science Technology System, p. 79-96, 2000.

ELIASSON, A. C. Interactions between starch and lipids studied by DSC. **Thermochemica Acta**, v. 246, p. 343-356, 1994.

ELIASSON, A. C. Lipid-Carbohydrate Interactions. In: HAMER, R.J; HOSENEY, R.C. **Interactions: The Keys to Cereal Quality**. St. Paul: American Association of Cereal Chemistry, 374, 1998.

ELIASSON, A. C. **Starch in food - structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, p. 33-50, 1992.

EXARHOPOULOS, S.; RAPHAELIDES, S. N. Morphological and structural studies of thermally treated starch-fatty acid systems. **Journal of Cereal Science**, London, v. 55, p. 139-152, 2012.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. STATISTICS DIVISION. 2016. **Production of cassava and sweet potato in world**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em mar. 2017.

FAROOQ, A. M.; DHITAL, S.; LI, CHAO. ZHANG, B. HUANG, Q. Effects of palm oil on structural and in vitro digestion properties of cooked rice starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, p. 1080-1085, 2018.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas: Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001.v.1, 224p, 2001.

FRANCO, C. M. L.; WONG, K.; YOO, S.; JANE, J.; Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, p. 243-248, 2002.

FRENCH, D. Organization of starch granules. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHAL, E. F. **Starch: chemistry and technology**, v.2, p. 183-247, 1984.

FUENTES-ZARAGOZA, E.; RIQUELME-NAVARRETE, M.J.; SÁNCHEZ-ZAPATA,E.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. Resistant starch as functional ingredient: a review. **Food Research International**, Canada, v. 43, p. 931-942, 2011.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 32, p. 177-191, 1997.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BULÉON, A.; PEREZ, S. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 3-16, 1992.

GARCIA, M. C.; FRANCO, C. M. L. Effect of glycerol monostearate on the gelatinization behavior of maize starches with different amylose contents. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 67, p. 107-116, 2015.

GARCIA, M. C.; PEREIRA-DA-SILVA, M. A.; TABOGA, S.; FRANCO, C. M. L. Structural characterization of complexes prepared with glycerol monoestearate and maize starches with different amylose contents. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v.148, p. 371-379, 2016.

GELENCSÊR, T.; JUHÁSZ, R.; HÓDSÁGI, M.; GERGELY, SZ; SALGÓ, A. Comparative study of native and resistant starches. **Acta Alimentaria**, Budapest, v. 37, n. 2, p. 255-270, 2008.

GIDLEY, M. J.; BOCIEK, S. M. Molecular organization in starches: A C<sup>13</sup> CP/MAS NMR study. **Journal of the American Chemical Society**, Easton, v. 107, n. 24, p. 7040-7044, 1985.

GODET M.C., BIZOT H., BULÉON A. Crystallization of amylose-fatty acid complexes prepared with different amylose chain lengths. **Carbohydrate Polymers**, v. 27, n. 1, p. 47-52, 1995.

GODET, M., BOUCHET, B., COLONNA, P., GALLANT, D. J., BULEON, A. Crystalline amylose fatty acid complexes: morphology and crystal thickness. **Journal of Food Science**, v. 6, n. 6, p. 1196-1201, 1996.

HASJIM, J.; LEE, S. O.; HENDRICH, S.; SETIAWAN, S.; AI, Y.; JANE, J. I. Characterization of a novel resistant-starch and its effects on postprandial plasmagluucose and insulin responses. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 87, p. 257-262, 2010.

HILBERT, G. E.; MACMASTERS, M. M. Pea starch, a starch of high amylase content. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 162, p. 229-238, 1946.

HOOD, L. F.; SEIFRIED, A. S. Effect of storage on the microstructure and syneresis of modified tapioca starch-milk gels. **Journal of Food Science**, Champaign, v. 39, p. 121-124, 1974.

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

HUANG, T- T.; ZHOU, D- N.; JIN, Z- Y.; XU, X- M.; CHEN, H- Q. Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 54, p. 202-210, 2016.

JANE, J. Current understanding on starch granule structure. **Journal of Applied Glycoscience**, Tokyo, v. 53, n. 3, p. 205-213, 2006.

JANE, J.; CHEN, J. F. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 69, p. 60-65, 1992.

JIANG, H.; CAMPBELL, M.; BLANCO, M.; JANE, J. Characterization of maize amylose-extender (ae) mutant starches: Part II. Structures and properties of starch residues remaining after enzymatic hydrolysis at boiling water temperature. **Carbohydrate Polymers**, v.80, p. 1-12, 2010.

KARKALAS, J., MA, S., MORRISON, W. R., PETHRICK, R. A. Some factors determining the thermal properties of amylose inclusion complexes with fatty acids. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 268, n. 2, p. 233-247, 1995.

KAWADA, J.; MARCHESSAULT, R.H. Solid State NMR and X-ray Studies on amylose complexes with small organic molecules. **Starch/Stärke**, v. 56, p. 13-19, 2004.

KAWAI, K.; TAKATO, S.; SASAKI T.; KAJIWARA, K. Complex formation, thermal properties, and in-vitro digestibility of gelatinized potato starch-fatty acid mixtures. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 27, p. 228-234, 2012.

LAI, Y. C., SHU Y. W., HUAN Y. G., KHIEM M. N., CHINH H. N., MING C. S., KUAN H. L. Physicochemical properties of starches and expression and activity of starch biosynthesis related genes in sweet potatoes. **Food Chemistry**, v. 199, p. 556-564, 2016.

LEACH, H. W., MCGOWEN, L.D., SCHOCH, T.J. Structure of the starch granule: Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.36, p.534, 1959.

LEHNINGER, A. L.; NELSON D. L. **Principios de Bioquímica**. New York: Sarvier, 1995.

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

MARINOPOULOU A.; PAPASTERGIADIS E.; RAPHAELIDES S. N.; KONTOMINAS, M. G. Structural characterization and thermal properties of amylose-fatty acid complexes prepared at different temperatures. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 141, p. 106-115, 2016.

MENG, S., MA, Y.; SUN, D.W.; WANG, L.; LIU, T. Properties of starch-palmitic acid complexes prepared by high pressure homogenization. **Journal of Cereal Science**, London, v. 59 p. 25-32, 2014.

MIRA, I.; PERSSON, K.; VILLWOCK, V. K. On the effect of surface active agents and their structure on the temperature-induced changes of normal and waxy wheat starch in aqueous suspension. Part 1.Pasting and calorimetric studies. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, p. 665-678, 2007.

MORAES, J.; ALVES, F. S.; FRANCO, C. M. L. Effect of ball milling on structural and physicochemical characteristics of cassava and peruvian carrot starches. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 65, p. 200-209, 2013.

MORRISON, W. R.; LAW, R. V.; SNAPE, C. E. Evidence for inclusion complexes of lipids with V-amylose in maize, rice and oat starches. **Journal of Cereal Science**, London, v. 18, p. 107-109, 1993.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between wather-satured state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 35, n. 12, p. 407-410, 1983.

OBIRO, W. C.; RAY, S. S.; EMMAMBUX, M. N. V-amylose Structural Characteristics, Methods of Preparation, Significance, and Potential Applications. **Food Reviews International**, v. 28, p. 412-438, 2012.

OKUMUS, B. N.; TACER-CABA, Z.; KAHRAMAN, K., NILUFER-ERDIL, D. Resistant starch type V formation in brown lentil (*Lens culinaris Medikus*) starch with different lipids/fatty acids. **Food Chemistry**, v. 240, p.550–558, 2018.

PALAV, T.; SEETHARAMAN, K. Mechanism of starch gelatinization and polymer leaching during microwave heating. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 65, n. 3, p. 364-370, 2006.

PANYOO, A. E.; EMMAMBUX, M. N. Amylose–lipid complex production and potential health benefits: A mini-review. **Starch - Stärke**, v. 69: n/a, 1600203. doi:10.1002/star.201600203, 2017.

PEREZ, S.; BALDWIN, P. M.; GALLANT, D. J. Structural features of starch granules I. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **Starch: chemistry and technology**. Burlington: Academic Press. 2009. p. 149-192. Disponível em: <<http://197.14.51.10:81/pmb/AGROALIMENTAIRE/Starch.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

PERONI, F. H. G.; ROCHA, T. S.; FRANCO, C. M. L. Some structural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. **Food Science and Technology International**, London, v.12, p. 505-513, 2006.

POLESI, L. F.; SARMENTO, S. B. S.; ANJOS, C. B. P. Composition and characterization of pea and chickpea starches. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 74-81, 2011.

PUTSEYS, J. A.; LAMBERTS, L.; DELCOUR, J. A. Amylose-inclusion complexes: formation, identity and physico-chemical properties. **Journal of Cereal Science**, London, v. 51, n. 3, p. 238-247, 2010.

RAGHUNATHAN, R., HOOVER, R., WADUGE, R., LIU, Q., WARKENTIN, T.D. Impact of molecular structure on the physicochemical properties of starches isolated from different field pea (*Pisum sativum L.*) cultivars grown in Saskatchewan, Canada. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1514-1521, 2017.

RATNAYAKE, W. S.; HOOVER, R.; WARKENTIN, T. Pea starch: composition, structure and properties: - a review. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 54, n. 6, p. 217-234, 2002.

ROCHA, T. S.; CARNEIRO, A. P. A.; FRANCO, C. M. L. Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 544-551, 2010.

ROCHA, T. S.; CUNHA, V. A. G.; JANE, J.-L.; FRANCO, C. M. L. Structural characterization of peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) starch and the effect of annealing on its semicrystalline structure. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 59, p. 4208-4216, 2011.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 620-628, 2008.

SAJILATA, M. G., SINGHAL, R. S., KULKARNI, P. R. Resistant starch a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 5, p. 1-17, 2006.

SALMAN, H.; COPELAND, L. Effect of repeated heating and cooling cycles on the pasting properties of starch. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 105-109, 2010.

SCHOCH, T. J. Swelling power and solubility of granular starches. In: WHISTLER, R. L. **Methods in Carbohydrate Chemistry: starch**. New York: Academic Press, v. 4. p. 106-109, 1964.

SEO, T. R.; KIM J. Y.; LIM, S. T. Preparation and characterization of crystalline complexes between amylose and C18 fatty acids. **Food Science and Technology**, London, v. 64 p. 889-897, 2015.

SHI, M.; GAO, Q. Recrystallization and in vitro digestibility of wrinkled pea starch gel by temperature cycling. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 61, p. 712-719, 2016.

SHI, M.; ZHANG, Z.; YU, S.; WANG, K.; GILBERT, R. G.; GAO, Q. Pea starch (*Pisum sativum* L.) with slow digestion property produced using  $\alpha$ -amylase and transglucosidase. **Food Chemistry**, London, v. 164, p. 317-323, 2014

SINGH, M., BYARS, J. A., Starch-lipid composites in plain set yogurt. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, 106-110, 2009.

SINGH, M., KIM, S., Yogurt fermentation in the presence of starch–lipid composite. **Journal Food Science**, v. 74, p. 85-89, 2009.

SMITH, A. R.; CARUSO, T. E. Determination of phosphorous content. In: WHISTLER, R. L. **Methods in carbohydrate chemistry**, New York: Academic Press, v. 4, p. 43-47, 1964.

TAKEDA, Y., HIZUKURI, S., JULIANO, B. O. Structures of rice amylopectin with low and high affinities for iodine. **Carbohydrate Research**, Barking, v. 168, p. 79 – 88, 1987.

TANG, M. C.; COPELAND, L. Analysis of complexes between lipids and wheat starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 67, p. 80-85, 2007.

TEKLEHAIMANOT, W. H., DUODU, K. G., EMMAMBUX, M. N., Maize and teff starches modified with stearic acid as potential fat replacer in low calorie mayonnaise-type emulsions. **Starch-Stärke**, v. 65, p. 773-781, 2013.

TESTER, R. F. Starch: the polysaccharide fractions. In: FRAZIER, P. J.; RICHMOND, P.; DONALD, A. M. (Ed.). **Starch, structure and functionality**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, p. 163-171, 1997.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches: II: waxy rice starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.67, n. 6, p 558-563, 1990.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A.; **Starches**. Saint Paul: Eagan Press, 1999.

VIEIRA, F. C.; SARMENTO, S. B. S. Heat-Moisture Treatment and Enzymatic Digestibility of Peruvian Carrot, Sweet Potato and Ging. **Starch/Stärke**, v. 60, p. 223–232, 2008.

WANG, S.; WANG, J.; YU, J.; WANG, S. Effect of fatty acids on functional properties of normal wheat and waxy wheat starches: a structural basis. **Food Chemistry**, Oxford, v. 190, p. 285-292, 2016.

ZHANG, B.; HUANG, Q.; LUO, F. X.; FU, X. Structural characterizations and digestibility of debranched high-amylose maize starch complexed with lauric acid. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v.28, p. 174-181, 2012.

ZHU, F., YANG, X. S., CAI, Y. Z., BERTOFT, E., CORKE, H. Physicochemical properties of sweet potato starch, **Starch/Stärke**, v. 63, p. 249–259, 2011.

ZHU, F.; WANG, S. Physicochemical properties, molecular structure, and uses of sweet potato starch. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 36, p. 68-78, 2014.