VIII ENCONTRO PARANAENSE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
VII SEMANA ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
14,15 e 16 de julho
UFFS, Laranjeiras do Sul, PR
ISSN: 2236-3947

Técnicas de modificação de amido com anidrido octenil succinico e de quantificação do grau de substituição: Uma revisão

A. C. PEREIRA[1*], L. Á. do NASCIMENTO[2], I. C. SANTOS[2] e R. COLUSSI[2,3]

[1*] Universidade Federal de Pelotas, Curso de graduação Bacharelado em Química de Alimentos
[2] Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas.
[3] Laboratório de Análise Instrumental de Matérias Primas e Produtos Alimentícios, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.
[1]alanacoutop@outlook.com
[2]lucas.avila.nascimento.13@gmail.com; isabeltecalimentos@gmail.com
[2,3] rosana_colussi@yahoo.com.br

RESUMO – O amido representa um papel muito importante para aos mais diversos ramos da indústria. Para obter características específicas desejáveis, tem-se avaliado diversos processos e aplicado àquele que alcança os melhores resultados. Os amidos modificados por via química, especificamente por anidrido octenil succinico (OSA), podem fornecer característica anfifílica, tornando-o ainda mais versátil para a indústria. Esta revisão trata das alterações ocorridas no amido após a modificação química por OSA, abrangendo diferentes métodos de aplicação da técnica, de avaliação dos resultados obtidos, e legislação pertinente. Estudos abordados neste trabalho relatam que a modificação por OSA reduziu a retrogradação do amido e a viscosidade é alterada de acordo com o grau de substituição (GS) que, segundo o órgão que legisla sobre tais limites, não deve ser superior a 3%. À vista do exposto, esta revisão possui informações recentes sobre modificação química por OSA que são relevantes para quem deseja aprender ou se aprofundar no assunto.

Palavras-chave: polissacarídeo, modificação química, legislação, anidrido octenil succinico.

INTRODUÇÃO

O mercado de amidos vem crescendo e se aperfeiçoando ao longo dos últimos anos, levando a busca de produtos com características específicas que atendam às exigências da indústria. Amidos de diferentes fontes são submetidos a modificações por diferentes vias, sejam químicas (oxidação, fosfatação, acetilação, dentre outros), físicas (extrusão, spray drying, congelamento-descongelamento) e/ou enzimáticas, para tornar suas propriedades nativas tecnologicamente melhoradas. (PUNIA, 2020).

O uso de amidos esterificados na indústria alimentícia tem aumentado devido a sua baixa viscosidade, alta estabilidade, claridade de pasta, formação de filme e propriedade de retenção de água, e têm sido utilizados como coberturas de alimentos, agentes ligantes em produtos de confeitaria e como emulsificantes (KONOO *et al.*, 1996).

A modificação química por Anidrido Octenil Succinico (OSA) é comumente utilizada na indústria de alimentos (ALTUNA; HERRERA; FORESTI, 2018). Os amidos OSA são obtidos através da reação de esterificação entre os grupos hidroxila do amido e anidrido octenil succínico adicionado ao meio reacional (GAO *et al.*, 2021). O produto obtido da modificação OSA é o amido octenil succinilado e é utilizado principalmente como emulsificante e agente encapsulante (MASON, 2009). As propriedades físico-químicas dos amidos OSA dependem das propriedades do amido usado como matéria-prima, das condições utilizadas durante a modificação, e, também dos processos de pré-tratamento e pós-tratamento aplicados (GAO *et al.*, 2021).

O presente estudo é exploratório e descritivo, realizado por meio de pesquisas bibliográficas oriundas de publicações específicas sobre a temática: Modificação de amido com anidrido octenil succinico, e de quantificação do grau de substituição.

AMIDO

O amido é um polissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina (ZHOU *et al.*, 2020). O teor de amilose nos grânulos de amido muda conforme a fonte vegetal de origem, porém, encontra-se geralmente no intervalo de 20-30% em grãos e cereais (ZHU *et al.*, 2021). O amido de milho contém entre 25-28% de amilose, enquanto o de mandioca possui apenas 17%. Outras variedades como os de milho, cevada e arroz, referidos pelo termo ceroso ("*waxy*") são constituídas totalmente por amilopectina, enquanto outros amidos possuem teores de amilose acima de 50% e são denominados de "*high-amilose*" (LINEBACK, 1984).

O amido nativo é o amido que mantém suas características de origem, ou seja, sua estrutura não sofreu alterações. Com o objetivo de otimizar o uso do amido em aplicações industriais, são produzidos amidos modificados com as novas propriedades desejadas, a fim de superar algumas limitações existentes no amido nativo. Devido ao grande número de grupos hidroxila, o amido nativo é hidrofílico (Wei *et al.*, 2016). Atualmente, a modificação química tem sido realizada para aumentar a hidrofobicidade do amido, ampliando assim sua aplicação na indústria, tornando possível um amido com caráter anfifílico e consequentemente, com propriedades ativas de superfície (GAO *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, os polímeros anfifílicos têm atraído cada vez mais interesse dos pesquisadores devido às suas amplas aplicações em emulsificação, encapsulamento, e na elaboração de filmes e revestimentos. A modificação pelo emprego do OSA torna os amidos com característica anfifílica (SILVA *et al.*, 2019). O octenil succinato é ligado ao amido através de uma ligação éster, permitindo que o amido modificado por OSA forme filmes na interface óleo-água (PHILLIPS; WILLIAMS, 2000). A via de síntese habitualmente utilizada é a reação em meio aquoso, sob condições alcalinas brandas e com o amido em sua forma granular, conforme esquema apresentado na Figura 1 (SWEEDMAN *et al.*, 2013). Condições ligeiramente básicas ajudam a reduzir a intensidade da ligação de hidrogênio entre as cadeias de amido pela formação de alcóxidos, consequentemente favorece o inchaço dos grãos e a difusão de moléculas de OSA para o interior dos grânulos (SWEEDMAN *et al.*, 2013). Outro método utilizado para realizar a esterificação utiliza anidrido succínico em meio básico (TRUBIANO, 1987). O succinato adicionado resulta na inibição da estrutura ordenada da

pasta do amido e oferece muitas propriedades desejáveis tais como: estabilidade a baixas temperaturas, alto poder de espessamento, baixa temperatura de gelatinização, aumento da claridade da pasta e reduzida tendência a retrogradação (CAMPOS; SILVA; SÁ, 2014).

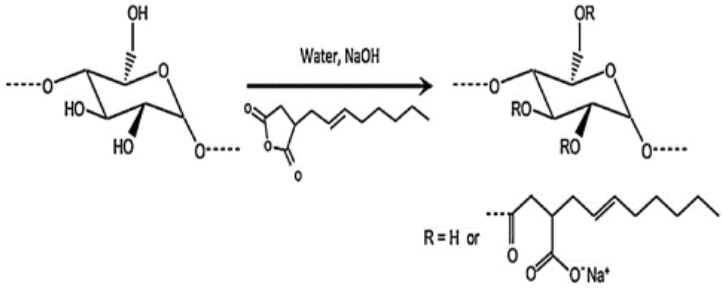


Figura 1. Modificação química do amido com anidrido octenil succinico. Fonte: SWEEDMAN *et al.*, 2013.

MÉTODOS DE MODIFICAÇÃO DE AMIDO COM OSA

Em busca de otimização no processo de modificação, a maioria dos estudos disponíveis apresentam métodos que empregam diferentes condições de processo, como o menor tempo de reação, variações na temperatura, variações no pH do meio reacional e agitação. Sempre visando maior eficiência de reação e distribuição uniforme no amido modificado (PUNIA, 2020; BELLO-PÉREZ *et al*., 2015; LIU *et al*, 2008; BHOSALE; SINGHAL, 2006).

Lopes (2018) em seu estudo de modificação de amido de manga ubá utilizou a quantidade de 3% (p/p com base no amido) de OSA para modificação. O OSA foi diluído em álcool etílico absoluto (1:3 p/p) e adicionado lentamente à reação por um período de 2 horas. Totalizando 4 horas de reação que foi conduzida a 35°C em banho-maria por agitação mecânica, o grau de substituição do amido modificado foi de 0,03%. Amidos comerciais utilizados na indústria de alimentos, apresentam um grau de substituição similar ao obtido pelos autores. Pereira (2020), visando a modificação de amido de castanha portuguesa empregou 4% de OSA (1:5 p/p) em álcool etílico também adicionou a mistura lentamente a suspensão por 2 horas, logo após manteve a reação por 1 hora em temperatura controlada de 40 ºC e obteve um grau de substituição de 0,0194%. Os autores mencionam que a diluição do OSA, bem como a adição lenta do reagente ao meio reacional visam uma modificação uniforme, bem como evita o processo de gelatinização do amido.

Iranuntakul *et al.* (2014) realizou a esterificação com OSA em amido de mandioca nativo e modificado previamente pelo tratamento térmico de baixa umidade. Apesar do tempo e temperatura serem as mesmas empregadas em ambas as amostras o impacto da aplicação do tratamento térmico de baixa umidade antes da esterificação revelou que a modificação prévia facilitou a entrada de OSA nos grânulos de amido e aumentou a reação entre OSA e grupos hidroxila, promovendo alterações na morfologia e propriedades de pasta de amidos de mandioca modificados.

Campos, Silva Jr., e Sá (2014) modificaram amido de feijão (*Cajanus cajan* L.*)* com OSA nas concentrações 1% e 3% com o pH variando entre 7 e 9 e tempo de reação de 30 e 60

min. Após a otimização verificaram que as condições reacionais mais eficientes foram obtidas pelo emprego de 3% de OSA em pH 7 por 30 min, que produziu 0,5083% de grupos succinil e 0,00831 de substituição. Os autores relataram ainda que que a esterificação do amido de feijão foi ótima em tempos de reação mais curtos do que os comumente relatados na literatura, isso devido ao fato do longo tempo de reação produzir baixos graus de substituição, pois o anidrido necessário para a esterificação se esgota, dando lugar às reações de hidrólise.

Won *et al*. (2017) em estudo que visava a modificação com OSA nas concentrações de 1 a 5% em amido de batata reportou que o aumento nas concentrações do reagente OSA foi proporcional ao aumento no GS. Os resultados obtidos pelos autores apontam um GS de 0,0012 a 0,0055, quando empregado a menor a e a maior concentração de OSA, respectivamente. O amido de batata modificado apresentou excelente textura e melhor estabilidade, o que aumenta a gama de aplicações na indústria alimentícia.

Abiddin, Yusoff e Ahmad (2016) ao modificar amido de sago encontraram um GS de 0,0120 ao empregar a concentração de OSA de 5%, com o pH controlado a 7,20 e tempo de reação de 9,65 h. Os autores verificaram que a curta reação contribui para GS mais alto do que longos tempos de reação. Hui *et al.*, (2009) e Xu *et al.*, (2012 também fizeram a mesma constatação, e reportaram que o aumento do tempo de reação só causará reações colaterais, como a hidrólise do amido. Estes autores também reportam que o tamanho granular e a morfologia também pode ter efeito no tempo de reação para o processo de esterificação.

MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO GRAU DE SUBSTITUIÇÃO (GS)

Um dos parâmetros mais utilizados para avaliar a intensidade da modificação é o GS, que é o número médio de octenil succinato, derivados por unidade de glicose (SWERDMAN, 2013). A titulação é o método mais utilizado para determinar estes valores (ZHANG *et al.*, 2017; ZHENG *et al.*, 2017) por ser simples, confiável e nenhum equipamento especial é necessário.

De acordo com a metodologia proposta por Liu *et al.*, (2008) o procedimento pode ser feito a partir de uma alíquota de amido OSA (5 g, b.s.), esta deve ser dispersa em agitação durante 30 min em 25 ml de solução de HCl 2,5 M em álcool isopropílico. Em seguida adicionada de 100 mL de álcool isopropílico 90% e a suspensão deve ser agitada levemente por 10 minutos. A amostra deverá ser filtrada através de um filtro de papel e o resíduo lavado com solução de álcool isopropílico 90% até que todo Cl^- seja completamente removido. O amido novamente deve ser disperso em 300 mL de água destilada e, após a dispersão, ser submetido à gelatinização em banho de água fervente durante 20 min. A solução de amido deve ser titulada com uma solução padrão de NaOH 0,1 M, usando fenolftaleína como indicador. O cálculo do grau de substituição se dá pela Equação 1.

$$Graudesubstituição = \frac{0{,}162x\frac{(VolumegastodeNaOHnatitulaçãoxmolariadadedoNaOH)}{Pesodaamostra}}{1-\frac{0{,}209x(VolumegastodeNaOHnatitulaçãoxmolariadadedoNaOH)}{Pesodaamostra}} \quad (1)$$

Além da titulometria, existem outros métodos para determinar o grau de substituição. O FT-IR é considerado ideal para determinar os grupos funcionais e estruturas químicas de polímeros. O FT-IR é utilizado para fornecer evidências da presença de grupos funcionais na estrutura, podendo ser utilizado na identificação de um composto ou para investigar sua composição. O uso mais frequente reside na identificação de substâncias por vibração molecular, que ocorre através de um raio de luz infravermelha que é passado pela amostra, e a quantidade de energia transmitida é registrada. Cada substância absorve em um determinado comprimento de onda (SOUZA; LIMA; OLIVEIRA, 2014).

Segundo a metodologia descrita por Zhang *et al.* (2013), as amostras são preparadas por trituração, e o espectro registra ao longo de uma faixa de onda de 400 a 4000cm^{-1}. A banda em 1725 cm^{-1} no amido OSA é atribuído ao grupo éster carbonílico introduzido (C=O), a banda em 1570 cm^{-1} é atribuída à vibração de alongamento assimétrico de carboxilato (RCOO) como demonstrado na Figura 3. As existências desses dois picos confirmam a modificação com OSA (CHEN; XIAOWEI; HUANG, 2014). Chen, Xiaowei e Huang (2014) modificaram o amido de arroz ceroso com OSA através da técnica ultrassônica, durante a esterificação, grupos hidroxila foram substituídos por grupos carbonilas de OSA que foram confirmados através de picos na região de 1724 e 1527.

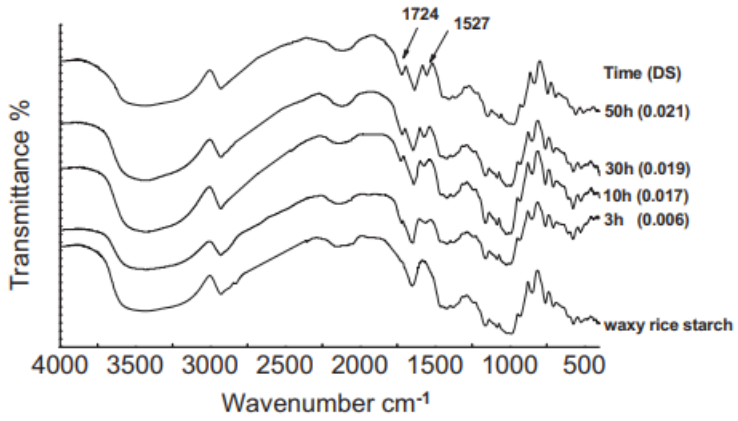


Figura 3. Espectroscopia FT-IR de amido de arroz ceroso modificado com anidrido octenil succínico (CHEN; XIAOWEI; HUANG, 2014).

Embora com menos frequência, ^{1}H-NMR também é usado para confirmar modificação por OSA, e determinar o grau de substituição (SWEEDMAN *et al.*, 2013; BAI *et al.*, 2014; SIMSEK *et al.*, 2015). Bai e Shi (2011) realizaram ^{1}H-NMR para calcular o grau de substituição e compararam com os dados obtidos por titulação onde obtiveram boa correlação. Os espectros de ^{1}H-NMR de amidos OSA geralmente mostram novos picos entre 0,8 e 2,7 ppm, resultantes de grupos introduzidos. O pico em 0,8 e 0,9 ppm corresponde aos prótons de metila dos grupos OSA, e sua integral tem sido frequentemente usado para quantificar GS, como mostra a Figura 4. (BAI; SHI, 2011; SIMSEK *et al.*, 2015; TIZZOTTI *et al.*, 2011).

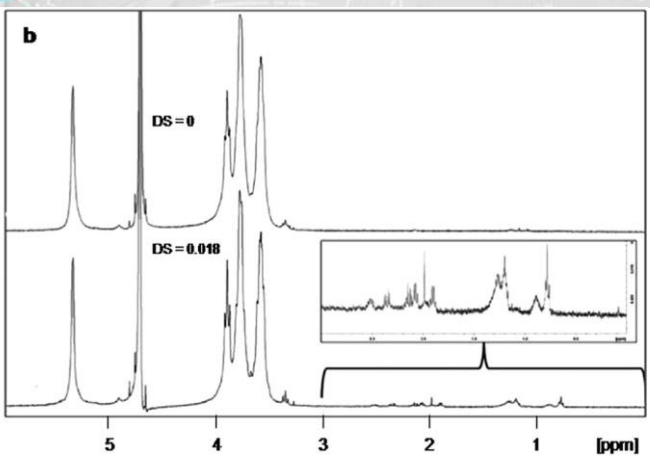


Figura 4. Espectroscopia de ressonância magnética nuclear de ^{1}H de amidos nativos e amidos esterificados com OSA (Adaptado de SIMSEK *et al*., 2015)

CARACTERÍSTICAS DOS AMIDOS MODIFICADOS E LEGISLAÇÃO

As principais razões que levam a modificação do amido são as alterações nas propriedades de pasta, na diminuição da retrogradação, na capacidade de formação de géis, aumento de resistência aos ciclos de congelamento e descongelamento, transparência das pastas ou géis e capacidade de formar filmes, a capacidade de adicionar grupos hidrofóbicos e adquirir poder emulsificante (SILVA *et al.*, 2006).

Abiddin, Yusoff e Ahmad (2018) em seu estudo sobre amido de sago modificado, revelaram que a substituição do grupo OSA levou a produtos que diminuem a tensão superficial e que o amido esterificado também é capaz de reduzir a temperatura de gelatinização e evita a retrogradação do amido. Bello-Pérez *et al.*, (2015) observaram que o aumento da concentração de OSA empregado na modificação amido de banana permitiu maior estabilidade quando empregado em emulsões. Isso significa que o amido de banana modificado apresentou propriedades hidrofóbicas, permitindo um empacotamento mais compacto dos grânulos de amido na camada de interface.

Won *et al.* (2017) mostraram que a propriedade de retrogradação, congelamento-descongelamento e a estabilidade do amido de batata foi notavelmente melhorada pela modificação com OSA. O índice de consistência e viscosidade de produção de amido de batata diminuiu conforme os níveis de GS aumentaram, esses efeitos são provavelmente causados por uma diminuição na interação das cadeias de amilose na matriz de amido durante o aquecimento. Portanto, o amido de batata modificado com OSA apresentou uma excelente textura de gel e melhor estabilidade de congelamento e descongelamento que podem contribuir para a aplicação industrial.

Considerando a necessidade de estabelecer as características a que os amidos utilizados na indústria de alimentos devem cumprir, no que concerne o intercâmbio comercial, a Portaria nº 42/98 menciona que os amidos modificados quimicamente, se utilizados pela indústria alimentar, deverão obedecer a especificações recomendadas pelo *Food and Drug Administration* - FDA (2007). Segundo esta portaria, os amidos modificados alimentícios são amidos nos quais uma ou mais de suas características originais tenham sido modificadas mediante processo tecnológico adequado, através de tratamento físico ou químico. Para

amidos OSA em alimentos é permitido de acordo com o FDA, um nível máximo de 3%. Amidos modificados com OSA, com teores superiores podem ser empregados em diversos outros setores como na indústria de embalagem e têxtil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A fim de expandir as aplicações de amido, a alteração das características físico-químicas e reológicas por meio da modificação química por esterificação tem se mostrado um método com grande potencial e grande aplicabilidade na indústria de alimentos. Existem diversas metodologias de modificação pelo emprego do OSA, e a partir delas pode-se obter os mais variados graus de substituição, e consequentemente, amidos com diferentes características. O grau de substituição é amplamente influenciado pela temperatura, pH do meio, tempo e pela quantidade de reagente aplicado na reação. A definição do grau de substituição pode ser feita de diversas formas, e sua determinação é fundamental para que se possa realizar o uso correto do reagente, e para se certificar se o produto obedece os limites máximos permitidos pela legislação para uso em alimentos.

AGRADECIMENTOS

Nós gostaríamos de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Secretaria da Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - SCT-RS.

REFERÊNCIAS

ABIDDIN, N. Z.; YUSOFF, A.; AHMAD, N. Effect of octenylsuccinylation on physicochemical, thermal, morphological and stability of octenyl succinic anhydride (OSA) modified sago starch. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 138-146, 2018.

ALTUNA, L.; HERRERA, M. L.; FORESTI, M. L. Synthesis and characterization of octenyl succinic anhydride modified starches for food applications. A review of recent literature. **Food Hydrocolloids**, v. 80, p. 97-110, 2018.

BAI, Y.; KAUFMAN, R. C.; WILSON, J. D.; SHI, Y. C. (2014). Position of modifying groups on starch chains of octenylsuccinic anhydride-modified waxy maize starch. **Food Chemistry**, v. 153, p. 193-199.

BAI, Y.; SHI, Y. C. Structure and preparation of octenyl succinic esters of granular starch, microporous starch and soluble maltodextrin. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 520-527, 2011.

BHOSALE, R.; SINGHAL, R. Process optimization for the synthesis of octenyl succinyl derivative of waxy corn and amaranth starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 66, n. 4, p. 521-527, 2006.

BELLO-PÉREZ, L. A.; BELLO-FLORES, C. A.; del CARMEN NUÑEZ-SANTIAGO, M.; CORONEL-AGUILERA, C. P.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. Effect of the degree of substitution of octenyl succinic anhydride-banana starch on emulsion stability. **Carbohydrate polymers**, v. 132, p. 17-24, 2015.

BORUCH, M. Transformations of potato starch during oxidation with hypochlorite. **Starch/Starkë**, v.37, n. 3, p. 91-98, 1985.

CAMPOS, A. P.; SILVA JÚNIOR, N. P.; de SÁ, F. M. P. Propriedades funcionais do amido do feijão andú (*Cajanus cajan* L.) nativo e modificado por succinilação. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 99-112, 2014.

CHEN, X.; XIAOWEI, H.; HUANG, Q. Effects of hydrothermal pretreatment on subsequent octenylsuccinic anhydride (OSA) modification of cornstarch. **Carbohydrate Polymers** v. 101, p. 493–498, 2014.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION - FDA. **Food starch modified: code of federal regulation**. Washington, 2007.

GAO, W.; SUI, J.; LIU, P.; CUI, B.; ABD EL-ATY, A. M. Synthetic mechanism of octenyl succinic anhydride modified corn starch based on shells separation pretreatment. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 172, p. 483-489, 2021.

HUI RUAN, QI-HE CHEN, MING-LIANG FU, QIONG XU, GUO-QING HE. Preparação e propriedades do amido de batata modificado com anidrido octenil succínico **Food Chemistry**. Maio de 2009; 114 (1): 81-86.

H. CHEN, Q. HUANG, X. FU, F. LUO. Efeito ultrassônico na síntese de octenil succinato de amido e nos padrões de substituição em grânulos de amido **Food Hydrocolloids** , 35, pp. 636 – 643, 2014

IRANUNTAKUL, W.; PUNCHA-ARNON, S.; UTTAPAP, D. Enhancement of octenyl succinylation of cassava starch by prior modification with heat-moisture treatment. **Starch** v 11 e 12, p. 1071 e 1078, 2014.

JUAN XU, CHEN-WEI ZHOU, RUI-ZHI WANG, LU YANG, SHAN-SHAN DU, FENG-PING WANG, HUI RUAN, GUO-QING HE. Lipase-coupling esterification of starch with octenyl succinic anhydride. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, p.2137-2144, 2012.

KONOO, S., OGAWA, H., MIZUNO, H., & ISO, N. The emulsification ability of oxidized

tapioca starches with sodium hypo chlorite**. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology**, v. 43, n. 8, p. 880-886, 1996.

LIU, Z.; LI, W.; CUI, F.; PING, L.; SONG, J.; RAVEEY JIN, L.; XUE, Y.; XU, J.; LI, G.; WANG, Y.; ZHENG, Y. Production of Octenyl Succinic Anhydride-Modified Waxy Corn Starch and Its Characterization. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 56, n.1, p. 11499–11506, 2008.

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

LOPES, S. F. R. **Extração e caracterização de biopolímeros obtidos a partir de resíduo agroindustrial da manga ubá (*Mangifera indica* L.): aplicação em filmes alimentícios**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MASON, W. R. (2009). Starch use in foods. In J. BeMiller & R. Whistler (Eds.), **Starch chemistry and technology** (3rd ed., pp. 745e795). Burlington: Academic Press.

PEREIRA, A. C.; BUBOLZ, L.; COLUSSI, R. Modificação de amido de castanha portuguesa *(Catanea Sativa Mill*) com anidrido octenil succinico e seus efeitos na capacidade de absorção de água e de óleo. In: Congresso de Iniciação Cientifica, UFPEL, 2020.

PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. **Handbook of hydrocolloids**, Boca Raton: CRC press, p. 41-65, 2000.

PUNIA, S. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, p. 578-585, 2020.

SWEEDMAN, M. C.; HASJIM, J.; TIZZOTTI, M. J.; SCH€AFER, C.; GILBERT, R. G. Effect of octenylsuccinic anhydride modification on b-amylolysis of starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 97, n. 1, p. 9-17, 2013.

SOUZA, A. K. R.; de LIMA, D. M. V.; OLIVEIRA, S. L. A. "Técnica FTIR e suas aplicações em amostras orgânicas." *ANAIS DO ENIC* 6 (2014).

SILVA, G. D. O. D., TAKIZAWA, F. F., PEDROSO, R. A., FRANCO, C. M. L., LEONEL, M., SARMENTO, S. B. S., & DEMIATE, I. M. (2006). Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Food Science and Technology**, 26(1), 188-197.

SILVA, M. L.; PEREZ, L. A. B.; RODRIGUEZ, V. M. C.; ACEVEDO, E. A.; RAMIREZ, J. A. In vitro digestibility characteristics of octenyl succinic acid (OSA) modified starch with different amylose contente. **Food Chemistry**, v. 304, p. 1-5, 2019.

SIMSEK, S., OVANDO-MARTINEZ, M., MAREFATI, A., SJ ÖÖ , M., & RAYNER, M. (2015). Composição química, digestibilidade e propriedades de emulsificação do octenil ésteres succínicos de vários amidos. **Food Research International**, 75 , 41–49

TIZZOTTI, M. J.; SWEEDMAN, M. C.; TANG, D.; SCHAEFER, C.; GILBERT, R. G. New 1H NMR procedure for the characterization of native and modified food-grade starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 59, p. 6913–6919, 2011.

TRUBIANO, P. C. Succinate and substituted succinate derivatives of starch. Modified starches: Properties and use**s**, Florida: CRC Press, Boca Raton, p. 131-148, 1987.

WON, C., JIN, YI, CHANG, DC, KIM, M., LEE, Y., GANESAN, P., LEE, YK , & CHANG, YH (2017). Propriedades reológicas, de colagem, térmicas e de retrogradação do amido de batata modificado com anidrido octenil succínico. **Food Science and Technology**, *37* (2), 321-327. https://doi.org/10.1590/1678-457X.23616

ZHENG, Y.; HU, L.; DING, N.; LIU, P.; YAO, C.; ZHANG, H. Physicochemical and structural characteristics of the octenyl succinic ester of ginkgo starch. International **Journal of Biological Macromolecules**, v. 94, p. 566-570, 2017.

ZHANG, Z. M.; ZHAO, S. M.; XIONG, S. B. Molecular properties of octenyl succinic esters of mechanically activated Indica rice starch. **Starch/Stärke**, v. 65, p. 453–460, 2013.

ZHANG, B.; MEI, J.; CHEN, B.; CHEN, H. Digestibility, physicochemical and structural properties of octenyl succinic anhydride-modified cassava starches with different degree of substitution. **Food Chemistry**, v. 229, p. 136-141, 2017.

ZHOU, L.; LU, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, C.; ZHAO, L.; YAO, S.; SUN, X.; CHEN, T.; ZHU, Z.; ZHAO, Q.; ZHAO, Q.; LIANG, W.; LU, K.; WANG, C.; LIU, Q. Characteristics of grain quality and starch fine structure of japonica rice kernels following preharvest sprouting. **Journal of Cereal Science**, n. 95, p. 103023, 2020.

ZHU, D.; FANG, C.; QIAN, Z.; GUO, B.; HUO, Z. Differences in starch structure, physicochemical properties and texture characteristics in superior and inferior grains of rice varieties with different amylose contentes. **Food Hydrocolloids**, v. 110, p. 106170, 2021.

WEI, B. X.; SUN, B. H. H.; ZHANG, B.; LONG, J.; CHEN, L.; CHEN L.; TIAN.Synthesis, characterization and hydrophobicity of silylated starch nanocrystal. **Carbohydrate Polymers**, v. 136, p. 1203-1208, 2016.