

## PURIFICAÇÃO DE PECTINA UTILIZANDO MEMBRANA POLIMÉRICA DE ULTRAFILTRAÇÃO

FLÁVIA DE S. MAGALHÃES<sup>1\*</sup>, VICELMA L. CARDOSO<sup>1</sup>, MIRIA H. M. REIS,<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química

\*e-mail: flavia.magalhaes@ufu.br

**RESUMO** - Este trabalho avaliou o uso de uma membrana polimérica de 10kDa visando purificar uma solução de pectina. A pectina foi extraída a partir de cascas de laranja de forma convencional (90°C por 180 min). Durante o processo de ultrafiltração, usando pressão transmembrana de 400 kPa, o fluxo inicial para solução de pectina foi de aproximadamente  $90 \pm 11,70 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . Os dados experimentais mostraram uma diminuição nos valores de fluxo durante os 25 min iniciais de processo e mostraram um fluxo estabilizado de  $4,09 \pm 1,90 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . O modelo de ajuste de fluxo mais adequado para filtração de pectina usando a membrana polimérica de 10 kDa foi a formação de torta. Após as filtrações, o teor de ácido galacturônico da pectina aumentou de  $68,69 \pm 1,75\%$  para  $74,92 \pm 0,14\%$  e o rendimento de extração de  $21,98 \pm 3,12\%$  para  $30,77 \pm 2,65\%$ . Assim, este estudo evidenciou a potencial aplicação de processos de ultrafiltração para a purificação de pectina utilizando membranas poliméricas.

Palavras-chave: Ultrafiltração, membranas poliméricas, purificação, pectina.

### INTRODUÇÃO

Pectinas são polissacarídeos complexos e se consistem em uma cadeia linear de ácido D-galacturônico ligado a com cadeias laterais de açúcar neutras compostas por arabinanos, galactanos e arabinogalactanos. (Marić et al., 2018). São muito utilizadas na indústria alimentícia por suas propriedades espessantes, emulsificantes e gelificantes, para formulações de molhos, geleias e geleias (Marić et al., 2018; Naqash et al., 2017). Resíduos de cascas de laranja representam uma alternativa promissora de baixo custo para extração de pectina, além disso ainda minimiza o descarte deste tipo de resíduos (Wicker et al., 2014).

Para a extração da pectina comumente são usadas altas temperaturas (80–90 °C), valores de pH da água acidificada (2–3), longos tempos de extração (1–5 h) e altas relações sólido-líquido (1:30–1:50). Ácidos minerais ou orgânicos são usados para quebrar a parede celular da matriz da planta e liberar as cadeias de pectina. A dissolução da pectina é facilitada com as altas temperaturas aplicadas pois o

movimento molecular é facilitado (Kang et al., 2015). Após a etapa de extração, a purificação de pectina é feita utilizando precipitação com etanol. (Yapo, Robert, et al., 2007). Embora a precipitação utilizando álcool seja de fácil operação, este método apresenta baixa seletividade além de apresentar a desvantagem de ter um alto consumo de álcool, principalmente na produção em larga escala (Kang et al., 2015; Yapo, Robert, et al., 2007). Além disso, açúcares neutros valiosos e oligossacarídeos de pectina geralmente não são precipitados pelo álcool e são difíceis de recuperar da solução alcoólica. (Muhidinov et al., 2021).

Os processos de separação por membranas são uma alternativa ecologicamente correta para a purificação de pectinas, uma vez essas membranas são capazes de remover efetivamente os compostos que não são de interesse e obtendo amostras purificadas. São encontrados na literatura alguns estudos que mostram a utilização de membranas na purificação de pectinas. Hoagland et al. (1993) mostrou que soluções de pectina podem ser concentradas utilizando ultrafiltração. Cho et

al. (2003) aplicou o processo de microfiltração para concentrar e purificar a pectina extraída a partir da casca de limão. Yapo et al. (2007b) mostraram que a filtração por membrana permitiu obter uma amostra de pectina com maior teor de ácido galacturônico do que quando se utilizou a precipitação com álcool.

Este trabalho tem como objetivo a aplicação de membranas poliméricas de 10 kDa para concentração e purificação de pectina extraída a partir da casca de laranja. Os dados experimentais de decaimento de fluxo foram ajustados a modelos matemáticos de Field para entender melhor as ocorrências de *fouling* durante as filtrações. A solução de pectina foi analisada quanto à cor da solução antes e após o processo de purificação e a pectina coagulada foi caracterizada quando ao rendimento, ao teor de ácido galacturônico, grau de esterificação e teor de metoxila.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Laranjas (*Citrus sinensis*) foram adquiridas em um mercado local em Uberlândia (Brasil) e foram lavadas e descascadas. As cascas foram cortadas em pedaços pequenos e secadas em estufa (Biomact, Brasil) com circulação de ar a 50°C até peso constante. Após a secagem, as cascas foram moídas e peneiradas em peneira de 40 mesh para obtenção das amostras em pó. O pó de casca de laranja foi armazenado em ambiente protegido da umidade da luz até o momento do uso.

### Extração da pectina

A extração convencional da pectina foi realizada misturando o pó de casca de laranja na proporção sólido-líquido de 1:30 (m/v) com água acidificada com HCl (pH=2), conforme sugerido por (XU et al., 2018). A solução foi mantida sob agitação contínua (240 rpm) por 180 min a 90°C (Oliveira et al, 2016 and Su et al, 2019). Após a extração, foi feita a centrifugação para remoção de sólidos suspensos (Thermo Scientific, Megafuge 8) a 4000 rpm por 40 min e a solução obtida foi filtrada em funil de Büncher com filtro de papel (Unifil, Brasil, 6 µm) para remoção de sólidos insolúveis.

### Filtração do extrato de pectina utilizando membranas

O extrato de pectina produzido foi filtrado através de membrana polimérica comercial de 10 kDa. O módulo de filtração do tipo *cross-flow* possui uma área de filtração de 0,0038 m<sup>2</sup>. As filtrações foram conduzidas a uma pressão transmembrana de 400 kPa. Para todas as filtrações, as membranas foram previamente compactadas por filtração com água deionizada por pelo menos 30 min. As filtrações da solução de pectina foram realizadas a 50 °C até um fator de concentração de 1,5. Os dados de fluxo experimental foram registrados ao longo de todo o tempo de filtração.

As equações diferenciais do modelo matemático proposto por Field et al. (1995) (Equação 1) foram usadas para ajustar os dados de decaimento de fluxo experimental de acordo com o tempo de filtração. A Equação 1 foi resolvida computacionalmente pelo método Runge-Kutta de quarta ordem. Os valores do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup> ajustado) foram considerados para analisar o ajuste dos dados experimentais às equações propostas para cada mecanismo de incrustação.

$$-\frac{dJ}{dt} = K_n A^{2-n} J^{3-n} \quad (1)$$

sendo  $t$  é o tempo de filtração (h),  $K$  é uma constante empírica,  $J$  (L h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>) é o fluxo de permeado e o parâmetro  $n$  representa cada mecanismo de incrustação ( $n = 0$  para formação de torta;  $n = 2$  para bloqueio completo de poros;  $n = 1$  para bloqueio parcial de poros e  $n = 1,5$  para bloqueio interno de poros).

A cor da corrente de alimentação, permeado e retentado do processo de filtração de pectina foram medidas usando um colorímetro Konica Minolta CR5, com modo de transmitância. As medidas de cor foram expressas em termos de claridade L\*, e de acordo com os parâmetros de cromaticidade a\* e b\*.

A pectina foi precipitada pela adição de etanol (95%, v/v) (1:1 v/v) aos extratos aquosos de alimentação e concentrados. Após a adição de etanol, o extrato foi mantido a 4-6°C por 12 h para completar a precipitação da pectina e depois disso, a pectina foi separada por centrifugação (4000 rpm, 40 min). Em seguida,

a pectina precipitada foi seca em estufa com circulação de ar a 50°C até peso constante (Dranca et al., 2020; Oliveira et al., 2016). O rendimento de pectina foi calculado de acordo com a Equação 2.

$$\text{Rendimento de pectina (\%)} = \frac{M_p}{M_{pcl}} 100 \quad (2)$$

sendo  $M_p$  a massa de pectina após a secagem e (g) and  $M_{pcl}$  é a massa do pó de casca de laranja seco usado na extração.

### Análises físico químicas da pectina

As amostras de pectina foram analisadas quanto ao teor de ácido galacturônico (GA), grau de esterificação (DE), teor de metoxila (MC), teor de fenólicos totais (TPC), atividade emulsificante, estabilidade da emulsão e teor de fenólicos totais (TPC).

O teor de ácido galacturônico (GA) foi determinado pelo método espectrofotométrico de m-hidroxidifenil sugerido por Melton and Smith (2001). Resumidamente, 20 mg de pectina foram diluídos em 100 mL de água destilada a 50°C. Na sequência, 400 µL da solução de pectina foram misturados com 40 µL de ácido sulfâmico 4 M. Esta solução foi hidrolisada com 2,4 mL de uma solução de ácido sulfúrico contendo tetraborato de sódio 75 mM. A solução foi aquecida em água fervente por 20 min e depois resfriada em banho de gelo por 10 min. Após o resfriamento, 80 µL de m-hidroxidifenil 0,15% (p/v) em hidróxido de sódio 0,5% (p/v) foi adicionado e a solução foi misturada em vórtice. Os valores de absorbância foram lidos a 525 nm usando um espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu UV-1280). O teor de ácido galacturônico foi determinado por comparação com uma curva padrão de ácido galacturônico (0 – 100 µg/mL).

O grau de esterificação (DE) das amostras de pectina foi determinado de acordo com o método descrito no USP NF 21 (USP NF 21. The United States pharmacopeia – The national formulary, 2003). Resumidamente, 100 mg da amostra de pectina foram dissolvidos em 20 mL de água desionizada e 2 mL de etanol (95%). Em seguida, foram adicionadas 3 gotas de fenolftaleína à solução, que foi titulada com solução de NaOH 0,1 M até a coloração da solução. O volume da solução de NaOH nesta primeira titulação foi registrado como  $V_1$ . Em sequência, 10 mL da

solução de NaOH 0,1 M foram adicionados à mistura anterior. A solução foi agitada durante 20 min para hidrólise. Em seguida, foram adicionados 10 mL de uma solução de HCl 0,1 M e a solução foi agitada até o desaparecimento da cor rosa. Em seguida, a solução foi titulada novamente com uma solução de NaOH 0,1 M. O segundo volume de solução de NaOH nesta titulação foi registrado como  $V_2$ . O grau de esterificação (DE) foi calculado de acordo com a Equação 3.

$$\text{DE (\%)} = \frac{V_2}{V_2+V_1} 100 \quad (3)$$

sendo DE é o grau de esterificação e  $V_1$  e  $V_2$  são os volumes de solução de NaOH 0,1 M na primeira e segunda titulações, respectivamente.

O teor de metoxila (MC) das amostras de pectina foi medido de acordo com Ranggana, (1986). Resumidamente, 500 mg de pectina foram dissolvidos em 100 mL de água destilada sob agitação contínua (300 rpm) por 1 h. Em seguida, adicionou-se 1 g de NaCl à solução, seguido da adição de 5 gotas de indicador vermelho de fenol. A solução foi então titulada com uma solução de NaOH 0,1 M até que a cor mudasse para vermelho. A solução final foi misturada com 25 mL de uma solução de NaOH 0,25 M sob agitação. Após 30 min, um volume igual (25 mL) de uma solução de HCl 0,25 M foi adicionado e a solução final foi titulada com uma solução de NaOH 0,1 M. O volume de solução de NaOH usado nesta titulação foi registrado como  $V_{NaOH}$ . O teor de metoxil (MC) foi calculado de acordo com a Equação 4.

$$\text{MC (\%)} = \frac{3.1 V_{NaOH} N}{M} \quad (4)$$

sendo MC o teor de metoxila, M a massa da amostra de pectina (g),  $V_{NaOH}$  o volume de NaOH 0.1 N gasto na titulação (mL) e N é a normalidade da solução de NaOH.

Todas as análises físico-químicas foram feitas em triplicata e analisadas estaticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização da pectina antes e após a filtração

Tanto o extrato de pectina quanto o extrato concentrado obtido após a filtração por membrana foram precipitados com etanol para caracterizações posteriores da pectina. A Tabela 2 mostra os resultados para rendimentos de pectina, teor de ácido galacturônico, grau de esterificação e grau de metoxila.

Tabela 1 – Resultados para a caracterização de pectina presente nas correntes de alimentação e concentrado (10 kDa)

	Alimentação	Concentrado
Rendimento de pectina (%)	21,98 <sup>b</sup> ± 3,12	30,77 <sup>a</sup> ± 2,65
Teor de ácido galacturônico (%)	68,69 <sup>b</sup> ± 1,75	75,17 <sup>a</sup> ± 0,83
Grau de esterificação (%)	39,09 <sup>a</sup> ± 2,05	41,53 <sup>a</sup> ± 3,63
Teor de metoxila (%)	6,74 <sup>a</sup> ± 0,42	6,95 <sup>a</sup> ± 0,50

\*Valores médios indicados por letras diferentes em uma mesma linha são significativamente diferentes para  $p \leq 0,05$ .

Após extração convencional (90°C e 180 min) e precipitação com álcool, o rendimento de pectina foi de 21,98 ± 3,12%. Esse valor é superior aos resultados apresentados por Güzel e Akpınar (2019) para a pectina extraída das cascas de laranja (11,46%). Os autores utilizaram uma solução de ácido cítrico (pH 1) em água acidificada e uma relação sólido-líquido de 1:10 e a extração foi realizada a 80 °C por 60 min. Após concentração utilizando através da membrana de ultrafiltração até o fator de concentração de 1,5, o rendimento de pectina aumentou para 30,77 ± 2,65%. No entanto, os valores de rendimento de pectina para as duas correntes (alimentação e permeado) são estatisticamente equivalentes, uma vez que moléculas de pectina podem ter passado para a corrente de permeado durante a filtração. Esses resultados corroboram com os resultados apresentados por Muñoz-Almagro *et al.* (2020) que apresentaram um aumento de 8,8 ± 0,3% para 12,3 ± 0,4% para o rendimento de

pectina extraída de semente de girassol purificada por ultrafiltração seguida de diafiltração utilizando um fator de concentração de 2.

A pectina extraída a partir da casca de laranja utilizando a extração convencional mostrou que a pectina é predominantemente constituída de ácido galacturônico. (68,69 ± 1,75%). Hosseini *et al.* (2016) mostraram que o teor de ácido galacturônico foi de 71.0 ± 0.8% para pectina extraída de casca de limão. Segundo Dranca; Vargas; Oroian (2020), o teor de ácido galacturônico deve ser maior que 65% para que a molécula extraída seja considerada pectina. O teor de ácido galacturônico aumentou quando se realizou a filtração utilizando a membrana de ultrafiltração (Tabela 2). Muñoz-Almagro *et al.* (2020) também relataram um aumento no teor de ácido galacturônico quando o extrato de pectina extraída a partir de girassol foi purificado usando ultrafiltração seguida de diafiltração (81,3% para 90,2%). Yapo *et al.* (2007) também apresentaram aumentos no teor de ácido galacturônico usando a purificação de extrato de pectina extraída de beterraba por ultrafiltração (de 55,9% para 72,1%).

Comercialmente, as pectinas podem ser classificadas como pectina de alto grau de esterificação (grau de esterificação maior que 50%, metoxila superior a 50%) e de baixo grau de esterificação (grau de esterificação inferior a 50%, metoxila inferior a 50%) (Muñoz-Almagro *et al.*, 2020). As pectinas extraídas a partir do pó da casca de laranja neste estudo podem ser consideradas pectinas de baixo grau de esterificação (metoxila inferior a 50%). Esse tipo de pectina forma géis em uma ampla faixa de pH de 3,0 a 7,0 (Alba *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2018). Além disso, a pectina obtida a partir da extração convencional pode ser categorizada como alta pectina de baixo teor de metoxila devido ao teor de metoxila inferior a 7% (Rodsamran & Sothornvit, 2019). A corrente de concentrado apresentou valor de grau de esterificação e teor de metoxila semelhantes ao extrato de alimentação, não houve diferenças estatísticas significativas.

A Figura 1 mostra as soluções para as correntes de alimentação, concentrado e permeado respectivamente para o processo utilizando membrana polimérica de 10 kDa.



Figura 1: Amostras de extratos de pectina da corrente de alimentação, concentrado e permeado, respectivamente.

Na Figura 1 e a partir dos resultados obtidos para o teste de cor (Tabela 3) é possível verificar que o extrato de pectina extraído a partir de casca de laranja apresentava uma coloração marrom e após a concentração utilizando a membrana de ultrafiltração, verificou-se na corrente de permeado que houve a diminuição dessa coloração.

Tabela 2 – Resultados de L, a\* e b\* para a análise de cor para as correntes de alimentação, concentrado e permeado.

	Cor		
	L	a*	b*
Alimentação	77,72 <sup>b</sup> ± 0,03	2,64 <sup>a</sup> ± 0,01	36,58 <sup>a</sup> ± 0,07
Concentrado	73,66 <sup>c</sup> ± 0,01	3,65 <sup>a</sup> ± 0,00	35,29 <sup>b</sup> ± 0,01
Permeado	83,64 <sup>a</sup> ± 0,01	1,22 <sup>b</sup> ± 0,01	32,39 <sup>c</sup> ± 0,01

\*Valores médios indicados por letras diferentes em uma mesma linha são significativamente diferentes para  $p \leq 0,05$ .

O permeado apresenta coloração mais clara e conseqüentemente, valor de L\* mais alto do que o retentado, que se apresentou opaco e de coloração marrom mais escuro que a solução de alimentação. Quanto aos valores de a\* e b\* a corrente de concentrado apresentou maior valor de a\* indicando um aumento na coloração em tons de vermelho e uma diminuição nos valores de b\* indicando uma diminuição nos tons de amarelo.

## Comportamento do fluxo durante a purificação de pectina

A Figura 2 apresenta os decaimentos de fluxo para a purificação de pectina utilizando a membrana polimérica de tamanho de 10 kDa. Os valores dos fluxos experimentais também foram ajustados ao modelo proposto por Field et al. (1995) a fim de investigar a influência dos mecanismos de incrustação.

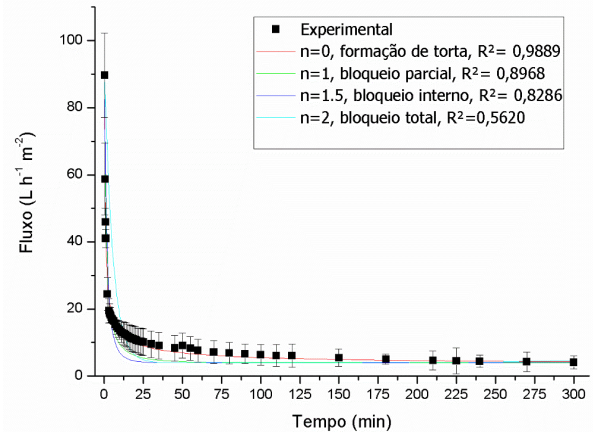


Figura 2 - Fluxo de permeado experimental e modelado para a filtração de pectina usando membrana polimérica de 10 kDa.

O fluxo inicial para filtração da solução de pectina foi de aproximadamente  $90 \pm 11,70 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . Os dados experimentais mostraram um declínio acentuado do fluxo durante os primeiros 25 min de filtração e após 300 min de filtração, o fator de concentração de 1,5 foi alcançado e o fluxo se estabilizou em aproximadamente  $4,09 \pm 1,90 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ .

O melhor ajuste dos modelos para a filtração de pectina utilizando a membrana polimérica de 10 kDa a formação de torta. Sendo assim, o mecanismo incrustação que promoveu maior influência durante as filtrações da solução de pectina. Esse comportamento já era esperado, pois a pectina é uma macromolécula de cadeia longa. A estrutura linear e ramificada das moléculas de pectina permite a deformação e mobilidade da cadeia de pectina sob a ação de uma pressão, sua inserção nos poros da membrana e sua passagem através deles. No entanto, o aumento da concentração e das interações entre as moléculas em solução, resulta em propriedades gelificantes da pectina na presença de açúcares e favorece a incrustação tipo gel da pectina na superfície da membrana (Gimenes et al., 2014), o que pode ser verificado na Figura 3. Assim, outro processo de filtração sequencial por



membrana pode ser necessário para uma melhor purificação, como demonstrado por MUÑOZ-ALMAGRO *et al.* (2020) que utilizaram uma ultrafiltração seguida de uma diafiltração para purificar a pectina extraída a partir da semente de girassol.



Figura 3 - Superfície da membrana de ultrafiltração após o processo da purificação de pectina.

## CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou a potencial aplicação de processos de filtração por membranas para a purificação de pectina. A membrana de ultrafiltração de 10 kDa mostrou-se capaz de purificar a concentração de pectina (aumento do teor de ácido galacturônico de 68,69 para 75,17%). O fluxo de permeado após atingir o fator de concentração de 1,5 para filtração da solução de pectina foi de  $4,09 \pm 1,94 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  usando uma temperatura de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  e a 400 kPa. A partir da análise dos modelos de bloqueio, podemos concluir que os mecanismos de restrição predominantes para o processo de purificação, notadamente é formação de torta devido à formação de camada de gel na superfície da membrana.

## REFERÊNCIAS

- ALBA, K., KASAPIS, S., & KONTOGIORGOS, V. (2015). Influence of pH on mechanical relaxations in high solids LM-pectin preparations. *Carbohydrate Polymers*, Vol 127, p. 182–188.
- CHO, C. W., LEE, D. Y., & KIM, C. W. (2003). Concentration and purification of soluble pectin from mandarin peels using crossflow microfiltration system. *Carbohydrate Polymers*, Vol 54(1), p. 21–26.
- DRANCA, F., VARGAS, M., & OROIAN, M. (2020). Physicochemical properties of pectin from *Malus domestica* ‘Fălticeni’ apple pomace as affected by non-conventional extraction techniques. *Food Hydrocolloids*, Vol 100, p. 105383.
- FIELD, R. W., WU, D., HOWELL, J. A., & GUPTA, B. B. (1995). Critical flux concept for microfiltration fouling. *Journal of Membrane Science*, Vol 100(3), p. 259–272.
- GIMENES, M. L., SILVA, V. R., HAMERSKI, F., & SCHEER, A. P. (2014). Pretreatment of Aqueous Pectin Solution by Cross-Flow Microfiltration: Study on Fouling Mechanism. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol 5(3), p. 281–286.
- GÜZEL, M., & AKPINAR, Ö. (2019). Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. *Food and Bioprocess Processing*, Vol 115, p. 126–133.
- HOAGLAND, P. D., KONJA, G., & FISHMAN, M. L. (1993). Component Analysis of Disaggregation of Pectin During Plate Module Ultrafiltration. *Journal of Food Science*, Vol 58(3), p. 680–687.
- HOSSEINI, S. S., KHODAIYAN, F., & YARMAND, M. S. (2016). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, Vol 140, p. 59–65.
- KANG, J., HUA, X., YANG, R., CHEN, Y., & YANG, H. (2015). Characterization of natural low-methoxyl pectin from sunflower head extracted by sodium citrate and purified by ultrafiltration. *Food Chemistry*, Vol 180, p. 98–105.
- MARIĆ, M., GRASSINO, A. N., ZHU, Z., BARBA, F. J., BRNČIĆ, M., & RIMAC BRNČIĆ, S. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for

- pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science & Technology*, Vol 76, p. 28–37.
- MELTON, L. D., & SMITH, B. G. (2001). Determination of the Uronic Acid Content of Plant Cell Walls Using a Colorimetric Assay. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, Vol 00(1), E3.3.1-E3.3.4.
- MUHIDINOV, Z. K., IKROMI, K. I., JONMURODOV, A. S., NASRIDINOV, A. S., USMANOVA, S. R., BOBOKALONOV, J. T., STRAHAN, G. D., & LIU, L. (2021). Structural characterization of pectin obtained by different purification methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol 183, p. 2227–2237.
- MUÑOZ-ALMAGRO, N., PRODANOV, M., WILDE, P. J., VILLAMIEL, M., & MONTILLA, A. (2020). Obtainment and characterisation of pectin from sunflower heads purified by membrane separation techniques. *Food Chemistry*, Vol 318, p. 126476.
- NAQASH, F., MASOODI, F. A., RATHER, S. A., WANI, S. M., & GANI, A. (2017). Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin—A Review. *Carbohydrate Polymers*, Vol 168, p. 227–239.
- OLIVEIRA, C. F. DE, GIORDANI, D., LUTCKEMIER, R., GURAK, P. D., CLADERA-OLIVERA, F., & MARCZAK, L. D. F. (2016). Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. *LWT - Food Science and Technology*, Vol 71, p. 110–115.
- RANGGANA, S. (1986). *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*.
- RODSAMRAN, P., & SOTHORNVIT, R. (2019). Microwave heating extraction of pectin from lime peel: Characterization and properties compared with the conventional heating method. *Food Chemistry*, Vol 278, p. 364–372.
- USP NF 21. The United States pharmacopeia – The national formulary. (2003). *United States Pharmacopeial Convention*, p. 1401–1402.
- WICKER, L., KIM, Y., KIM, M. J., THIRKIELD, B., LIN, Z., & JUNG, J. (2014). Pectin as a bioactive polysaccharide - Extracting tailored function from less. *Food Hydrocolloids*, Vol 42(P2), p. 251–259.
- YANG, X., NISAR, T., LIANG, D., HOU, Y., SUN, L., & GUO, Y. (2018). Low methoxyl pectin gelation under alkaline conditions and its rheological properties: Using NaOH as a pH regulator. *Food Hydrocolloids*, Vol 79, p. 560–571.
- YAPO, B. M., ROBERT, C., ETIENNE, I., WATHELET, B., & PAQUOT, M. (2007). Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*, Vol 100(4), p.1356–1364.
- YAPO, B. M., WATHELET, B., & PAQUOT, M. (2007). Comparison of alcohol precipitation and membrane filtration effects on sugar beet pulp pectin chemical features and surface properties. *Food Hydrocolloids*, Vol 21(2), p. 245–255.