



Modificação química do óleo de soja com anidrido maleico: uma alternativa sustentável para o óleo após a fritura

Chemical modification of soybean oil with maleic anhydride: a sustainable alternative to waste cooking oil

Matheus Poletto¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC), Universidade de Caxias do Sul (UCS), Rio Grande do Sul, Brasil

Contato: mpolett1@ucs.br

Palavras-Chave

óleo de soja
fritura
anidrido maleico
FTIR
viscosidade

RESUMO

O óleo de soja após utilizado em processos de fritura pode causar impacto ao meio ambiente se for descartado de maneira inadequada. Este trabalho tem por objetivo modificar o óleo de soja virgem e pós-consumo com anidrido maleico. A modificação química do óleo de soja virgem e usado foi realizada a 130 °C durante 1,5 h a 1600 rpm com a adição de anidrido maleico ao sistema reacional. A caracterização das amostras foi realizada por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), índice de saponificação e viscosidade. Na análise de FTIR foi observado o surgimento de novas bandas nos espectros dos óleos modificados, associadas aos grupos anidrido ligados às cadeias dos óleos. O índice de saponificação aumentou para os óleos maleinizados quando comparados aos óleos antes da sua modificação. Houve, também, um aumento da viscosidade do óleo modificado em relação ao virgem e em relação ao pós-consumo. Pode-se observar que, tanto o óleo de soja virgem modificado quanto o óleo de soja pós-consumo modificado apresentam potencial para serem utilizados como lubrificantes, plastificantes ou compatibilizantes em materiais poliméricos.

Key-word

soybean oil
frying
maleic anhydride
FTIR
viscosity

ABSTRACT

Soybean oil after use in frying processes can cause an impact on the environment if improperly disposed. This work aims to modify virgin and post-consumption soybean oil with maleic anhydride. Chemical modification of virgin and waste cooking oil was performed at 130° C for 1.5h at 1600 rpm with the addition of maleic anhydride to the reaction system. Samples were characterized by means of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, saponification index and viscosity. In FTIR analysis, it was observed new bands in the modified oil spectrum, assigned to the bonds formed between anhydride groups and oil chains. The saponification index increased for maleinized oils when compared to oils prior to their modification. There was also an increase in the viscosity of modified oil in relation to virgin and in relation to post-consumption oil. It can be seen that both modified soybean oil presented potential to be used as lubricants, plasticizing or compatibilizers in polymeric materials.

Informações do artigo

Recebido: 05 de janeiro, 2020
Aceito: 22 de março, 2020
Publicado: 30 de abril, 2020

Introdução

Milhões de litros de óleo de soja são utilizados todos os dias por residências, indústrias, escolas, hospitais e estabelecimentos comerciais (ALVES et al., 2017). Com o aquecimento do óleo, muitos compostos de degradação são produzidos, modificando suas qualidades sensoriais e nutricionais, podendo chegar a níveis inviáveis para a produção de alimentos (CHOE et al., 2007; PAITER et al., 2015). Desta forma, uma grande parte de óleo de soja após o processo de fritura do alimento é, geralmente descartada. Quando descartado de forma inadequada, o óleo de soja chega aos mananciais, contaminando os rios, pois normalmente fica disperso na superfície o que impede a entrada de luz que alimenta os fitoplânctons, organismos essenciais para a cadeia alimentar aquática, desequilibrando suas condições de vida (MONTE et al., 2015). Além disso, pode contribuir para o mau funcionamento das estações de tratamento e encarecer seu processo. Em contato com o solo, pode impermeabilizá-lo, dificultando a infiltração das águas das chuvas e causando entupimentos das tubulações de esgotos, o que pode resultar em enchentes (MONTE et al., 2015; JALKH et al., 2018).

O óleo de soja, é um dos óleos vegetais mais utilizados no mundo. De acordo com dados de 2007 (DESER, 2007), no Brasil foram utilizadas cerca de 35 milhões de toneladas entre o setor industrial e o doméstico. Já em 2017 (EMBRAPA, 2017), sua produção chegou a aproximadamente 351 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de consumo superior a 10 vezes em uma década. Com base nisso, torna-se importante realizar estudos a fim de se buscar maneiras de reutilizar resíduos desses óleos, para que os mesmos não sejam descartados no meio ambiente, resultando em danos ambientais.

Os óleos vegetais são provenientes de fontes renováveis, são biodegradáveis e apresentam baixo custo, quando comparados aos óleos derivados do petróleo (ÖZTÜRK et al., 2010; BORUGADDA et al., 2014; MUSTATA et al., 2016), o que torna sua reutilização e/ou reciclagem mais vantajosa sob os aspectos ambiental, social e econômico. Alguns usos típicos do óleo de soja pós-consumo contemplam fabricação de biodiesel, sabão, detergente, ração animal, glicerina, lubrificantes e tintas (MONTE et al., 2015; VALONES et al., 2018).

No entanto, dado o elevado aumento do consumo de óleo de soja, tanto no Brasil quanto no mundo, outras alternativas de utilização do óleo de soja pós-consumo ainda necessitam ser exploradas para agregar valor a um resíduo tão nobre.

A composição química do óleo de soja inclui, principalmente, triglicerídeos, que são ésteres derivados de três moléculas de ácidos graxos e uma de glicerol (BIERMANN et al., 2011; ZHANG et al., 2017).

Os ácidos graxos contêm de 8 a 24 átomos de carbonos saturados e insaturados.

Dentre eles pode-se citar o ácido oleico, ácido linoleico e ácido linolênico (ESPINOSA et al., 2011; ZHANG et al., 2017).

O número de insaturações varia de 0 até no máximo 7 ligações duplas carbono-carbono, sendo influenciada pelo tipo de planta de onde será extraído o óleo e também pelas condições climáticas durante o crescimento da planta (ZHANG et al., 2017).

O presente trabalho tem como objetivo principal promover a modificação química do óleo de soja virgem e pós-consumo com anidrido maleico, além de avaliar se o óleo de soja pós-consumo modificado quimicamente apresenta potencial para ser utilizado como um aditivo lubrificante, plastificante ou compatibilizante em materiais poliméricos e compósitos. Os óleos foram caracterizados por análises de FTIR, índice de saponificação e viscosidade.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento desse estudo foram utilizados um óleo de soja marca SOYA, de uso alimentar, adquirido no comércio da cidade de Caxias do Sul (RS/Brasil) e também um óleo de soja marca SOYA, utilizado após três processos de fritura. O anidrido maleico foi doado pela empresa PETROM.

Possui acidez total de 99,88 % e teor de ácido maleico igual a 0,24 %. O peróxido de dicumila na forma de *flakes* com pureza de 98%, foi adquirido da Sigma-Aldrich Co.

Preparação das amostras

O óleo de soja (600 g tanto para o óleo de soja virgem quanto para o óleo de soja pós-consumo) foi adicionado a um balão de fundo redondo equipado com um condensador de refluxo, agitador magnético e termômetro.

O anidrido maleico (135,1 g) foi macerado, para possibilitar melhor dispersão no óleo e, posteriormente o mesmo foi adicionado ao sistema.

A solução foi então aquecida a 130 °C em banho de óleo durante cerca de 1,5 h a 1600 rpm (TRAN et al., 2005). Na mistura inicial, foram adicionados também 0,076 g de peróxido de dicumila para auxiliar na cisão das duplas ligações presentes no óleo (TRAN et al., 2005; TRAN et al., 2005).

Passados 30 min do início da síntese a coloração da solução mudou de amarelo para laranja. O processo reacional transcorreu então por mais 1 h (TRAN et al., 2005).

O anidrido maleico que não reagiu com o óleo de soja após o término da reação permaneceu em repouso por 24 h para ser sedimentado, e, após esse período, o óleo obtido foi purificado através de filtração a vácuo, a fim de se eliminar impurezas restantes de anidrido maleico presente na solução.

Caracterização das amostras

A análise de FTIR dos óleos antes e após a modificação química foi realizada no modo de reflexão total atenuada (ATR) por meio da média de 32 varreduras, no intervalo de 4000 cm^{-1} a 500 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} . A caracterização foi realizada no equipamento Nicolet IS10 Termo Científico.

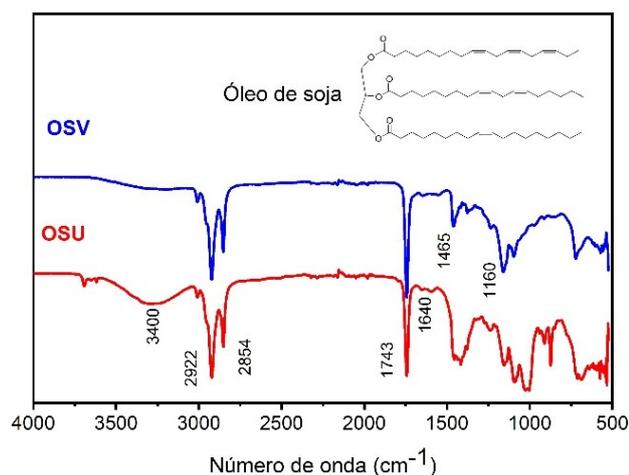
O índice de saponificação foi determinado a partir do método de titulação utilizando aproximadamente 1 g de amostra de óleo baseado na ASTM D5558.

A viscosidade dos óleos foi medida utilizando-se um viscosímetro da marca Brookfield (Modelo DV-II+) com um *spindle* S62 a 100 rpm em uma temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. As análises foram realizadas com a leitura de cinco valores com base na ASTM D445.

Resultados e Discussões

A Figura 1 apresenta os espectros de FTIR dos óleos de soja virgem (OSV) e óleo de soja usado (OSU), bem como a estrutura química do óleo de soja.

Figura 1. Espectros de FTIR do OSV e OSU



Fonte: Autor (2020)

O espectro do OSV apresenta as bandas típicas de hidrocarbonetos alifáticos em 1465 , 2922 e 2854 cm^{-1} , associadas aos grupamentos C-H (EREN et al., 2003), observados na estrutura do óleo de soja, mostrada na Figura 1. A banda típica de carbonila (C=O) em 1743 cm^{-1} (COSTA et al., 2016), bem como a banda de grupos -CO em 1160 cm^{-1} e também a banda relacionada com os grupamentos -CH_2 em 721 cm^{-1} (EREN et al., 2003; JALKH et al., 2018) que compõem a estrutura do óleo de soja foram observadas. Uma banda fraca associada as ligações duplas C=C também foi observada em 1640 cm^{-1} (MISTRI et al., 2011).

Para o OSU observa-se o aparecimento de uma banda larga próxima a 3400 cm^{-1} , associada aos grupos hidroxila (-OH) e também de duas novas bandas na região de 900 cm^{-1} que podem ser associadas a formação oxiranas, ou seja, de grupos -C-O-C- (BORUGADDA et al., 2014).

De acordo com a literatura, o processo de fritura geralmente acarreta na quebra das ligações duplas presentes no óleo de soja e também na inserção de grupos oxigenados em sua estrutura (CHOE et al., 2007), o que corrobora a formação de hidroxilas e oxiranas observada no espectro do OSU. O mesmo comportamento foi observado por Borrugada et al. (2014) no espectro de um óleo de soja após o processo de fritura.

A Figura 2 mostra o espectro do OSV e do óleo de soja virgem modificado (OSVM) com anidrido maleico (AM).

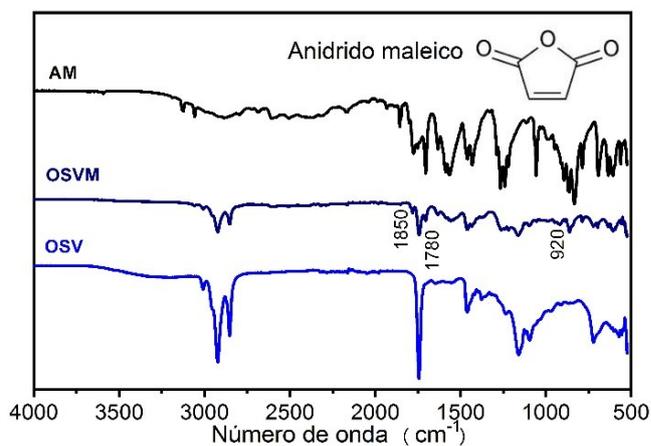
O espectro do AM e também sua estrutura foram adicionadas a Figura 2 para melhor comparar os resultados obtidos.

No espectro do OSVM foram observadas bandas em 1850 cm^{-1} e 1780 cm^{-1} associadas a -CO-O-CO- do anidrido maleico (MISTRI et al., 2010; LUO et al., 2013). Uma banda fraca em 920 cm^{-1} também foi verificada e pode ser associada a grupos -C-O-C- do anidrido maleico.

A banda fraca em 1640 cm^{-1} existente no OSV, que está relacionada as ligações duplas C=C, desapareceu no espectro do OSVM, o que indica que o processo de cisão das ligações duplas aconteceu durante a modificação química para que assim a inserção do anidrido maleico na estrutura do óleo de soja pudesse ocorrer. Mistri et al. (2010) também observou a redução da banda em 1640 cm^{-1} durante a modificação de ácido palmítico, um derivado do óleo de palma, com anidrido maleico.

Para o OSVM não foi observada a formação da banda associada a hidroxila na região de 3400 cm^{-1} .

Figura 2. Espectros de FTIR do AM, OSV e OSVM



Fonte: Autor (2020)

Esse resultado indica que o anidrido maleico foi inserido na estrutura do óleo de soja na forma cíclica (TRAN et al, 2005), com estrutura semelhante aquela apresentada na Figura 3.

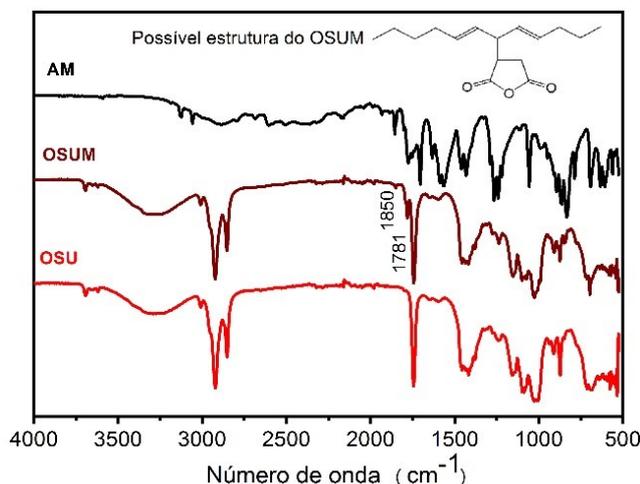
Na Figura 3 podem ser observados os espectros do OSU e do óleo de soja usado modificado (OSUM). O espectro no AM foi inserido para comparação.

Para o OSUM também foram observadas as bandas típicas de grupamentos -CO-O-CO- do anidrido maleico em 1850 cm^{-1} e 1781 cm^{-1} (MISTRI et al., 2010; LUO et al., 2013).

Possivelmente o grupo anidrido se ligou a cadeia do óleo na sua forma cíclica, conforme mostrado na estrutura apresentada na Figura 3.

Esse fato também é corroborado pela banda em 3400 cm^{-1} que praticamente permaneceu inalterada, quando comparada a banda do OSU. Se a cadeia cíclica do AM tivesse se rompido teriam se formado hidroxilas e seria observado um alargamento da banda em 3400 cm^{-1} (TRAN et al., 2005).

Figura 3. Espectros de FTIR do AM, OSU e OSUM



Fonte: Autor (2020)

A Tabela 1 apresenta os resultados do índice de saponificação e também das viscosidade das amostras avaliadas. Quanto ao índice de saponificação, obteve-se, para o OSV, o valor de 189,5 mg KOH/g de óleo, enquanto que, para o OSVM, obteve-se um índice de 242,8 mg de KOH/g de óleo, o que representa um aumento de, aproximadamente, 28 % em relação ao OSV.

Esse aumento está relacionado com os grupos funcionais do anidrido inserido nas cadeias do óleo que conferem um caráter mais ácido ao óleo e desta forma, uma maior quantidade de KOH é necessária para neutralizar o óleo durante a titulação.

Para o OSU, obteve-se um índice de saponificação de 197 mg KOH/ g óleo, o que representa um aumento de, aproximadamente, 4% em relação ao OSV.

Esse comportamento pode estar associado com o processo de fritura, o qual pode romper a ligação éster entre o glicerol e o ácido graxo do óleo de soja, formando assim diacilgliceróis, monoacilgliceróis, glicerol e ácidos graxos livres (WITSCHINSKI et al., 2012) o que reduz a possibilidade de formação de novas ligações com o AM.

Conforme a literatura o índice de saponificação do óleo de soja pode variar de 150-200 mg KOH/g óleo (OLADIJI et al., 2009; AHMED et al., 2012; FAVERO et al., 2019) dependendo da forma de extração do óleo e também do local onde a planta foi cultivada.

Para o OSUM, encontrou-se um índice de saponificação de 220,2 mg KOH/g de óleo, o que representa um aumento de, aproximadamente, 12% em relação ao OSU.

Tabela 1. Índice de saponificação e viscosidade das amostras estudadas

Amostra	Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	Viscosidade (mPa.s)
OSV	189,5 ± 22,3	65,3 ± 0,3
OSVM	242,8 ± 26,0	91,7 ± 0,3
OSU	196,9 ± 14,1	63,9 ± 0,2
OSUM	220,2 ± 8,9	79,6 ± 0,2

Fonte: Autor (2020)

Todavia, pode-se observar que o OSUM possui um índice de saponificação inferior ao OSVM, provavelmente, em virtude do rompimento das ligações C=C, observado na análise de FTIR, que ocorre durante o processo de fritura, o que pode impedir que novos grupos oxigenados se liguem a estrutura do óleo, visto que ele já está oxidado.

Ahmed et al. (2012) reportam que o índice de saponificação do óleo de soja após o processo de fritura pode chegar a aproximadamente 250 mg KOH/ g óleo.

É possível observar que não há uma diminuição significativa na viscosidade do OSU em relação ao OSV, conforme apresentado na Tabela 1. A redução da viscosidade é da ordem de 2%. Siddique et al. (2010) observaram que a viscosidade do óleo de soja é igual a 61,1 mPa.s a 23 °C.

Assim, os valores obtidos nesse estudo para o OSV e também para o OSU se aproximam daqueles observados pelo autor (SIDDIQUE et al., 2010) o que pode indicar semelhança entre as massas molares. Pode-se observar, também, que há um aumento na viscosidade, tanto para o OSVM quanto para o OSUM.

Para o OSUM o aumento da viscosidade é de 25%, enquanto que para o OSVM esse aumento chega a aproximadamente 41 %. Isso se deve ao fato de o anidrido maleico ter sido inserido na estrutura do óleo, o que acarreta diminuição da fluidez do meio.

Além disso, o processo de modificação química acarreta no aumento da viscosidade em função das modificações causadas na estrutura da molécula de óleo como também causa processos de polimerização em função da maior quantidade de grupos oxigenados presentes no óleo (JALKH et al., 2018). A inserção dos grupos oxigenados aumenta a massa molar do óleo modificado em comparação aquele sem modificação química o que dificulta a movimentação dos segmentos de cadeia fazendo com que a viscosidade do sistema aumente.

Outro fator que deve ser considerado para o aumento da viscosidade dos óleos modificados é que o processo de cisão das ligações duplas carbono-carbono (C=C), também observado nos espectros de FTIR, leva a formação de óleos mais saturados que por sua vez possuem maior viscosidade (JALKH et al., 2018).

Com base nas propriedades obtidas, as possíveis aplicações dos óleos sintetizados podem contemplar aditivos lubrificantes e/ou plastificantes durante o processamento de polímeros e compósitos reforçados por cargas minerais e vegetais, uma vez que podem atuar facilitando o escorregamento das cadeias poliméricas o que acelera o processamento e evita a degradação por atrito do polímero ou da carga com o equipamento utilizado no processamento (ADHIKARY et al., 2011).

O OSUM pode ser utilizado como agente de acoplamento em compósitos polímero-madeira, visto que possui em sua estrutura grupamentos oxigenados que podem realizar ligações de hidrogênio com as hidroxilas presentes na superfície das fibras de madeira. Alguns estudos já estão sendo realizados buscando a utilização de óleos vegetais como agente de acoplamento em compósitos (CASTRO et al., 2017; POLETTO et al., 2019). No entanto, os óleos modificados obtidos nesse estudo apresentaram potencial para substituir os agentes de acoplamento de fontes não renováveis comumente utilizados como compatibilizantes em compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais, principalmente devido a inserção dos grupos oxigenados, elevados valores de índice de saponificação e viscosidade.

Conclusão

A partir do presente estudo, pode-se concluir que, há a inserção de grupos de anidrido maleico nas cadeias dos óleos analisados.

O OSV apresentou melhores resultados que o OSU, uma que este já possui grupos oxigenados em sua estrutura, possivelmente devido a cisão de cadeia provocada durante o processo de fritura. Assim, torna-se mais difícil incorporar os grupamentos oxigenados do anidrido maleico nas cadeias do óleo usado.

O aumento do índice de saponificação e da viscosidade também eram esperados, visto que a modificação química gera alterações na estrutura do óleo vegetal. Entretanto, com base nos resultados obtidos, pode-se inferir que, tanto o OSVM como o OSUM apresentam potencial para serem utilizados como aditivos lubrificantes, plastificantes ou compatibilizantes, tanto em polímeros termoplásticos quanto em materiais compósitos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a PETROM pela doação do anidrido maleico e também a Universidade de Caxias do Sul pela disponibilização de alguns reagentes indispensáveis para a realização deste estudo.

Referências

- ADHIKARY, K.B.; PARK, C.B.; ISLAM, M.R.; RIZVI, G.M. Effects of lubricant content on extrusion processing and mechanical properties of wood flour-high-density polyethylene composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v.24, p.155-171, 2011.
- AHMED, A.; MALIK, N.A.; RANDHAWA, M.A.; AKHTAR, S.; AHMAD, A.; AHMED, H.; SHAH, S.S. Changes in vegetable oil used for commercial frying: a case study from Rawalpindi, Pakistan. **Journal of the Chemical Society of Pakistan**, v.34, n.5, p.1079-1083, 2012.
- ALVES, E.P.; TAVARES, L.B.B.; GERN, R.M.M.; SILVA, D.A.K.; FURLAN, S.A.; WISBECK, E. Produção e caracterização de biossurfactantes metabolizados por *Pleurotus sajor-caju* a partir de óleo de soja. **Matéria**, v.22, n.3, e.11867, 2017.
- BIERMANN, U.; BORNESHEUER, U.; MEIER, M.A.R.; METZGER, J.O.; SCHÄFER, H.J. Oils and fats as renewable raw materials in chemistry. **Angewandte Chemie**, v. 50, p. 3854-3871, 2011.
- BORUGADDA, V.B.; GOUD, V.V. Synthesis of waste cooking oil epoxide as a bio-lubricant base stock: characterization and optimization study. **Journal of Bioprocess Engineering and Biorefinery**, v.3, n.1, p. 1-14, 2014.
- CASTRO, D.O.; PASSADOR, F.; RUVOLO-FILHO, A.; FROLLINI, E. Use of castor oil and canola oils in "biopolyethylene" curauá fiber composites. **Composites Part A**, v.95, p. 22-30, 2017.
- CHOE, E.; MIN, D.B. Chemistry of deep-fat frying oils. **Journal of Food Science**, v.72, n.5, p.79-86, 2007.
- COSTA, C.S.M.F., FONSECA, A.C.; MONIZ, J.; GODINHO, M.; SERRA, A.C.; COELHO, J.F.J. Soybean and coconut oil based unsaturated polyester resins: thermomechanical characterization. **Industrial Crops and Products**, v.85, p.403-4011, 2016.
- EREN, T.; KÜSEFOGLU, S.H.; WOOL, R. Polymerization of maleic anhydride-modified plant oils with polyols. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 90, p.197-202, 2003.
- ESPINOSA, L.M. de; MEIER, M.A.R. Plant oils: the perfect renewable resource for polymer science?! **European Polymer Journal**, v.47, p.837-852, 2011.
- FAVERO, D.; MARCON, V.R.R.; BARCELLOS, T.; GÓMEZ, C.M.; SANCHIS, M.J.; CARSÍ, M.; FIGUEROA, C.A.; BIANCHI, O. Renewable polyol obtained by microwave-assisted alcoholysis of epoxidized soybean oil: Preparation, thermal properties and relaxation process. **Journal of Molecular Liquids**, v. 285, p.136,145, 2019.
- JALKH, R.; EL-RASSY, H.; CHEHAB, G.R.; ABIAD, M.G. Assessment of the physico-chemical properties of waste cooking oil and spent coffee grounds oil for potential use as asphalt binder rejuvenators. **Waste and Biomass Valorization**, v.9, p.2125-2131, 2018.
- LUO, Q.; LUI, M.; XU, Y.; IONESCU, M.; PETROVIC, Z.S. Thermosetting allyl resins derived from soybean fatty acids. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 127, n.1 p.432-438, 2013.
- MISTRI, E.; BANDYOPADHYAY, N.R.; GOSH, S.N.; RAY, D. Development of green composites from furfuryl palmitate. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 49, n.22, p. 11357-11362, 2010.
- MISTRI, E.; ROUTH, S.; RAY, D.; SAHOO, S.; MISRA, M. Green composites from maleated castor oil and jute fibres. **Industrial Crops and Products**, v.34, p.900-906, 2011.
- MONTE, E.F. do; FAGUNDES, T.C.; XIMENES, A.F.; MOURA, F.S.; COSTA, A.R.S. Impacto ambiental causado pelo descarte de óleo: estudo de caso da percepção dos moradores de Maranguape I, Paulista-PE. **Revista GEAMA**, v.1, n.2, p.205-219, 2015.
- MUSTATA, F.; TUDORACHI, N. Thermosets based on castor oil modified with Diels-Alder adduct of levopimaric acid and diglycidyl ether of bisphenol A. The kinetic analysis of the curing reactions and thermal behavior of the cured products. **Composites Part B**, v.97, p.263-273, 2016.
- OLADIJI, A.T.; SHOREMEKUM, K.L.; YAKUBU, M.T. Physicochemical Properties of the Oil from the Fruit of *Blighia sapida* and Toxicological Evaluation of the Oil-Based Diet in Wistar Rats. **Journal of Medicinal Food**, v.12, n.5, p.1-9, 2009.
- ÖZTÜRK, C.; KÜSEFOGLU, S.H. Polymerization of epoxidized soybean oil with maleinized soybean oil and maleic anhydride grafted polypropylene mixtures. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 118, p.3311-3317, 2010.
- PAITER, L.; GALVÃO, J.R.; STEVAN JUNIOR, S.L. Estudo empírico da degradação de óleo de soja correlacionando com a sua constante dielétrica utilizando um sensor capacitivo. **Matéria**, v.20, n.2, p.392-398, 2015.

POLETO, M. Maleated soybean oil as coupling agent in recycled polypropylene/wood flour composites: Mechanical, thermal, and morphological properties. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 32, p. 1056-1067, 2019.

SIDDIQUE, B.M.; AHMAD, A.; IBRAHIM, M.H.; HENA, S.; RAFATULLAH, M.; MOHD OMAR, A.K. Physico-chemical properties of blends of palm olein with other vegetable oils. **Grasas Y Aceites**, v.61, n.4, p.423-429, 2010.

TRAN, P.; SEYBOLD, K.; GRAIVER, D.; NARAYAN, R. Free radical maleation of soybean oil via a single-step process. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.82, n.3, p.189-194, 2005.

WITSCHINSKI, F.; GHISLENI, C. P.; VALDUGA, E. Alterações do óleo de soja em fritura descontínua de produtos empanados congelados em uma unidade de alimentação e nutrição. **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n. 3, p. 499-505, 2012.

ZHANG, C.; GARRISON, T.F.; MADBOULY, S.A.; KESSLER, M.R. Recent advances in vegetable oil-based polymers and their composites. **Progress in Polymer Science**, v.71, p.91-143, 2017.