

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO DO EFEITO ANTIOXIANTE DE EXTRATOS
VEGETAIS NA ESTABILIDADE OXIDATIVA DE BIODIESEL

AUTORES:

João Paulo Almeida Freitas¹, Fernanda Rocha Morais França², Karolline Dewanele Santana Rocha³,
Maria Susana Silva⁴, Gabriel Francisco da Silva⁵

INSTITUIÇÃO:

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Núcleo de Engenharia de Petróleo,
Universidade Federal de Sergipe

²Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas

³Núcleo de Engenharia de Petróleo, Laboratório de Tecnologias Alternativas, Universidade Federal
de Sergipe

⁴Bolsista PPDOC/FAPITEC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro de
Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Sergipe

⁵Núcleo de Engenharia de Petróleo, Laboratório e Tecnologias Alternativas, Universidade Federal de
Sergipe

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

AVALIAÇÃO DO EFEITO ANTIOXIANTE DE EXTRATOS VEGETAIS NA ESTABILIDADE OXIDATIVA DE BIODIESEL

Abstract

The production and use of biodiesel, encouraged, among others, by the environmental issue, have been notably growing over the years. Many are the sources for the production of biodiesel; however, large part of its production is made from oilseeds which have unsaturated fatty acids in their composition, making them more susceptible to oxidation, affecting its transportation, storage and use. One way of reducing the oxidation is the use of antioxidant. Commercially, synthetic antioxidants are generally used which, despite their effectiveness, have limitations due to their non-biodegradability and toxicity. In this context, natural antioxidants derived from fruits and vegetables, such as tocopherols, cardanol, catechin and curcumin, are being studied as possible substituents for synthetic antioxidants and thus make biodiesel a source of energy even more sustainable and less polluting. The objective of this study was to evaluate the antioxidant effect of catechin and curcumin on the oxidative stability of cottonseed oil methyl biodiesel. The oxidative stability was measured for the biodiesel without and with the antioxidants at concentrations of 500, 1000, 1500, 2000 and 3000 ppm and compared with the commercial antioxidant BHA in the same concentrations. The induction period was measured using the Rancimat method (EN 14112), in which the sample is maintained at a temperature of 110°C and is subjected to a stream of dry air that promotes oxidation. The products formed by the oxidative process are carried to a compartment containing deionized water, promoting the increase of electrical conductivity. The abrupt increase in conductivity characterizes the induction period. The results of the experiments showed that both extracts have antioxidant activity, increasing the oxidative stability of pure biodiesel in all concentrations studied. The minimum value of the induction period required by law was reached at the concentration of 1000 ppm for the all antioxidants - catechin 12.33 hours, curcumin 8.92 hours and BHA 8.05. For the highest concentration, the induction period of biodiesel reached 26,91h, 12,61h and 9,33h for catechin, curcumin and BHA respectively. Both extracts had higher antioxidant power than BHA.

Introdução

É notável a crescente produção e utilização de biodiesel com o passar dos anos. A maior parte da produção desse biocombustível é a partir de óleo vegetal, os quais possuem em sua composição ácidos graxos insaturados, tornando-o mais susceptível a oxidação e prejudicando o processo de transporte, armazenamento e utilização (KNOTHE et al., 2010). Uma forma de reduzir esse fenômeno é utilizar aditivos antioxidantes, os quais atuam de forma a neutralizar ou sequestrar os radicais livres formados durante a oxidação, formando intermediários mais estáveis e consequentemente reduzindo o processo oxidativo (SOUSA et al., 2007). Comercialmente utilizam-se antioxidantes sintéticos que, apesar de sua eficácia, possuem limitação de uso devido à sua não biodegradabilidade e toxicidade.

Nesse contexto, surgem os antioxidantes naturais, tais como, tocoferóis, cardanol, catequina e curcumina que, diferentemente dos antioxidantes sintéticos, não apresentam tais limitações (PEREIRA et al., 2012; SOUSA et al., 2014). Estes vêm sendo estudados como possíveis substituintes para os antioxidantes sintéticos (FRANÇA et al., 2014; SOUSA et al., 2014). Por outro lado, aditivos sintéticos têm maior ação antioxidante devido ao alto grau de pureza quando comparado com os naturais, o que demanda a purificação destes componentes para que sua ação antioxidante seja maximizada.

A curcumina é um pigmento amarelo que ocorre naturalmente no rizoma da *Curcuma longa* L. e, em sua forma em pó, é mais conhecida como açafrão-da-terra (BORRA et al., 2013). Este pigmento representa cerca de 2% do rizoma, mas em laboratório é possível obter um extrato de curcuminoides com pureza maior que 96%, cujo componente majoritário é a curcumina (59-71%), seguida pela desmetoxicurcumina (25-29%) e por fim pela bisdesmetoxicurcumina (4-12%) (PÉRET-ALMEIDA et al.,

2008) (Figura 1). Estes são os componentes com ação antioxidante presentes na cúrcuma. Devido à sua natureza fenólica, os curcuminoides, principalmente a curcumina, vêm sendo estudados como agentes antioxidantes em diversos sistemas (SUETH-SANTIAGO et al., 2015). Sua utilização em biodiesel foi pouco reportada, embora seu potencial antioxidante já tenha sido comprovado (SOUSA et al., 2014).

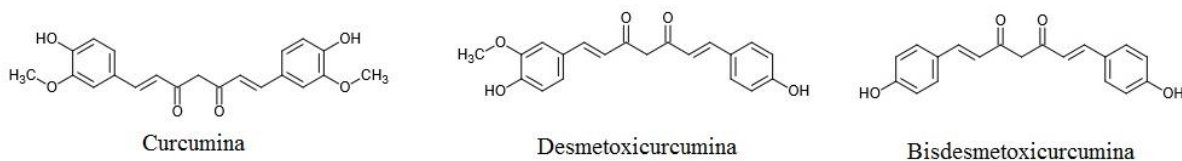


Figura 1: Estrutura molecular dos curcuminoides presentes na *Curcuma longa* L..

A catequina é um composto incolor e hidrossolúvel pertencente ao grupo dos polifenóis com poderosa ação antioxidante e sequestrante de metais livres (MATSUBARA E RODRIGUEZ-AMAYA, 2006; DU et al., 2012). Existem cinco tipos de catequina – catequina simples (CS), epicatequina (EC), epigalocatequina (EGC), epicatequina galato (ECG) e epigalocatequina galato (EGCG) – (Figura 2), todas com estrutura química semelhante que as torna capazes de estabilizar radicais livres, inibindo o processo oxidativo. As principais fontes de catequinas são o chá verde, chocolate amargo, amora e chá preto (SFGATE, 2017).

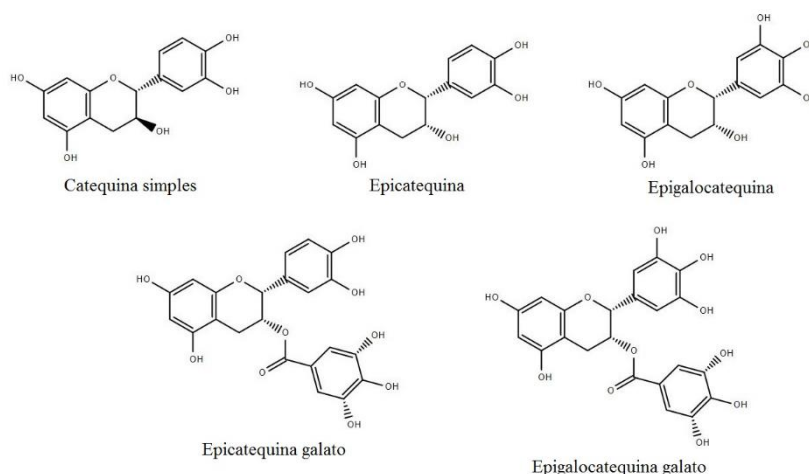


Figura 2 - Estrutura molecular da CS, EC, EGC, ECG e EGCG.

No âmbito dos biocombustíveis, a utilização de catequinas como aditivo também é escassa. Estudos já reportaram a presença de catequinas em extratos vegetais de moringa para serem utilizados como aditivos antioxidantes em biodieseis (FRANÇA et al., 2014). No entanto, apesar da identificação de tais substâncias nos extratos vegetais e de seu alto potencial antioxidante, ainda não foi reportado na literatura a utilização de catequinas como inibidor do processo oxidativo em biodiesel.

Embora ainda seja escasso o número de estudos com aplicação desses componentes em biodiesel, os resultados apresentados até o momento sugerem que tanto a catequina quanto a curcumina têm grande potencial para ser utilizada como aditivo para melhorar a estabilidade oxidativa do biodiesel (FRANÇA et al., 2014; SOUSA et al., 2014). Porém, estudos são necessários para comprovar sua eficácia na inibição da oxidação em biodieseis, podendo ser uma alternativa promissora para substituir antioxidantes sintéticos e assim tornar o biodiesel uma fonte de energia ainda mais sustentável e menos poluente.

Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial antioxidante da catequina e da curcumina no melhoramento da estabilidade oxidativa do biodiesel metílico do óleo da semente de algodão em comparação com o antioxidante sintético comercial butil-hidroxianisol (BHA).

Metodologia

Síntese do biodiesel

As condições adotadas para a síntese do biodiesel da semente do algodão foram baseadas no trabalho de Onukwuli et al. (2017), considerando as condições otimizadas em seu estudo. O óleo de algodão utilizado foi obtido no comércio local. Para a reação de transesterificação convencional utilizou-se uma razão molar metanol/óleo de algodão de 6:1 com catalisador KOH a 0,6% em massa. Inicialmente o metanol e o KOH foram misturados até todo o catalisador se solubilizasse, formando o metóxido de potássio. Em seguida, a mistura foi adicionada lentamente ao óleo da semente de algodão já sob agitação (300rpm) a uma temperatura de 55°C. Decorrida uma hora de reação, a mistura foi transferida para um funil de separação para promover a separação das fases até que a interface ficasse nítida, com a fase mais escura (glicerina) no fundo e a fase clara (biodiesel) no topo. O biodiesel foi então lavado com água ultrapura a 90°C para retirar o catalisador, seguindo para secagem em estufa a 100°C por 3 horas para retirar o excesso de umidade decorrente do processo de lavagem.

Caracterização do biodiesel

Índice de Acidez: A análise foi realizada de acordo com a NBR 14448. A amostra para titulação foi preparada misturando 5 g do biodiesel com 30 mL de uma solução tolueno:etanol 1:1 (v/v). Em seguida a amostra foi titulada com uma solução de KOH 0,1M. O índice de acidez é dado pela equação (1).

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{v \times f \times 5,61}{m} \quad (1)$$

Em que o índice de acidez é dado em mg_{KOH}/g_{biodiesel}, v é o volume gasto de solução de KOH 0,1M na titulação (MLCEK et al.), f é o fator de correção da padronização da solução de KOH, m é a massa de biodiesel (g) e a constante 5,61 é a massa referente à solução de KOH 0,1M.

Estabilidade à oxidação: Os testes foram feitos de acordo com a norma EN 14112 em um equipamento Rancimat modelo 873 fabricado pela empresa Metrohm. O procedimento experimental consiste em borbulhar uma corrente de ar seco a 10 L.h⁻¹ em uma amostra de 3 gramas, que é mantida sob aquecimento a uma temperatura de 110°C. A corrente arrasta os ácidos graxos voláteis (produtos de oxidação) para um recipiente contendo água deionizada. Os ácidos graxos se solubilizam e promovem o aumento da condutividade elétrica da água. O próprio software do equipamento faz a leitura e fornece o dado de estabilidade oxidativa em termos do período de indução (em horas).

Teor de ésteres: O teor de éster foi determinado de acordo com a norma EN 14103, utilizando cromatógrafo gasoso, modelo GC 2010 da SCHIMADZU, equipado com detector de ionização de chama (FID) de capacidade de 250°C. A preparação da amostra foi feita pesando 100 mg do biodiesel em um balão volumétrico de 10 mL, completando-se em seguida o volume com heptano. Em seguida transferiu-se 100 µL dessa solução para um balão volumétrico de 1 mL, contendo 50 µL da solução de metil heptadecanoato (padrão interno com concentração de 250 mg/L), seguido pela completação do volume com heptano, sendo então transferida para o vial de análise cromatográfica. Apenas 1 µL da amostra foi injetada no cromatógrafo.

Antioxidantes

Para este estudo foram utilizados dois extratos vegetais como aditivos antioxidantes: catequina e curcumina, ambas da empresa Florian obtidas por meio de manipulação em farmácias locais. A catequina utilizada neste estudo foi na forma do GreenSelect®, um produto registrado da empresa Florian, cujo teor de catequinas é de 72,7%, dos quais 52,6% são EGCG. A curcumina é proveniente do extrato seco da cúrcuma longa, de forma que, do material, 96,68% são curcuminoides.

Testes de estabilidade oxidativa

O processo descrito na seção “Estabilidade à oxidação” foi realizado para o biodiesel puro e aditivado com a catequina, curcumina e BHA individualmente nas concentrações de 500, 1000, 1500, 2000 e 3000 ppm. Para aumentar a solubilidade no biodiesel, os extratos foram solubilizados em metanol com concentração de 0,05 g/mL, de forma que o metanol solubiliza a parte mais polar dos aditivos, enquanto o biodiesel solubiliza a parte menos polar, de forma que para a maior concentração, a adição de solução não ultrapassou 6% (m/v) da amostra. Para padronizar o processo de aditivação, o BHA também foi solubilizado em metanol nas mesmas condições.

Resultados e Discussão

O biodiesel metílico do óleo da semente de algodão foi obtido por transesterificação convencional. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos com a caracterização do biodiesel.

Tabela 1: Caracterização do biodiesel sintetizado

Propriedade	Valor Obtido	Especificação (ANP, 2014)	Unidade
Índice de Acidez	0,14	0,5 (máx)	mg _{KOH} /g _{biodiesel}
Teor de ésteres	79,89	96,5 (mín)	%
Estabilidade à oxidação	4,68	8 (mín)	h

O índice de acidez do combustível sintetizado apresentou um valor abaixo do valor máximo estabelecido na legislação. O nível de acidez é uma característica importante do biodiesel, estabelecendo uma relação com sua idade, uma vez que, quanto mais velho o biodiesel, maior o nível de ácidos produzidos pelo processo oxidativo, os quais podem causar corrosão no motor e tanque de combustível (ENGINEERS EDGE, 2016). Esta é mais uma propriedade que os aditivos antioxidantes influenciam.

Com relação ao teor de ésteres, apesar de não estar dentro das especificações exigidas na legislação da ANP, o resultado foi satisfatório, sendo semelhante a outros biodieseis sintetizados reportados na literatura (ALI E TAY, 2013; ANDRADE et al., 2015). Por outro lado, é necessário otimizar as condições experimentais para atingir o valor mínimo exigido para este parâmetro.

A estabilidade oxidativa do biodiesel sintetizado apresentou um resultado abaixo do valor mínimo requerido pela legislação, o que já era esperado. Este fato deve-se principalmente às ligações insaturadas presentes nos ácidos graxos constituintes do biocombustível, que são provenientes do óleo vegetal que lhe deu origem. Devido à baixa estabilidade oxidativa, é necessário utilizar aditivos antioxidantes para melhorar tal propriedade. Por outro lado, apesar de não estar na especificação requerida, a estabilidade oxidativa do biodiesel sintetizado ainda é maior que biodieseis de outras fontes como soja, pongamia, karanja e jatrofa (RAWAT et al., 2015; DWIVEDI E SHARMA, 2016; ROVEDA et al., 2016) e até de outros biodieseis de algodão reportados na literatura (SERQUEIRA et al., 2014; SERQUEIRA et al., 2015).

Com relação à ação antioxidante dos extratos estudados, ambos tiveram efeito positivo na estabilidade oxidativa do biodiesel, assim como o antioxidante sintético BHA. A Tabela 2 apresenta o período de indução do biodiesel aditivado com os três antioxidantes para as diferentes concentrações investigadas.

Observa-se na tabela 2 que os três aditivos alcançaram o valor mínimo exigidos pela ANP para estabilidade oxidativa para a concentração de 1000 ppm. Entretanto, enquanto o BHA ficou no limite mínimo, a curcumina ultrapassou mais de 10% e a catequina mais de 50% que o requerido na legislação. Este resultado mostra que são necessárias quantidades menores que 1000 ppm de catequina e curcumina

em comparação ao BHA para atingir o valor mínimo de estabilidade oxidativa, principalmente para o primeiro antioxidante. Tal inferência é confirmada com o aumento da concentração dos aditivos.

Tabela 2: Período de indução do biodiesel aditivado com Catequina, Curcumina e BHA.

Concentração (ppm)	Período de Indução (h)		
	Catequina	Curcumina	BHA
500	7,66	6,55	6,62
1000	12,33	8,92	8,05
1500	15,64	11,11	9,10
2000	20,77	12,24	9,25
3000	26,91	12,61	9,33

De forma geral, o aumento na concentração do antioxidante elevou a estabilidade oxidativa, com a catequina sendo a mais eficiente para todas as concentrações estudadas, seguida pela curcumina e por último o BHA. Este resultado é coerente com a estrutura química dos aditivos: a presença de grupos ativadores (doadores de elétrons) na posição *orto* ou *para* em relação ao grupo hidroxila do fenol aumenta a atividade antioxidante do composto por efeito indutivo. Desta forma, quanto mais eletronegativo o substituinte, maior o efeito indutivo em favor da ação antioxidante. Por outro lado, grupos alquila ramificados na posição *orto* diminui a atividade antioxidante da substância, uma vez que aumenta a chance da molécula criar uma estrutura de ressonância estável, dificultando a participação das hidroxilas do antioxidante na etapa de propagação do processo oxidativo (WANASUNDARA E SHAHIDI, 2005). Assim, além do BHA ter o menor número de hidroxilas entre os aditivos utilizados, este possui um radical alquil ramificado na posição *orto* (Figura 3), reduzindo sua ação antioxidante. A catequina, por outro lado, além de ter o maior número de hidroxilas ligadas ao anel aromático, possui algumas dessas hidroxilas em posição *orto* (Figura 2), aumentando sua ação antioxidante.

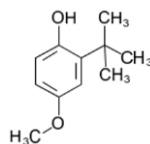


Figura 3 - Estrutura molecular do BHA.

Para o BHA houve uma peculiaridade com o aumento de sua concentração a partir de 1500 ppm, sendo a estabilidade oxidativa praticamente constante a partir desta concentração. Esse mesmo comportamento foi relatado na literatura (YANG et al., 2017). Esse fenômeno pode ser atribuído a um possível limite de solubilidade do BHA no biodiesel, em que, para concentrações acima de 1500 ppm, o antioxidante não se solubiliza totalmente, reduzindo a doação de hidrogênios para os radicais formados no processo oxidativo. Porém, estudos adicionais são necessários para determinar a veracidade desta hipótese.

Conclusões

O estudo evidenciou a ação antioxidante da catequina e da curcumina no biodiesel metílico do óleo da semente do algodão. Sua atividade antioxidante mostrou-se maior que a do BHA, com destaque para a catequina que atingiu um período de indução quase 3 vezes maior para a concentração mais elevada. Ainda, apesar de todos os aditivos terem alcançado a estabilidade oxidativa mínima requerida na concentração de 1000 ppm, uma quantidade ainda menor é suficiente tanto para a catequina quanto para a curcumina para atingir tal conformidade. Desta forma, este estudo mostrou que as substâncias naturais estudadas apresentam ação antioxidante maior que o do BHA, se mostrando como possíveis substituintes sustentáveis, além de mostrar a viabilidade técnica para seu uso como aditivo antioxidante.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, à Fapeal/AL, à Fapitec/SE e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa e ao NUPETRO pelo apoio técnico.

Referências Bibliográficas

- ALI, E. N.; TAY, C. I. Characterization of Biodiesel Produced from Palm Oil via Base Catalyzed Transesterification. **Procedia Engineering**, v. 53, p. 7-12, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.002>.
- ANDRADE, L. C. T.; CABRAL, V. B. L.; FRANÇA, F. R. M.; RAMOS, A. L. D.; SILVA, G. F. **Avaliação da influência antioxidante do biodiesel produzido a partir da moringa oleífera lam durante o armazenamento. In: Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 1, Campina Grande, Anais CONEPETRO**. Campina Grande: Editora Realize 2015.
- ANP. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Resolução n. 45, de 28 de agosto de 2014.
- BORRA, S. K.; GURUMURTHY, P.; MAHENDRA, J.; JAYAMATHI, K. M.; CHERIAN, C. N.; CHAND, R. Antioxidant and free radical scavenging activity of curcumin determined by using different in vitro and ex vivo models. **Journal of Medicinal Plant Research**, v. 7, n. 36, p. 2680-2690, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.5897/JMPR2013.5094>.
- DU, G. J.; ZHANG, Z.; WEN, X. D.; YU, C.; CALWAY, T.; YUAN, C. S.; WANG, C. Z. Epigallocatechin Gallate (EGCG) Is the Most Effective Cancer Chemopreventive Polyphenol in Green Tea. **Nutrients**, v. 4, n. 11, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/nu4111679>.
- DWIVEDI, G.; SHARMA, M. P. Investigation of Oxidation stability of Pongamia Biodiesel and its blends with diesel. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 25, n. 1, p. 15-20, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.06.005>.
- ENGINEERS EDGE. Acid Value Number or Neutralization Number of Oil. 2016. Disponível em: < http://www.engineersedge.com/lubrication/acid_number_neutralization_number.htm >. Acesso em: 29 november 2016.
- FRANÇA, F. R. M.; MENEZES, D. S.; MOREIRA, J. J. S.; SILVA, G. F.; BRANDÃO, S. T. Potencial da Moringa oleífera Lam (Moringaceae) como fonte de antioxidante natural para biocombustível. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 10, 2014. Anais Eletrônicos do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, 2014.
- KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAJL, J. **The Biodiesel Handbook**. Campaign: AOCS Press, 2010. 501 ISBN 978-1-893997-62-2
- MATSUBARA, S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Teores de catequinas e teaflavinas em chás comercializados no Brasil. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 26, p. 401-407, 2006. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612006000200024>.
- MLCEK, J.; JURIKOVA, T.; SKROVANKOVA, S.; SOCHOR, J. Quercetin and Its Anti-Allergic Immune Response. **Molecules**, v. 21, n. 5, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules21050623>.

- ONUKWULI, D. O.; EMEMBOLU, L. N.; UDE, C. N.; ALIOZO, S. O.; MENKITI, M. C. Optimization of biodiesel production from refined cotton seed oil and its characterization. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 26, n. 1, p. 103-110, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.02.001>.
- PEREIRA, D. F.; SILVA, A. P. D.; VASCONCELOS, V. M.; ARANDA, D. A. G.; SILVA, G. F. D. Avaliação da estabilidade à oxidação do biodiesel a partir da moringa. **Revista Tecnologia**, v. 33, n. 2, p. 156-164, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.5020/2318-0730.2012.V33.2.156-164>.
- PÉRET-ALMEIDA, L.; NAGHETINI, C. D. C.; NUNAN, E. D. A.; JUNQUEIRA, R. G.; GLÓRIA, M. B. A. Atividade antimicrobiana in vitro do rizoma em pó, dos pigmentos curcuminóides e dos óleos e dos essenciais da *Curcuma longa* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 875-881, 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000300026>.
- RAWAT, D. S.; JOSHI, G.; LAMBA, B. Y.; TIWARI, A. K.; KUMAR, P. The effect of binary antioxidant proportions on antioxidant synergy and oxidation stability of *Jatropha* and *Karanja* biodiesels. **Energy**, v. 84, p. 643-655, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.024>.
- ROVEDA, A. C.; COMIN, M.; CAIRES, A. R. L.; FERREIRA, V. S.; TRINDADE, M. A. G. Thermal stability enhancement of biodiesel induced by a synergistic effect between conventional antioxidants and an alternative additive. **Energy**, v. 109, p. 260-265, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.111>.
- SERQUEIRA, D. S.; DORNELLAS, R. M.; SILVA, L. G.; DE MELO, P. G.; CASTELLAN, A.; RUGGIERO, R.; RICHTER, E. M.; MUNOZ, R. A. A. Tetrahydrocurcuminoids as potential antioxidants for biodiesels. **Fuel**, v. 160, p. 490-494, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.07.104>.
- SERQUEIRA, D. S.; FERNANDES, D. M.; CUNHA, R. R.; SQUISSATO, A. L.; SANTOS, D. Q.; RICHTER, E. M.; MUNOZ, R. A. A. Influence of blending soybean, sunflower, colza, corn, cottonseed, and residual cooking oil methyl biodiesels on the oxidation stability. **Fuel**, v. 118, p. 16-20, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.10.028>.
- SFGATE. Foods High in Catechins. 2017. Disponível em: < <http://healthyeating.sfgate.com/foods-high-catechins-4512.html> >. Acesso em: 04 abril 2017.
- SOUSA, C. M. M.; SILVA, H. R.; VIEIRA-JR., G. M.; AYRES, M. C. C.; COSTA, C. L. S.; ARAÚJO, D. S.; CAVALCANTE, L. C. D.; BARROS, E. D. S.; ARAÚJO, P. B. M.; BRANDÃO, M. S.; CHAVES, M. H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, v. 30, p. 351-355, 2007. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000200021>.
- SOUSA, L. S.; MOURA, C. V. R.; OLIVEIRA, J. E.; MOURA, E. M. Use of natural antioxidants in soybean biodiesel. **Fuel**, v. 134, p. 420-428, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.06.007>.
- SUETH-SANTIAGO, V.; MENDES-SILVA, G. P.; DECOTÉ-RICARDO, D.; LIMA, M. E. F. Curcumina, o pó dourado do açafrão-da-terra: Introspecções sobre química e atividades biológicas. **Química Nova**, v. 38, p. 538-552, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150035>.
- WANASUNDARA, P. K. J. P. D.; SHAHIDI, F. Antioxidants: Science, Technology, and Applications. In: SHAHIDI, F. (Ed.). **Bailey's industrial oil & fats products**. 6. New Jersey: Wiley-Interscience, 2005. cap. 11, p.431-489.
- YANG, J.; HE, Q. S.; CORSCADDEN, K.; CALDWELL, C. Improvement on oxidation and storage stability of biodiesel derived from an emerging feedstock camelina. **Fuel Processing Technology**, v. 157, p. 90-98, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.12.005>.