

## PRODUÇÃO DE ADITIVO COM AÇÃO ANTIOXIDANTE E ANTICORROSIVA PARA BIODIESEL OBTIDO A PARTIR DO ÁCIDO CAFÉICO

Martiniano H. Cavalcanti<sup>1</sup>; Lucy M. S. Monteiro<sup>2</sup>; Ricardo D. Anjos<sup>3</sup>; José S. C. Vieira<sup>4</sup>; Barbara Lima<sup>5</sup>; João M. Dourado<sup>6</sup>; João M. Costa<sup>7</sup>; Luiz O. A. Chaves<sup>8</sup>; Talita Azevedo<sup>9</sup>; Jaciene de J. C. Rocha<sup>10</sup>; Efraim C. Pereira<sup>11</sup>; Glauber Cruz<sup>12</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [martiniano.cavalcanti@acad.ifma.edu.br](mailto:martiniano.cavalcanti@acad.ifma.edu.br)

<sup>2</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [lucymonteiro@acad.ifma.edu.br](mailto:lucymonteiro@acad.ifma.edu.br)

<sup>3</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [ricardo.anjos@acad.ifma.edu.br](mailto:ricardo.anjos@acad.ifma.edu.br)

<sup>4</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [sebastiaocidreira@ifma.edu.br](mailto:sebastiaocidreira@ifma.edu.br)

<sup>5</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [lima.barbara@acad.ifma.edu.br](mailto:lima.barbara@acad.ifma.edu.br)

<sup>6</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [dourado.m@acad.ifma.edu.br](mailto:dourado.m@acad.ifma.edu.br)

<sup>7</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [marcosjoao@acad.ifma.edu.br](mailto:marcosjoao@acad.ifma.edu.br)

<sup>8</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [luizotavio@acad.ifma.edu.br](mailto:luizotavio@acad.ifma.edu.br)

<sup>9</sup>Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e-mail: [talita.azevedo@acad.ifma.edu.br](mailto:talita.azevedo@acad.ifma.edu.br)

<sup>10</sup> Universidade Federal do Maranhão – Campus Don Delgado e-mail: [jaciene.cardoso@ufma.br](mailto:jaciene.cardoso@ufma.br)

<sup>11</sup> Programa de Pós-Graduação em Saúde e Tecnologia - UFMA email: [efraim.costa@ufma.br](mailto:efraim.costa@ufma.br)

<sup>12</sup> Universidade Federal do Maranhão – Campus Don Delgado e-mail: [cruz.glauber@ufma.br](mailto:cruz.glauber@ufma.br)

**Palavras-Chave:** Aditivo, Antioxidante, Biodiesel.

### Introdução

Atualmente o mundo está realizando uma guinada em suas matrizes energéticas visando a diversificação das suas fontes energéticas, sempre almejando que sejam renováveis e com baixo carbono tendo em vista as consequências cada vez mais perceptíveis do aquecimento global devido ao aumento de emissões de gases de efeito estufa ocasionado no último século. Dentre essas matrizes, o biodiesel se destaca como um forte substituto de combustíveis fósseis os quais é sabido, são um dos maiores emissores de gases do efeito de estufa, como o dióxido de carbono (MATSUOKA et al., 2012).

A incorporação do biodiesel ao diesel produzido em refinarias de petróleo é uma estratégia acertada para combater a redução de emissões de gases do efeito estufa, assim como é um excelente vetor de desenvolvimento socioeconômico de uma região ou país. No entanto, o biodiesel tem grande facilidade de oxidação lipídica, a qual é responsável por mudanças significativas de características essenciais (BILICH et al., 2006). Devido à natureza química da matéria-prima, vários níveis de insaturações presentes na cadeia hidrocarbônica dos ácidos graxos constituintes dos óleos vegetais tornam o Biodiesel naturalmente mais susceptível à degradação oxidativa e, conseqüentemente o aumento na sua acidez, provocando assim, um ambiente bastante favorável para ocorrer o processo corrosivo (SUNDUS et al., 2017); (PULLEN et al., 2012). O que torna o estudo da estabilidade oxidativa do biodiesel de fundamental importância para seu controle de qualidade, principalmente no que diz respeito a seu armazenamento.

Recentemente a ANP alterou a Resolução ANP nº 45, 2014 que estabelece as especificações de qualidade de biodiesel, para determinar a obrigatoriedade da aditivação do biodiesel com antioxidante e estabelecer novo limite de especificação da característica

estabilidade à oxidação. Dentre as alterações está novas características do aditivo antioxidante e a obrigatoriedade do produtor de biodiesel em adicionar aditivo antioxidante no biodiesel, independentemente da matéria-prima utilizada na fabricação desse biocombustível. Segundo à ANP esta medida visa proteger ainda mais os interesses do consumidor e dos usuários do sistema de transportes no país e estruturar as bases para futuros incrementos na adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no país, cuja intenção é fixar a adição de até 15% de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final (ANP, 2013); (OLIVEIRA et. al., 2021).

O desenvolvimento de aditivos multifuncionais, ou seja, aditivos que são capazes de conferir ou melhorar mais de uma característica são uma das tendências na indústria de petróleo, gás e biocombustíveis. (ALBUQUERQUE et. al., 2021); (DUARTE et. al., 2014). Esses produtos são necessários visto que sua aplicação, por meio de uma única adição, pode caracterizar uma grande economia à Indústria, inclusive a do biodiesel, substituto direto do óleo diesel (AQUINO, 2012).

Vários estudos mostram que compostos fenólicos além do potencial antioxidante já bastante conhecido (ANDERSON, et al., 2017); (SANTOS et al., 2018), se apresentam também como alternativas para atuarem como anticorrosivos, uma vez que possuem propriedades de mitigação de corrosão satisfatórias e alta atividade eletroquímica e, portanto, são o grupo de compostos bastantes estudado para esta finalidade (FAZAL et al., 2017); (SOUZA et al., 2009). Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de desenvolver bioaditivos multifuncionais derivados do ácido cafeíco com ação antioxidante e antioxidante e compará-los com aditivos comerciais (TBHQ). Além disso, este trabalho visa de forma geral, contribuir para o desenvolvimento e geração de novos bioaditivos e materiais que possibilitem novas alternativas frente à crescente demanda ambiental.

## Material e Métodos

**Extração e Separação do Ácido Cafeíco (AC)** - O AC utilizado neste estudo foi extraído da planta seca chapéu-de-couro, adquirida em 2022 no comércio do município de São Luís – MA. O processo foi realizado de acordo adaptações das metodologias descritas por Meinhart et. al., (2017) e Jeong et. al., (2011), respectivamente.

**Aditivo Multifuncional (AMCB)** - O aditivo proposto neste estudo foi sintetizado via reação de esterificação a partir do ácido cafeíco. Inicialmente foram misturados 2,71 mmol de ácido cafeíco (Sigma 98%) e 0,55 mol de n-butanol (Sigma 98%), adicionou-se 0,5 ml de ácido sulfúrico. O produto obtido foi seco sobre sulfato de magnésio anidro e filtrado (SANDERSON et. al., 2013) Em seguida, o material foi caracterizado por espectroscopia vibracional na região do infravermelho.

**Compostos fenólicos totais (CFT)** - A determinação dos compostos fenólicos totais (CFT) foi realizada pelo método Folin-Ciocalteu, com adaptações de Waterhouse, (2018).

**Identificação do Ácido cafeíco isolado:** As foram analisadas por HPLC-PDA. As soluções das amostras (10 mg/ml, 1 ml) passaram por uma extração em fase sólida (SPE) utilizando cartuchos Phenomenex Strata C18 (500,0 mg de fase estacionária) previamente ativados com 5,0 ml de MeOH e seguida equilibrados com 5,0 ml de MeOH: H<sub>2</sub>O (1:1, v/v). As amostras foram então filtradas através de um filtro PTFE de 0,22 µm e secas, posteriormente. As amostras secas foram dissolvidas na concentração de 10,0 mg/ml em solvente metanol grau HPLC.

Caracterização do Aditivo via FTIR: Os espectros vibracionais na região do infravermelho foram obtidos utilizando um Espectrofotômetro de Infravermelho de Transformada de Fourier, Modelo IR-PRESTIGE-21, Shimadzu. As amostras foram preparadas em pastilhas de KBr (Merck, 99,5%) seco, pulverizado e prensado para formar discos transparentes. As medidas foram efetuadas no intervalo de 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ , com uma resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  (45 varreduras) e registrou-se a transmitância. As atribuições das bandas de absorção foram feitas por comparação com dados da literatura.

Capacidade antioxidante: A metodologia escolhida para a avaliação da capacidade antioxidante do ácido cafeíco comercial, ácido cafeíco extraído e do TBHQ (Terc-butil-hidroquinona) de pureza superior a 98% foi a de sequestro do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil). Por ser um teste bastante utilizado, confiável e que atende as resoluções impostas pela ANP para avaliação de atividade antioxidante. As análises foram realizadas seguindo a metodologia utilizada por Assis, (2014).

Atividade anticorrosiva em biodiesel: A Atividade anticorrosiva seguiu a norma ASTM G31 que trata de ensaios gravimétricos (perda de massa) e adaptações realizadas por (AQUINO, 2012). O tempo de imersão realizado neste estudo foi de 7 dias (168 horas) e 32 dias (768 horas). Foi avaliado a ação corrosiva do biodiesel ao cobre sem e com aditivos (ACCOMERCIAL, ACEXTRAÍDO, AMCB100 e TBHQ), na concentração de 0,1 mg. mL<sup>-1</sup> ou 100 ppm.

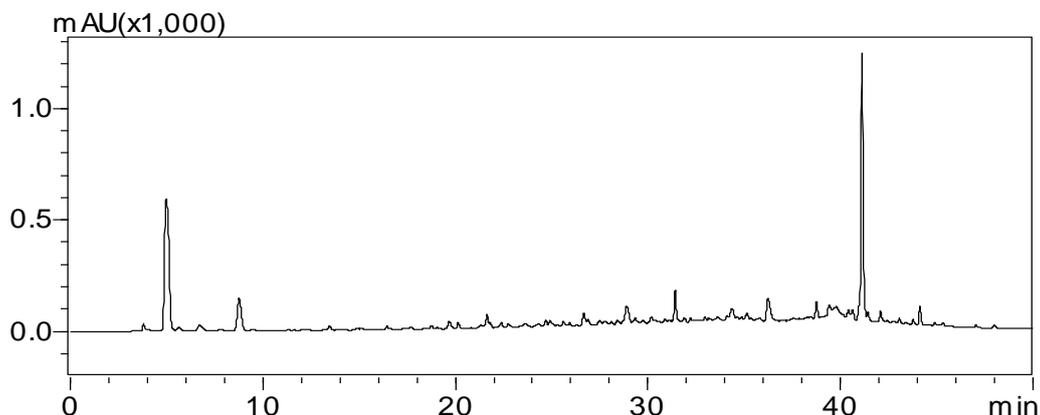
## Resultados e Discussão

Compostos Fenólicos Totais (CFT) - Extrato hidroalcolóico:

Observou-se, um quantitativo significativo de compostos fenólicos totais no extrato, pois foi obtido uma concentração de 36,126 mg EAG g<sup>-1</sup>, em equivalência ao ácido gálico, pois ele foi utilizado como composto fenólico padrão para obtenção da reta de calibração pra CFT. Segundo Costa-Singh e colaboradores (2012), esses compostos fenólicos são metabólitos secundários das plantas responsáveis por atividades anti-inflamatórias e antioxidante. Entretanto, (MARTINS, 2016) encontrou uma concentração de 80,680c  $\pm$  3,248 mg EAG g<sup>-1</sup> a qual é quase o dobro da encontrada neste trabalho. Contudo, os resultados obtidos por Martins podem ser explicados pelo estado físico da planta utilizada. É sabido que existem condições ideais como horário, época do ano e tempo de estocagem antes do processo de secagem que influenciam diretamente na concentração final dos compostos fenólicos totais da planta (ALMEIDA et. al., 2020).

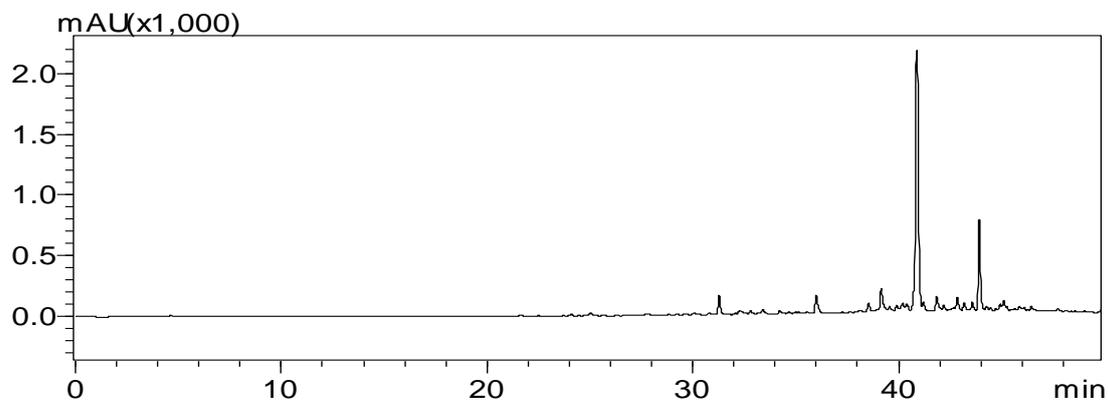
Identificação do ácido cafeíco: Para a identificação do sucesso do método adotado para a separação do AC dos demais compostos usou-se a técnica de HPLC para confirmar a extração do isolamento do ácido cafeíco na fração butanoica. A Figura 1 mostra o cromatograma de HPLC de separação do ácido cafeíco na fração butanoica. Já a Figura 2 demonstra a sua ausência na fração clorofórmica.

Figura 1. Cromatograma de HPLC demonstra o pico de eluição do ácido cafeíco entre 5 e 10 minutos.



Fonte: Autor (2024)

Figura 2. Cromatograma de HPLC mostrando a ausência dos picos do ácido cafeíco na fração clorofórmica da coluna com o tempo de eluição de até 40 minutos

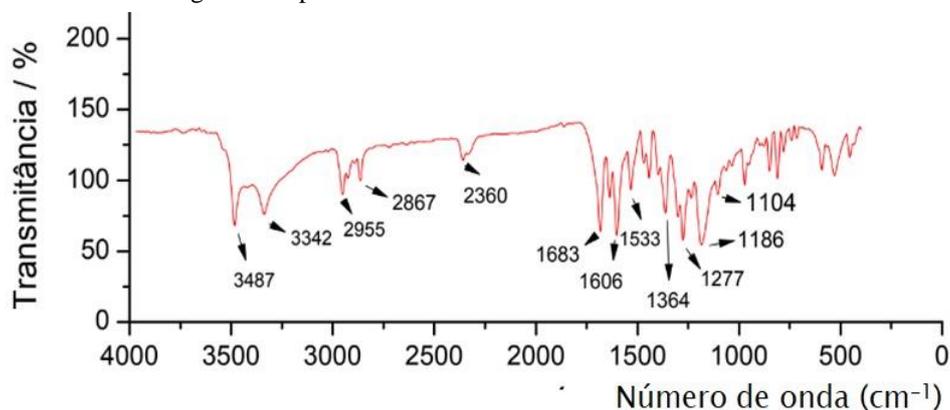


Fonte: Autor (2024)

Na Figura 1 percebe-se claramente a eluição do AC pela coluna no intervalo de 5 e 10 minutos, conforme está demonstrado pelos picos apresentados neste intervalo de tempo. Já na Figura 2 consegue-se observar a ausência de qualquer pico nesse mesmo intervalo para a fração clorofórmica do EHA, o que indica a ausência do AC na mesma, o que já era esperado devido a afinidade química do AC com o butanol e a não afinidade com o clorofórmio.

Caracterização do aditivo por FTIR - Após cinco horas de aquecimento, seguidas de extração, neutralização e lavagem foi obtido um sólido marrom cujos modos vibracionais no infravermelho estão apresentados na Figura 3.

Figura 3. Espectro FTIR do Cafeato de n-butila sintetizado



Fonte: Autor (2024)

O espectro FTIR do composto revelou picos característicos como um pico em 1683  $\text{cm}^{-1}$  que indica a vibração de estiramento da ligação C=O e os picos em 1277 e 1186  $\text{cm}^{-1}$  indicam a presença de estiramento C-O que é específico de ésteres. A presença de picos no espectro FTIR em 1606 e 1533  $\text{cm}^{-1}$  mostram a presença de ligação dupla de carbono de anel aromático. A presença de picos nítidos em 3487 e 3342 foi atribuída ao alongamento de hidroxila ligada ao anel aromática. Tais dados espectrais de FTIR concordaram com dados previamente relatados para Cafeato de butila (ARAÚJO et al., 2019) e (WONDATIR, 2008).

Atividade antioxidante por DPPH: Conforme metodologia apresenta foi possível obter percentual de inibição de oxidação do radical livre de DPPH para cada concentração de aditivo testado. Os testes foram feitos em triplicata e calculado o desvio padrão, os quais apresentaram valores muito próximo a zero. Com isso, foi possível encontrar a concentração eficiente para inibição de 50% (IC50) através de regressão.

Observa-se que o aditivo TBHQ atingiu o pico de inibição de oxidação na concentração de 10 ppm, já o AMCB começou a atingir a inibição máxima na concentração de 32 ppm e apresentando uma constante até concentração de 100 ppm, a mesma que o ACCOMERCIAL. Já o ACEXTRAÍDO na concentração de 100 ppm apresentou taxa de inibição bem abaixo da obtida pelo ACCOMERCIAL, isso pode ser explicado pela presença de interferentes químicos residuais do processo de separação.

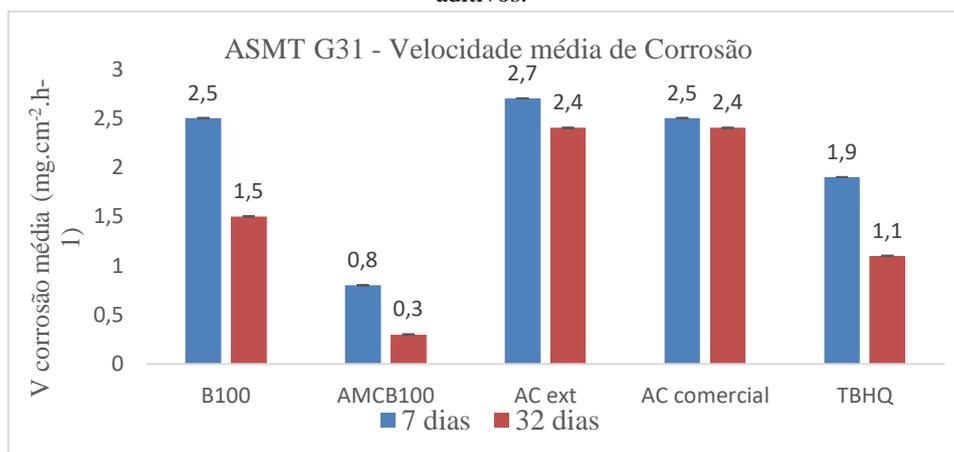
A concentração de antioxidante capaz de inibir 50% do DPPH (0,01mM). Para tanto foi construída uma curva analítica de % de inibição em função da concentração, pois cada curva de inibição gera uma equação da reta que pode se calcular o valor de IC50.

Estão demonstradas as equações das curvas analíticas e seus respectivos valores de IC50 além dos valores de R2, dados que estão em sintonia, pois de forma geral o aditivo sintético TBHQ foi o composto com maior taxa de inibição nas concentrações analisadas e o que apresentou o menor valor de IC50 (4,88 ppm) o que o classifica como um excelente antioxidante, seguido por AMCB porém, com o dobro de IC50 obtida pelo TBHQ, o ACCOMERCIAL, 20,47 ppm, valor duas vezes maior do obtido pelo AMCB e, por último o ACEXTRAÍDO com um valor de IC50 de 44,34 ppm. Também é importante mencionar que a atividade antioxidante do AMCB não foi prejudicada pela reação de esterificação, pelo contrário apresentou uma melhora, pois a partir dos valores de IC50 obtidos para o AMCB e

ACCOMERCIAL percebeu-se que o AMCB apresentou o dobro da atividade antioxidante do ACCOMERCIAL.

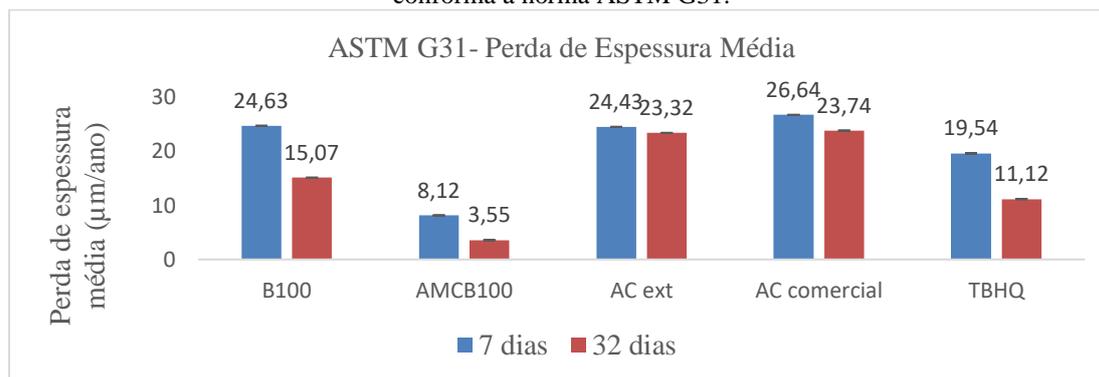
Ensaio de gravimétrico – ASTM G31: Foi testado a concentração do AMCB100 com maior taxa de inibição de oxidação, 100 ppm nos ensaios de perda de massa com a finalidade de se observar a relação desta concentração com a inibição de corrosão do biodiesel ao cobre. Os resultados de velocidade de corrosão média e o teste gravimétrico do cobre totalmente imerso em biodiesel com e sem aditivos podem ser mais bem observados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Resultados de velocidade de corrosão média do cobre imerso totalmente em biodiesel com e sem aditivos.



Fonte: Autor (2024)

Figura 5: Resultados de perda de espessura do cobre totalmente imerso em biodiesel com e sem aditivo, conforma a norma ASTM G31.



Fonte: Autor (2024)

As Figuras 4 e 5 acompanha-se o comportamento da corrosão do cobre a partir dos valores de velocidade de corrosão média ( $V_{\text{corrosão}}$ ) e consequentemente, perda de espessura média. Na relação da  $V_{\text{corrosão}}$  com o tempo de imersão, 7 dias e 32 dias notou-se o comportamento esperado para cada um dos 5 ensaios, pois ocorreu uma desaceleração dessa taxa quando comparado diretamente os dois tempos de imersão, esse fator ocorre devido a formação de produtos de oxidação que atuam como protetor metálico junto ao cobre, o que diminuí essas taxas conforme é relatado por Aquino, (2012). Já quando comparamos cada um dos ensaios aditivados com o B100 puro, percebe-se que o AMCB100 diminui significativamente a  $V_{\text{corrosão}}$  e perda de espessura média, pois ele apresentou uma diminuição dessas taxas em mais de 60% para o tempo de 7 dias e quase 80% para o tempo de 32 dias. O ensaio com TBHQ também apresentou atividade anticorrosiva em biodiesel com diminuição de

taxas de  $V_{\rightarrow M}$  de 21% e 17% para os mesmos tempos de imersão, embora o TBHQ possua o dobro da atividade antioxidante do AMCB100 não apresentou o mesmo perfil anticorrosivo que o mesmo, esse fator pode ser explicado quanto a solubilidade de ambos no B100, pois o AMCB100 é mais solúvel em meio orgânico além de ser um éster que preserva a característica anticorrosiva do AC em meio aquoso. O comportamento anticorrosivo do TBHQ mesmo que menor que o AMCB100 pode ser explicado por Serqueira e colaboradores, (2021) que afirma que além do mesmo proteger o biodiesel da oxidação lipídica ainda se comporta como um quelante metálico.

Agora, o comportamento apresentado pelo ACCOMERCIAL e ACEXTRAÍDO foram muito semelhantes e bem próximo ao valor obtido pelo ensaio realizado com B100 sem aditivo, sendo que os valores de  $V_{\rightarrow M}$  para os três ensaios ficaram praticamente iguais no tempo de 7 dias de imersão do cobre, entretanto quando se compara os mesmos ensaios no tempo de 32 dias não se observou uma diminuição dessas taxas em comparação ao tempo de 7 dias como ocorreu para o AMCB100 e TBHQ, sendo que apenas os ensaios com B100 não aditivado e com AMCB100 apresentaram o comportamento esperado, ou seja, uma diminuição significativa da massa e perda de espessura média no tempo de 32 dias em comparação com o tempo de 7 dias.

## Conclusões

A partir dos resultados apresentados pode-se, portanto, concluir que:

- O EHA de chapéu-de-couro apresentou uma concentração menor de CFT quando confrontado com a literatura;
- A separação do AC ocorreu de forma satisfatória na fração butanoica como foi demonstrado pelos cromatogramas apresentados;
- A esterificação do ACCOMERCIAL ocorreu com sucesso o que foi demonstrado a partir dos dados de FTIR apresentados;
- O aditivo TBHQ foi o que apresentou maior capacidade antioxidante diante de todos os analitos testados, porém todos os compostos analisados apresentaram uma boa capacidade antioxidante pois ficaram com valores de IC50 abaixo de 250 ppm e;
- Os compostos que apresentaram melhor atividade anticorrosiva ao cobre imerso em B100 foi o AMCB100 e TBHQ, sendo que as maiores reduções da  $V_m$  e perda de espessura média foram obtidas pelo AMCB100. Já os AC apresentaram valores de  $V_m$  muito semelhante as apresentadas pelo ensaio com B100 não aditivado, porém não apresentou uma diminuição dessas taxas do tempo de 7 dias para 32 dias como ocorreu com todos os outros três ensaios.

## Agradecimentos

Ao Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH 54.1) com gestão da FINEP, ao Laboratório de Química e Interfaces de Materiais (LIM) bem como todos os seus integrantes, ao Laboratório de Química de Produtos Naturais (LPQN), na pessoa da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Claudia Quintino Rocha, à Central Analítica da UFMA pelas análises de HPLC, ao Laboratório de Biocombustíveis do Instituto Federal do Maranhão – Campus de Zé Doca na pessoa do Prof. Dr<sup>o</sup> José Sebastião Cidreira Vieira pelo biodiesel de soja cedido para realização do trabalho, ao NCCA pela síntese do cafeato de butila e pelas medidas de FTIR.

## Referências

- ALBRECHT, Ingrid. Identificação de metabólitos secundários em extrato aquoso de *phyllanthus niruri l.* com ação no processo de formação de cristais de oxalato de cálcio. 2014.
- ALMEIDA, Raphael Lucas et al. Physicochemical composition of cookies added with red rice residues. . Research, Society and Development, v. 9, n. 1, p. e151911852-e151911852, 2020.
- ANDERSON, Assaid et al. Characterization of phenolic compounds, antioxidant and antibacterial potential the extract of acerola bagasse flour. Acta Scientiarum. Technology. p. 143-148. 2017. Disponível em: <https://go-gale.ez14.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?p=AONE&u=capes&id=GALE|A500607502&v=2.1&it=r>. Acesso em: 05 abr. 2021.
- ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução Anp Nº 50, de 23.12.2013. Disponível em: [http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2013/dezembro/ranp%2050%20-%202013.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2013/dezembro/ranp%2050%20-%202013.xml). Acesso em: 07 fevereiro 2021.
- AQUINO, Isabella Pacífico. Avaliação da corrosividade do biodiesel por técnicas gravimétricas e eletroquímicas. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ALBUQUERQUE, Bruna BAF; ALVES, Salete Martins. DESENVOLVIMENTO DE UM ADITIVO MULTIFUNCIONAL PARA BIODIESEL. In: XXVI Workshop do PRH44. 1 em Petróleo, Gás e Biocombustíveis 27 a 29 de julho de 2021 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. p. 33.
- ARAUJO, M. O., Pessoa, H. L. F., Lira, A. B. , Castillo, Y. P., e de Sousa, D. P. Synthesis, Antibacterial Evaluation, and QSAR of Caffeic Acid Derivatives. Journal of Chemistry, Volume 2019, Article ID 3408315, 9 pages. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2019/3408315>.
- ASSIS, M. L. V. Determinação do potencial antioxidante e quantificação de compostos fenólicos por CLAE em acessos de *Capsicum baccatum var. pendulum*. 2014. Tese de Doutorado. Master's thesis, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes.
- BILICH, Feruccio et al. Análise multicriterio da produção de biodiesel. Simpep, Bauru, SP, p. 1-7, 06 nov. 2006. Disponível em: [https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_13/artigos/635.pdf](https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/635.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.
- BOYARSKI, Daiara Rakeli Simão et al. COMPARAÇÃO DO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTES DE EXTRATOS AQUOSOS COMERCIAIS DE *ILEX PARAGUARIENSIS* SAINT HILLAIRE. Revista Cereus, v. 12, n. 1, p. 264-280, 2020.
- COSTA-SINGH, Tainara; BIITENCOURT, Thiago Bergler; JORGE, Neuza. Caracterização e compostos bioativos do óleo da castanha-de-cutia (*Couepia edulis*). Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 71, n. 1, p. 61-68, 2012.
- DUARTE, Jair et al. IMPACT OF THE USE OF ADDITIVES ON THE CONSERVATION AND EFFICIENCY OF DIESEL COMBUSTION. Blucher Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 101-113, 2014.
- FAZAL, MA et al. Efeito dos antioxidantes na estabilidade e corrosividade do biodiesel de palma após a exposição de diferentes metais. Energy. Kuala Lumpur, Malásia, p. 220-226. 15 set. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez14.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S036054421731126X?via%3Dihub#!>. Acesso em: 05 abr. 2021
- JEONG, Chang-Ho et al. Efeitos neuroprotetores e antioxidantes do ácido cafeico isolado da folha de *Erigeron annuus*. Medicina Chinesa , v. 6, n. 1, pág. 1-9, 2011.
- MARTINS, Uilly Etelvina Costa. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE ESPÉCIES DE PLANTAS UTILIZADAS NA MEDICINA POPULAR BRASILEIRA. 2016. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.
- MATSUOKA, Sizuo et al. Bioenergia da cana. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool, v. 2, p. 487-517, 2012.
- MEINHART, Adriana Dillenburg et al. Teores de isômeros de ácido clorogênico em 100 plantas comercializadas no Brasil. Food Research International, v. 99, p. 522-530, 2017.
- OLIVEIRA, E. P. et al. Investigação do teor de água no Biodiesel utilizado na composição do Diesel B comercializado por uma distribuidora de combustíveis em Manaus/AM. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 9, p. 89663-89680, 2021.



PULLEN, James; SAEED, Khizer. Uma visão geral da estabilidade à oxidação do biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 8, pág. 5924-5950, 2012.

SANDERSON, J. Thomas; CLABAULT, Hélène; PATTON, Cody; LASSALLE-CLAUX, Grégoire; JEAN-FRANÇOIS, Jacques; PARÉ, Aurélie F. Antiproliferative, antiandrogenic and cytotoxic effects of novel caffeic acid derivatives in LNCaP human androgen-dependent prostate cancer cells. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, Moncton - Canadá, v. 1, n. 1, p. 1-2, 27 ago. 2013.

SANTOS, José Aparecido da Silva et al. Study of the antioxidant potential of *Anacardium occidentale* L. and determination of its phenolic compounds. *Diversitas Journal*. p. 455-474. 01 set. 2018. Disponível em: <https://doaj.org/article/bbe04757eaa4535822586a93916321a>. Acesso em: 05 abr. 2021

SERQUEIRA, Dalyelli S. et al. Estabilidade oxidativa e corrosividade do biodiesel produzido a partir de óleo de cozinha residual exposto a cobre e aço carbono em condições simuladas de armazenamento: duplo efeito de antioxidantes. *Energias Renováveis*, v. 164, p. 1485-1495, 2021.

SOUZA, FS de et al. O ácido cafeico como um inibidor de corrosão verde para aço macio. *Corrosion Science*. Florianópolis, Sc, p. 642-649. 01 mar. 2009. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez14.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0010938X08005301?via%3Dihub>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SUNDUS, F.; FAZAL, MA; MASJUKI, HH Tribologia com biodiesel: Um estudo sobre como melhorar a estabilidade do biodiesel e suas propriedades de combustível. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 70, p. 399-412, 2017.

WATERHOUSE, A. (2018). Folin-Ciocalteu micro method for total phenol in wine. 2012. Accessed on January 5.

WONDATIR, A. Synthesis, Antibacterial and Antioxidant Activities of Caffeic Acid Esters. Thesis master's in chemistry (Synthetic Organic Chemistry). Adama Science and Technology University. 2018. Adama