

Pesquisa Multidisciplinar EM SAÚDE

EDIÇÃO XXII

Capítulo 42

SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO ÓLEO ESSENCIAL E HIDROLATO DE *LAVANDULA DENTATA* L.

KELWYN FRANCISCO GALVÃO DE LIMA¹
DANIEL BRUSTOLIN LUDWIG²

1. Discente – Farmácia Centro Universitário Guairacá – UNIGUAIACÁ.

2. Docente – Departamento de Farmácia Centro Universitário Guairacá – UNIGUAIACÁ; Docente – Departamento de Farmácia Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO.

Palavras-chave: Nanotecnologia; Síntese Verde; Óleo Volátil.

DOI

10.59290/1500600248

EP EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, foi observada uma crescente preferência pela síntese verde de nanopartículas metálicas (mNPs) (MAŤÁTKOVÁ *et al.*, 2022), como as de prata (AgNPs), ouro (AuNPs), platina (PtNPs) e cobre (CuNPs) (KUMAR *et al.*, 2021). As mNPs tem aplicações em vários campos, como na biotecnologia, engenharia civil, indústria têxtil, eletrônicos, engenharia ambiental, produtos farmacêuticos e no tratamento de água e efluentes (LATA, 2018). A nanopartícula de prata recebe um destaque importante, pois pode servir como agente antimicrobiano, agredindo a parede celular das bactérias impedindo sua respiração celular e consequentemente, a sua replicação (PAL *et al.*, 2007).

As AgNPs não são tóxicas aos seres humanos se estiverem em baixas concentrações, porém, se expostas excessivamente, pode ocorrer uma bioacumulação no organismo (BENEDITO *et al.*, 2017), mesmo mostrando características positivas, um dos fatores que limitam sua aplicabilidade é a utilização de agentes químicos potencialmente tóxicos em sua síntese convencional, como por exemplo o borohidreto de sódio (NaBH₄) que é utilizado como agente redutor (EISING *et al.*, 2011), dessa forma, concentrou-se interesse na síntese verde, utilizando extratos, óleos essenciais e subprodutos a base de plantas como agentes redutores e estabilizadores (POPA *et al.*, 2021; VILAS *et al.*, 2014), essas matrizes são muitas vezes ricas em compostos fenólicos, terpenos, flavonoides e outras substâncias que possuem diversas propriedades, como a capacidade antioxidante, que atuam de maneira importante na redução de Ag⁺ para Ag⁰, sintetizando assim as AgNPs (VILAS *et al.*, 2014).

A *Lavandula dentata* L. é um subarbusto aromático, de grande ramificação com flores

azuladas nos picos, sua principal característica de identificação são suas bordas com contornos “dentados” (BIASI *et al.*, 2009). O cultivo dessa planta tem como principal destino comercial a extração de óleos voláteis utilizados em aromaterapia (IMELOUANE *et al.*, 2009), os constituintes fitoquímicos mais abundantes são monoterpenos oxigenados e hidrocarbonados como o 1,8 cineol, fenchona, fenchol e cânfora, seguidos dos sesquiterpenos (FIGUEIREDO; MORAIS, 2019), dessa forma, seu óleo essencial apresenta propriedades antimicrobianas devido à sua composição química (MARTINS *et al.* 2018), outra substância de grande importância encontrada nessa espécie é o ácido rosmarínico, que é um composto fenólico importante para redução de sais metálicos (PEREIRA *et al.*, 2019).

Durante o processo de destilação por arraste a vapor de plantas medicinais e aromáticas, os óleos essenciais são levados pelos vapores de água e, ao passar pelo condensador, uma mistura de água e óleo essencial é coletada. Após a separação, são obtidas duas fases, o óleo essencial e o hidrolato (STAHL-BISKUP; SAEZ, 2002).

Enquanto os óleos essenciais representam misturas complexas de monoterpenos e sesquiterpenos, seus hidrolatos correspondentes são compostos de 99% água (LABADIE *et al.*, 2015; ŠILHA *et al.*, 2020).

Os terpenos, são um pouco mais solúveis em água, e impregnam o hidrolato com seu aroma específico (AAZZA *et al.*, 2011; MARTÍNEZ-GIL *et al.*, 2013). Industrialmente, os hidrolatos são considerados subprodutos de menor valor, e podem ser descartados (GARZOLI *et al.*, 2020; MARTÍNEZ-GIL *et al.*, 2013), ou servir em aplicações alimentícias e cosméticas (PAOLINI *et al.*, 2008).

Levando em consideração que as plantas medicinais e aromáticas são utilizadas até hoje

por seus compostos bioativos (MOISA *et al.*, 2018), a compreensão e o uso de subprodutos como hidrolatos (POPA *et al.*, 2021), é promissora para uma síntese verde de mNPs. Portanto, o objetivo do presente estudo foi utilizar o óleo essencial e o hidrolato de *Lavandula dentata* L. contendo traços de óleo essencial dissolvidos, na tentativa de mediar a redução de sais de prata para síntese verde de AgNPs.

MÉTODO

As amostras de *Lavandula dentata* L. foram obtidas de um produtor local, na região de Guarapuava-Pr, a extração do óleo essencial juntamente com o hidrolato ocorreu em uma oficina de extração de óleos essenciais, que foi ofertada durante uma semana acadêmica do curso de farmácia no Centro Universitário Guairacá.

Algumas vidrarias, equipamentos e reagentes de grau analítico foram disponibilizados pela instituição, juntamente com os laboratórios para as análises.

Preparo da amostra

Utilizou-se a planta inteira para a extração de seu óleo essencial e hidrolato, a metodologia utilizada foi a destilação por arraste a vapor de água, em escala laboratorial. As amostras de *Lavandula dentata* L. foram colocadas no destilador e o equipamento ficou em funcionamento durante 1 hora, com um béquer de 1 L como recipiente para o produto da destilação. Após a extração, utilizou-se um funil de separação para abstrair o óleo essencial do hidrolato por densidade. Uma alíquota do hidrolato e do óleo essencial foram separados e armazenados sob refrigeração a 3 °C e com proteção contra luz.

Preparo da solução de nitrato de prata

As soluções de nitrato de prata (AgNO_3) foram utilizadas nas concentrações de 0,31

mmol.L^{-1} e 0,1 mmol.L^{-1} , sendo preparadas pela dissolução da massa correspondente do sal de prata, pesado em balança analítica e solubilizado em água deionizada, as amostras foram acondicionadas em balão volumétrico de 100 mL.

A solução foi preparada no momento de sua utilização e quando necessário foi mantida armazenada em abrigo da luz. Após o preparo, as soluções de AgNO_3 tiveram seu pH ajustado para 8 com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol.L^{-1} , utilizando um pHmetro portátil (modelo: TCP mPA 210p) para a verificação.

Síntese de nanopartículas de prata utilizando hidrolato

Inicialmente, para testar se o hidrolato teria capacidade de reduzir os íons de prata em solução, utilizou-se de um banho termostático a 100 °C, e com uma proporção de 1 mL da solução de nitrato de prata 0,3 mmol.L^{-1} para 1 mL de hidrolato, a mistura foi adicionada em um tubo de ensaio e colocada em aquecimento por 10 min, para observar mudança na coloração da mistura.

Após o teste inicial, utilizou-se a metodologia descrita por Ciurel *et al.* (2021), 30 mL de solução de AgNO_3 na concentração de 0,1 mmol.L^{-1} com pH 8 foi colocada em chapa de aquecimento com agitador magnético sendo agitada vigorosamente, e aquecida até atingir uma faixa de 90 a 100 °C, após atingir a temperatura, adicionou-se gota a gota 2 mL do hidrolato na solução e marcou-se 10 minutos. O produto da reação foi então transferido para outro agitador magnético por 20 minutos sem aquecimento. Nessas condições, a biorredução foi monitorada em varredura na faixa de $\lambda = 300\text{-}800$ nm utilizando um espectrofotômetro UV-Vis (modelo: Molecular Devices Spectra MAX 190).

Síntese de nanopartículas de prata utilizando óleo essencial

Para a síntese com óleo essencial puro, utilizou-se a metodologia descrita por Vilas *et al.* (2014) com algumas alterações. Dessa forma, 30 mL de solução de AgNO_3 em concentração de $0,31 \text{ mmol.L}^{-1}$ e pH 8 foi colocada em chapa de aquecimento com agitador magnético, sendo agitada vigorosamente, e aquecida até atingir a uma faixa de 90 a 100°C , após atingir a temperatura, adicionou-se gota a gota 2 mL de uma solução de acetona e óleo essencial, sendo 1 parte de óleo essencial de *Lavandula dentata* L. para 170 de acetona PA (1:170), permanecendo em constante temperatura e agitação por 30 minutos. O produto da reação foi então transferido para outro agitador magnético em temperatura ambiente por mais 20 minutos, o produto foi então monitorado por espectrofotômetro UV-Vis em modo varredura de $\lambda = 300\text{-}800 \text{ nm}$.

Espectroscopia UV-Vis

A análise de espectroscopia no UV-Vis foi utilizada para a verificação da formação das nanopartículas de prata através de um aparelho espectrofotômetro (modelo: Molecular Devices – Spectra MAX 190) em modo de varredura, num intervalo de comprimento de onda de 300 a 800 nm, onde as amostras foram acondicionadas em microplacas poliméricas (poliestireno). A análise foi realizada no Centro Universitário Guairacá.

Utilizando uma micropipeta de 200 microlitros e ponteiros descartáveis, transferiu-se o produto das sínteses para a microplaca, sendo feita a anotação da posição de cada uma das amostras e utilizando três poços para cada análise. A solução de nitrato de prata correspondente das amostras foi utilizada como branco.

Logo, as metodologias de síntese foram analisadas para obtenção da banda de ressonân-

cia de plasmon de superfície (SPR) para analisar os resultados e comparar com a literatura para averiguar a formação de nanopartículas de prata.

Análise de Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS)

As análises de tamanho de partícula (*Z-Average size*) e índice de polidispersão (PDI) foram realizadas no Centro de Ciências Moleculares e Nanotecnologia (CCMN) UNICENTRO, utilizando um equipamento *Zetasizer Nano series* (Malvern Instruments). As amostras que utilizavam óleo essencial puro tiveram que ser diluídas em água destilada para as análises devido à densidade e viscosidade da solução.

Resíduos experimentais

Apesar do presente trabalho abordar uma síntese verde, ainda há resíduos gerados nos procedimentos experimentais, as soluções preparadas de nitrato de prata que não foram utilizadas em experimento foram descartadas em um recipiente separado pela responsável do laboratório da instituição de ensino, para receber um destino adequado, nenhuma solução preparada durante os procedimentos experimentais foi descartada em tubulação de esgoto comum. O uso da acetona PA foi controlado devido ao controle especial da Polícia Federal, dessa forma, o volume utilizado foi imediatamente informado para a responsável pelo laboratório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste inicial citado no tópico da síntese de nanopartículas de prata utilizando hidrolato se baseia na observação da mudança da cor da solução de nitrato de prata quando entra em contato com o hidrolato nas mesmas proporções (1:1), o resultado obtido foi uma coloração amarela, sendo uma evidência importante para

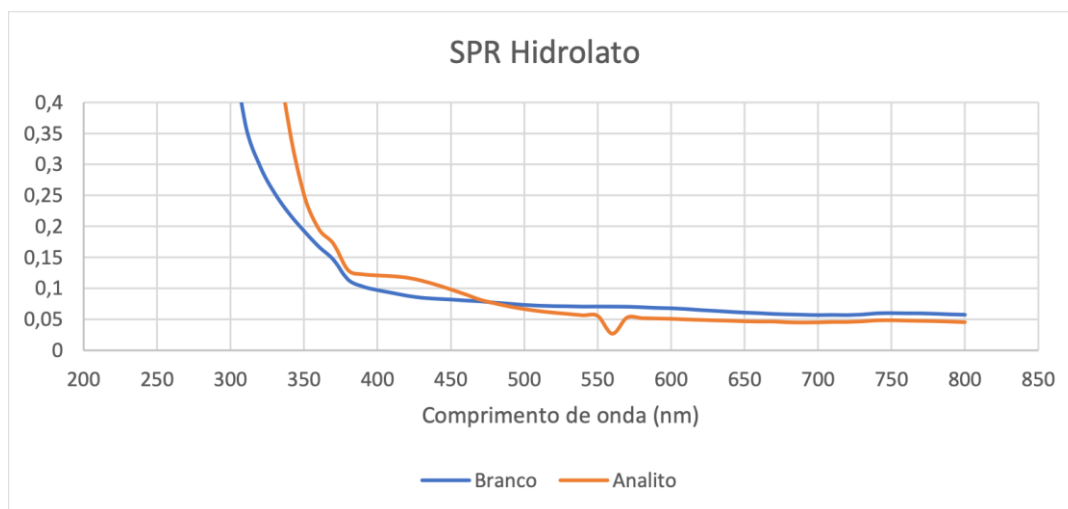
prosseguir com os experimentos, pois a mudança na cor da solução indica a redução dos íons de prata (CIUREL *et al.*, 2021).

Síntese utilizando hidrolato de *Lavandula dentata* L.

A metodologia principal de síntese possibilitou a obtenção de uma solução amarelada característica, que sugere a formação de nanopartículas de prata (CIUREL *et al.*, 2021), a solução de nitrato de prata 0,1 mmol.L⁻¹ teve seu pH

alterado para 8 para se aproximar do pH de sistemas biológicos (pH 7,4) (MACIEL, 2019), um aumento no pH do meio reacional também é citado em outros estudos (CIUREL *et al.*, 2021; MACIEL, 2019; VILAS *et al.*, 2014), após a análise organoléptica da coloração da solução obtida, a amostra foi analisada por espectroscopia no UV-Vis para obtenção das bandas SPR características da AgNPs, os resultados são expostos na **Figura 42.1**.

Figura 42.1 Representação das bandas de SPR para AgNPs obtidas do hidrolato de *Lavandula dentata* L.



Síntese utilizando óleo essencial de *Lavandula dentata* L.

A metodologia utilizada resultou em uma amostra com uma coloração amarelo-escura, diferente da amostra obtida com o hidrolato, a **Figura 42.2** mostra uma comparação entre os dois produtos de reação. A solução de nitrato de prata 0,3 mmol.L⁻¹ teve seu pH alterado para 8 para se aproximar de sistemas biológicos, da mesma forma que na síntese com o hidrolato.

Esta amostra foi também analisada por espectroscopia no UV-Vis em modo varredura para obtenção das bandas SPR características da AgNPs, da mesma maneira que ocorreu com a amostra citada anteriormente, os resultados nessas condições são expostos na **Figura 42.3**.

Análise dos resultados obtidos em UV-vis

Analisando os resultados obtidos, com a comparação das bandas SPR entre a amostra que contém óleo essencial puro e a amostra que contém hidrolato, as duas apresentaram perfis bastante semelhantes com relação ao pico de absorbância, ambos apresentaram um pico de intensidade de absorção máxima na faixa de 400 nm a 450 nm, indicando uma possível formação de nanopartículas de prata nas soluções. Porém, houve divergência no valor do pico de absorção no comprimento de onda citado, sendo mais forte na amostra com óleo essencial puro, apresentando absorbância máxima entre 0,7 e 0,8, enquanto, na amostra com hidrolato, os resultados de absorbância máxima apresentados ficaram entre 0,1 e 0,15.

Figura 42.2 Representação da coloração dos produtos obtidos

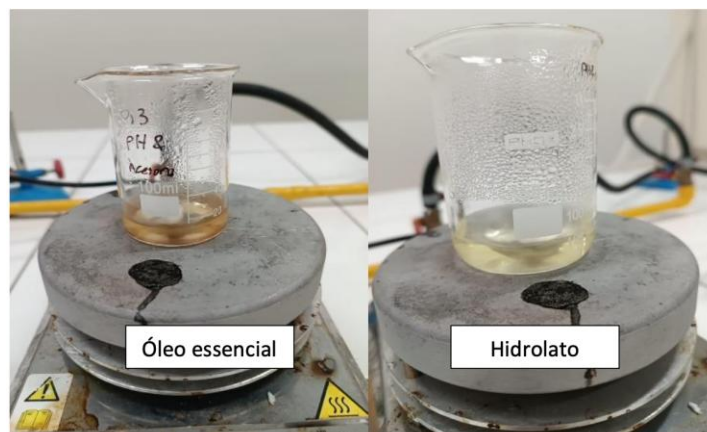


Figura 42.3 Representação das bandas de SPR para AgNPs obtidas do óleo essencial de *Lavandula dentata* L.



A divergência na cor da amostra e o resultado em UV-Vis, demonstrou que o óleo essencial provavelmente reagiu em maior escala e teve maior redução de íons de prata. Em contraponto, o hidrolato contendo óleo essencial residual também foi eficaz na redução dos íons e possivelmente na formação de nanopartículas.

Na comparação das bandas SPR entre o branco e o analito, as duas amostras apresentam perfis bastante evidentes com relação à diferença do pico de absorbância na solução contendo apenas nitrato de prata, e as soluções contendo hidrolato e óleo essencial como agentes redutores.

O perfil óptico da banda de SPR (*surface plasmon resonance*) está ligado às características da AgNP, tais como a morfologia e dimensões das nanopartículas metálicas, a concentração de íons metálicos, a quantidade de extrato e o tipo de compostos orgânicos presentes na matriz vegetal. Em termos gerais, as nanopartículas esféricas de prata apresentam um pico de SPR em torno de 436 nm (DONG *et al.*, 2017). Esses autores também mencionam uma absorbância na região de 425 nm para AgNP com tamanhos variando de 5 a 40 nm, quando assumem formas esféricas. Contrastando com esses resultados, também houve identificação de picos de SPR em aproximadamente 428 nm para AgNP com tamanho médio de 67,4 nm

(KHAMHAENGPOOL *et al.*, 2017). Por outro lado, uma síntese utilizando extrato de *Callian-dra haematocephala*, resultou em bandas SPR com picos em 414 nm (RAJA *et al.*, 2017). Estes dados reforçam a evidência de uma possível síntese de AgNPs utilizando óleo essencial de *Lavandula dentata* L. e seu hidrolato.

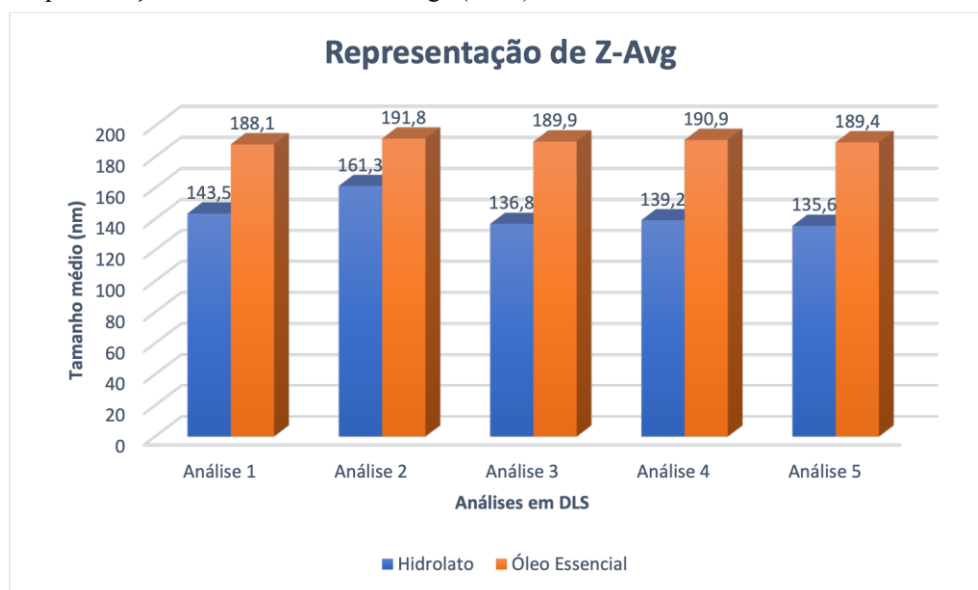
Análise dos resultados no Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS)

A caracterização do raio hidrodinâmico das partículas no DLS, para a amostra que utiliza o hidrolato como agente redutor, resultou tamanho médio de 143,2 nm com o índice de polidispersão (PDI) em 0,364. Já para a amostra que utiliza o óleo essencial como agente redutor, o resultado foi de 190 nm de tamanho médio e PDI de 0,250, valores de PDI inferiores a

0,4 indicam que as populações de partículas apresentam uma propensão à monodispersividade, o que significa que possuem uma distribuição de tamanho mais restrita (JADHAV *et al.*, 2016). Possíveis agregados de partículas podem ter sido detectados, explicando os tamanhos elevados das partículas.

Levando em conta os resultados das análises, pode-se afirmar que houve formação de partículas em escala nanométrica, já que os dados de PDI tiveram valor inferior a 0,4 indicando que a maioria das partículas apresentaram um tamanho médio semelhante, e em todas as análises, mais de 90% das partículas dispersas na solução estavam em escala nanométrica e com valores semelhantes. O **Gráfico 42.1** representa os resultados obtidos nas análises realizadas sem valor médio.

Gráfico 42.1 Representação dos valores de Z-Average (d.nm)



Análise geral da síntese de nanopartículas induzido pelo óleo essencial e hidrolato

Levando em consideração que a destilação por arraste a vapor de água ainda é o método mais utilizado para obtenção de óleos essenciais, uma grande quantidade de hidrolato acaba sendo gerada no processo. A composição química desse hidrolato está fortemente ligada ao

óleo essencial e o principal fator que influencia a distribuição dos compostos no hidrolato é sua polaridade (LABADIE *et al.*, 2015; POPA *et al.*, 2021). Dessa forma, os principais compostos do óleo essencial de *Lavandula dentata* L. são terpenos, porém podem ser encontrados compostos fenólicos como o ácido rosmarínico

(PEREIRA *et al.*, 2019). Os compostos fenólicos são doadores de hidrogênio com potencial redutor da prata em solução (MACIEL, 2019). Dessa forma o óleo essencial e seu hidrolato correspondente tem uma alta quantidade de substâncias que apresentam potencial para síntese verde de nanopartículas de prata (FIGUEIREDO; MORAIS, 2019).

CONCLUSÃO

O óleo essencial e seu respectivo hidrolato apresentaram resultados satisfatórios na biorredução dos íons de prata em solução e foram eficientes na síntese verde de nanopartículas de prata, tendo sua ação confirmada pela técnica de espectroscopia UV-Vis e caracterização do raio hidrodinâmico para AgNPs no aparelho de Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS), onde as partículas obtidas apresentaram escala nanométrica, sendo este um resultado inédito, já que não consta na literatura nenhuma síntese utilizando como substrato o óleo essencial e o hidrolato de *Lavandula dentata* L. são poucas as

referências de sínteses que utilizam óleos essenciais e utilizando hidrolato foi encontrado apenas uma referência.

São necessários estudos posteriores para otimizar o processo de síntese, a fim de obter partículas menores. Além disso, são necessários testes de estabilidade em solução e caracterização da morfologia das partículas, obtidas com técnicas mais sofisticadas. Em perspectivas futuras, é possível realizar pesquisas para avaliar ação antimicrobiana e capacidade antioxidante das nanopartículas sintetizadas, além de buscar novas formas de obter nanoestruturas de forma “limpa” utilizando biorredutores de origem vegetal, evitando substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente.

O presente estudo também abre possibilidade de buscar novas aplicações para resíduos industriais como o hidrolato, e abre possibilidade de levar a síntese verde de nanopartículas à sala de aula, já que, além de utilizar agentes redutores biológicos de fácil acesso, também conta com uma metodologia de síntese acessível para os alunos, facilitando o entendimento e desmistificação da nanotecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAZZA, S. *et al.* Antioxidant activity of some Moroccan hydrosols. *Journal of Medicinal Plants Research*, v. 5, p. 6688, 2011. doi: 10.5897/JMPR11.1176.
- BENEDITO, A. *et al.* Nanopartículas de prata: aplicações e impacto ambiental. *Revista Acadêmica Oswaldo Cruz*, v. 16, p. 4, 2017.
- BIASI, L.A. & DESCHAMPS, C., editores. *Plantas aromáticas do cultivo à produção de óleo essencial*. Curitiba: Layer, 2009.
- CIUREL, A. *et al.* Green synthesis and characterization of silver nanoparticles obtained from *Thymus vulgaris* L. hydro-lat. *Scientific and Technical Bulletin, Series: Chemistry, Food Science and Engineering*, v. 18, p. 28, 2021. doi: 10.62591/Scien.Tech.Bull-Chem.FoodSci.Eng.2021.18.05.
- DONG, C. *et al.* Wolfberry fruit (*Lycium barbarum*) extract mediated novel route for the green synthesis of silver nanoparticles. *Optik*, v. 130, p. 162, 2017. doi: 10.1016/j.ijleo.2016.11.010.
- EISING, R. *et al.* Development of catalytically active silver colloid nanoparticles stabilized by dextran. *Langmuir*, v. 27, p. 11860, 2011. doi: 10.1021/la2029164.
- FIGUEIREDO, A.R. & MORAIS, L.A.S. Composição química do óleo essencial de *Lavandula dentata* adaptada às condições climáticas do Brasil. XIX Semana Científica Johanna Döbereiner, 10-12 dez. 2019.
- GARZOLI, S. *et al.* Lavandula x intermedia essential oil and hydrolate: Evaluation of Chemical composition and antibacterial activity before and after formulation in nanoemulsion. *Industrial Crops and Products*, v. 145, 2020. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.112068.
- IMELOUANE, B. *et al.* Physico-chemical compositions and antimicrobial activity of essential oil of eastern Moroccan *Lavandula dentata*. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, v. 11, p. 113, 2009.
- JADHAV, K. *et al.* Green and ecofriendly synthesis of silver nanoparticles: characterization, biocompatibility studies and gel formulation for treatment of infections in burns. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, v. 155, p. 109, 2016. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2016.01.002.
- KHAMHAENGPO, A. & SIRI, S. Green synthesis of silver nanoparticles using tissue extract of weaver ant larvae. *Materials Letters*, v. 192, p. 72, 2017. doi: 10.1016/j.matlet.2017.01.076.
- KUMAR, J.A. *et al.* A focus to green synthesis of metal/metal based oxide nanoparticles: Various mechanisms and applications towards ecological approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 324, p. 129198, 2021. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129198.
- LABADIE, C. *et al.* Hydrosols of orange blossom (*Citrus aurantium*), and rose flower (*Rosa damascena* and *Rosa centifolia*) support the growth of a heterogeneous spoilage microbiota. *Food Research International*, v. 76, p. 576, 2015. doi: 10.1016/j.foodres.2015.07.014.
- LATA, S. Green chemistry based synthesis of silver nanoparticles from floral extract of *Nelumbo nucifera*. *Materials Today: Proceedings*, v. 5, p. 6227, 2018. doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.231.
- MACIEL, M.V.O.B. Síntese verde de nanopartículas de prata utilizando óleo essencial e aplicação em nanofibras obtidas por eletrofiliação [tese]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- MARTÍNEZ-GIL, A. M. *et al.* Lavandin hydrolat applications to Petit Verdot vineyards and their impact on their wine aroma compounds. *Food Research International*, v. 53, p. 391, 2013.
- MARTINS, R.P. Caracterização química e avaliação da atividade antimicrobiana de óleos essenciais de *Lavandula dentata* L. [dissertação]. Uberaba: Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2018.
- MAŤÁTKOVÁ, O. *et al.* Antimicrobial properties and applications of metal nanoparticles biosynthesized by green methods. *Biotechnology Advances*, v. 58, p. 107905, 2022. doi: 10.1016/j.biotechadv.2022.107905.
- MOISA, C. *et al.* Wastes resulting from aromatic plants distillation-bio-sources of antioxidants and phenolic compounds with biological active principles. *Farmacia*, v. 66, p. 289, 2018.
- PAL, S. *et al.* Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle?: a study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 73, p. 1712, 2007. doi: 10.1128/AEM.02218-06.
- PAOLINI, J. *et al.* Comparison of liquid-liquid extraction with headspace methods for the characterization of volatile fractions of commercial hydrolats from typically Mediterranean species. *Journal of Chromatography A*, v. 1193, p. 37, 2008. doi: 10.1016/j.chroma.2008.04.021.

PEREIRA, O.R. *et al.* Hepatoprotection of *Mentha aquatica* L., *Lavandula dentata* L. and *Leonurus cardiaca* L. Antioxidants, v. 8, p. 267, 2019. doi: 10.3390/antiox8080267.

POPA, C.L. *et al.* Chemical and Biochemical characterization of essential oils and their corresponding hydrolats from six species of the Lamiaceae family. Plants, v. 10, p. 2489, 2021. doi: 10.3390/plants10112489.

RAJA, S. *et al.* Green biosynthesis of silver nanoparticles using *Calliandra haematocephala* leaf extract, their antibacterial activity and hydrogen peroxide sensing capability. Arabian Journal of Chemistry, v. 121, 2015. doi: 10.1016/j.arabjc.2015.06.023.

ŠILHA, D. *et al.* Chemical composition of natural hydrolates and their antimicrobial activity on arcobacter-like cells in comparison with other microorganisms. Molecules, v. 25, p. 5654, 2020. doi: 10.3390/molecules25235654.

STAHL-BISKUP, E & SAEZ, F., editores. Thyme: the genus Thymus. London: CrC Press, 2002.

VILAS, V. *et al.* Catalytically and biologically active silver nanoparticles synthesized using essential oil. Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy, v. 132, p. 743, 2014. doi: 10.1016/j.saa.2014.05.046.