

BIOSSÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO EXTRATO DE AMORA-PRETA

J. B. Ghisleri¹, V. F. Glovacki¹, D. L. Mazur¹, E. R. L. R. Watanabe¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Brasil
(joanaghisleri@alunos.utfpr.edu.br)

A biossíntese de nanopartículas de prata (AgNPs) utilizando resíduos agroindustriais de amora-preta (*Rubus spp.*) destaca-se como alternativa sustentável aos métodos convencionais de síntese. Este estudo objetivou sintetizar AgNPs a partir de extrato aquoso do resíduo de amora-preta, avaliando seu potencial redutor e estabilizante. A formação das AgNPs foi confirmada pela alteração de coloração da solução, espectroscopia UV-Vis com pico em 432 nm e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Palavras-chave: biossíntese; nanopartículas de prata; amora-preta; compostos fenólicos; química verde.

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia é uma área em constante desenvolvimento, com aplicações em diferentes setores, como medicina, eletrônica, agricultura, catálise e preservação ambiental (FERREIRA; RANGEL, 2009). Nesse contexto, as nanopartículas de prata (AgNPs) destacam-se por suas propriedades físico-químicas diferenciadas, elevada razão superfície-volume, maior reatividade e amplo potencial tecnológico (DIAS et al., 2021).

Entre suas principais características das nanopartículas metálicas de prata está a Ressonância Plasmônica de Superfície (SPR), responsável por propriedades ópticas específicas e pela coloração característica das soluções coloidais (BERNARDO, 2020; FREIRE et al., 2023). Além disso, as AgNPs apresentam propriedades antimicrobianas, antioxidantes e catalíticas, sendo estudadas para aplicações nas áreas da saúde, cosméticos, embalagens, agricultura e preservação ambiental (BASHIR et al., 2025; SOUSA et al., 2024). Entretanto, seus efeitos dependem de fatores como tamanho, forma, concentração e estado de agregação, o que torna necessário o controle das condições de síntese (DURÁN et al., 2019).

Os métodos tradicionais de síntese de nanopartículas metálicas podem envolver reagentes tóxicos, alto consumo energético e geração de resíduos poluentes (ALMEIDA et al., 2021). Por isso, a síntese verde, ou biossíntese, surge como uma alternativa mais sustentável, utilizando organismos vivos ou seus extratos para reduzir íons metálicos e estabilizar as nanopartículas formadas (ALMEIDA et al., 2021).

Entre as alternativas biológicas, os extratos vegetais destacam-se pela disponibilidade, baixo custo e presença de compostos bioativos. Compostos fenólicos, flavonoides, proteínas, vitaminas e ácidos orgânicos podem atuar como agentes redutores e estabilizantes, favorecendo a formação das nanopartículas e evitando sua aglomeração (GOMES et al., 2020). Em especial, os compostos fenólicos são importantes por apresentarem elevada reatividade e atividade antioxidante, influenciando a formação, o tamanho e a estabilidade das partículas (SILVA et al., 2010; ROCHA et al., 2011).

Nesse cenário, a amora-preta (*Rubus spp.*) apresenta-se como uma matéria-prima promissora para a biossíntese de AgNPs, por ser rica em compostos bioativos, como antocianinas, flavonoides, compostos fenólicos e ácido elágico (ANTUNES et al., 2014; FREIRE et al., 2023). As antocianinas, especialmente a cianidina-3-glicosídeo, estão associadas à coloração característica da fruta e à sua elevada capacidade antioxidante (HIRSCH et al., 2012).

Assim, o uso de resíduos de amora-preta como fonte de compostos redutores e estabilizantes contribui para a valorização de subprodutos agroindustriais, substitui reagentes sintéticos por compostos naturais e se alinha aos princípios da química verde, da economia circular e da Política Nacional de Resíduos Sólidos (HIRSCH et al., 2012).

Diante disso, buscou-se desenvolver e caracterizar nanopartículas de prata por meio de biossíntese utilizando extrato aquoso de resíduo de amora-preta (*Rubus spp.*) como agente redutor e estabilizante. Busca-se também avaliar a presença de compostos

fenólicos e a atividade antioxidante do extrato, relacionando esses parâmetros à formação e estabilidade das AgNPs.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção do extrato vegetal

O extrato vegetal foi obtido a partir de resíduo de amora-preta (*Rubus spp.*), constituído por polpa previamente triturada e cascas. Inicialmente, o material foi submetido à secagem em estufa, com o objetivo de reduzir a umidade da amostra e favorecer sua conservação. Após a secagem, o resíduo foi triturado em liquidificador, a fim de aumentar a superfície de contato do material vegetal e facilitar a extração dos compostos bioativos presentes na matriz.

Em seguida, o material triturado foi peneirado em peneiras de mesh 20 e 32, obtendo-se partículas com dimensões entre aproximadamente 0,500 mm e 0,850 mm. Essa padronização granulométrica foi realizada para favorecer maior homogeneidade da amostra e melhorar a eficiência do processo de extração.

Para a preparação do extrato aquoso, utilizou-se a proporção de 1 g de amostra para 5 mL de água destilada. A mistura foi transferida para um Erlenmeyer e submetida a banho ultrassônico, modelo HXBuc, a 40 Hz e 50 °C, durante 1 hora. A etapa de ultrassom foi empregada para favorecer a liberação dos compostos presentes no resíduo vegetal para o meio aquoso, contribuindo para a obtenção de um extrato com potencial redutor e estabilizante.

Após a extração, a amostra foi filtrada inicialmente em papel filtro de 110 mm, com o objetivo de remover partículas maiores em suspensão. Em seguida, o filtrado foi submetido a três etapas adicionais de filtração em membranas de 0,22 µm, com auxílio de bomba a vácuo, visando obter um extrato mais límpido e adequado para a etapa de síntese. O extrato final foi armazenado em freezer a -18 °C até sua utilização. A metodologia foi baseada em procedimentos descritos para extração de compostos bioativos em matrizes vegetais, nos quais etapas como secagem, trituração, extração aquosa e uso de ultrassom favorecem a obtenção de compostos com atividade redutora e antioxidante (SHAHIDI; ZHONG, 2015; MOHARRAM; YOUSSEF, 2014).

Síntese e caracterização das nanopartículas de prata

Para a síntese das nanopartículas de prata (AgNPs), inicialmente o pH do extrato aquoso, originalmente ácido, foi ajustado para valores entre 6 e 7 utilizando solução de NaOH 0,1 mol/L. Esse ajuste foi realizado com o objetivo de favorecer as condições do meio reacional para a redução dos íons prata e formação

das nanopartículas. Após o ajuste de pH, o extrato foi diluído na proporção de 1:20 (v/v), transferido para um bquer e submetido a aquecimento com agitação constante até aproximadamente 70 °C.

Na sequência, adicionou-se, gota a gota, solução de nitrato de prata (AgNO_3) 0,31 mM ao extrato diluído, na proporção de 1:5 mL. A adição controlada foi realizada sob proteção da luz, a fim de evitar a precipitação prematura do sal de prata e favorecer a formação gradual das nanopartículas. Durante o gotejamento, a agitação foi reduzida gradualmente de vigorosa para branda, permitindo melhor controle do processo de nucleação e crescimento das partículas.

Durante a síntese, observou-se alteração progressiva da coloração da solução até tonalidade alaranjada, indicativa da possível formação de nanopartículas de prata. Após a adição do nitrato de prata, foi incorporada uma gota de Tween 80, com a finalidade de minimizar a aglomeração das nanopartículas e contribuir para a estabilidade da dispersão coloidal.

A solução obtida foi armazenada e posteriormente caracterizada por espectrofotometria UV-Vis, utilizando o equipamento Kusuaki IL-593-S, com o objetivo de identificar o pico característico associado à formação das AgNPs. A varredura espectrofotométrica permitiu verificar a presença da banda relacionada à Ressonância Plasmônica de Superfície (SPR), fenômeno típico de nanopartículas metálicas.

Após a confirmação espectroscópica, a amostra foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), para avaliação da morfologia e das dimensões das partículas formadas. As condições adotadas, como ajuste de pH, controle de temperatura, proteção contra luz, uso de agente estabilizante, mudança de coloração e análise por UV- Vis, são descritas na literatura como parâmetros relevantes para a formação e estabilidade de nanopartículas de prata obtidas por síntese verde (SAUVESUK et al., 2016; BRITO et al., 2022; SOUSA et al., 2024; MELO JR. et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A alteração da coloração da solução foi observada após aproximadamente cinco minutos de agitação branda, quando o meio reacional passou a apresentar uma tonalidade alaranjada, conforme demonstrado na Figura 1. Essa mudança visual representa um dos primeiros indícios da formação de nanopartículas de prata (AgNPs), pois está relacionada à redução dos íons Ag^+ presentes na solução para a forma metálica Ag^0 . À medida que esse processo ocorre, inicia-se a nucleação e o crescimento das partículas, resultando no desenvolvimento da ressonância plasmônica de

superfície, fenômeno óptico característico das nanopartículas de prata.



Figura 1. Solução com indicativo de formação de AgNPs.

A amostra foi submetida à análise de espectrofotometria UV-Vis, com varredura no intervalo de 300 a 600 nm. O espectro obtido apresentou pico de absorvância em 432 nm, conforme apresentado na Figura 2. Esse valor é compatível com a faixa associada à ressonância plasmônica de superfície (SPR) de nanopartículas de prata, corroborando a hipótese de formação das AgNPs. A presença desse pico indica que os compostos bioativos presentes no extrato aquoso de amora-preta atuaram na redução dos íons prata e favoreceram a formação das nanopartículas.

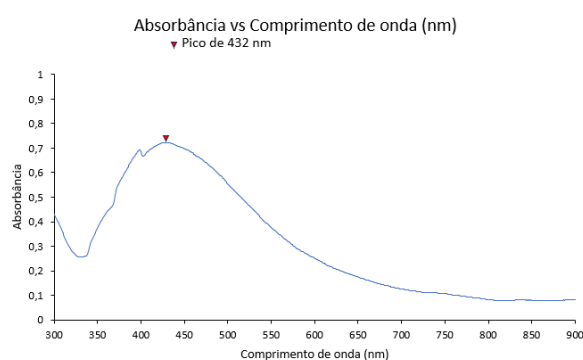


Figura 2. Espectro de absorvância UV-Vis da solução, com pico em 432 nm.

Com base na identificação do pico característico no espectro UV-Vis, procedeu-se à análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As imagens obtidas evidenciaram estruturas com morfologia compatível com nanopartículas, apresentando geometria semiesférica e raios variando entre 0,28 μm e 0,34 μm , conforme mostrado na

Figura 3. Esses resultados reforçam a hipótese de que o extrato vegetal atuou como agente redutor e estabilizante no processo de biossíntese das AgNPs.



Figura 3. Imagem de MEV da solução com indicativo de formação de AgNPs.

Na ampliação maior, apresentada na Figura 4, observou-se certa perda de nitidez e leve desfoque, possivelmente associados à limitação da resolução instrumental. Apesar disso, as imagens mantiveram padrões geométricos consistentes com a presença de estruturas particuladas, contribuindo para a confirmação morfológica do material obtido.

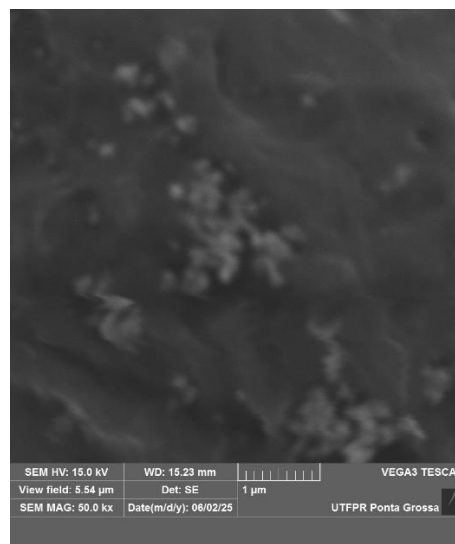


Figura 4. Imagem de MEV da solução com indicativo de formação de AgNPs em maior ampliação.

Assim, a associação entre a mudança de coloração da solução, a presença do pico em 432 nm no espectro UV-Vis e a caracterização morfológica por MEV indica a formação de nanopartículas de prata. Os

resultados sugerem que o extrato aquoso do resíduo de amora-preta apresenta potencial para atuar como agente redutor e estabilizante na síntese verde de AgNPs, contribuindo para o aproveitamento de resíduos agroindustriais em processos alinhados à nanotecnologia verde

CONCLUSÃO

O extrato aquoso obtido do resíduo de amora-preta apresentou potencial para atuar como agente redutor e estabilizante na biossíntese de nanopartículas de prata. A metodologia empregada mostrou-se simples, de baixo custo e compatível com os princípios da química e da nanotecnologia verde, uma vez que utiliza uma matriz vegetal renovável e contribui para a redução do emprego de reagentes químicos convencionais. Além disso, o aproveitamento desse resíduo agroindustrial agrega valor a um material que poderia ser descartado, favorecendo práticas associadas à sustentabilidade e à economia circular. Dessa forma, os resultados obtidos demonstram a viabilidade do uso do resíduo de amora-preta como matéria-prima alternativa para a produção de AgNPs.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela disponibilização de recursos e infraestrutura para o desenvolvimento da pesquisa e ao Centro de Caracterização Multiusuário em Pesquisa e Desenvolvimento de Materiais (C2MMA) pelas análises realizadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. F.; BENTES, J. L. S.; CORREA JUNIOR, A. Síntese de nanopartículas: revisão de literatura. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 4, n. 2, p. 53-69, mar./abr. 2021. DOI: 10.32406/v4n2/2021/53-69/agrariacad.
- ANTUNES, L. E. C. et al. Produção de amoreira-preta no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 100-111, mar. 2014. DOI: 10.1590/0100-2945-450/13.
- BASHIR, N. et al. Green-synthesized silver nanoparticle-enhanced nanofiltration mixed matrix membranes for high-performance water purification. **Scientific Reports**, v. 15, art. 1001, 2025. DOI: 10.1038/s41598-024-83801-w.
- BERNARDO, W. L. C. **Biossíntese (Green Synthesis): caracterização e ação antimicrobiana do extrato e das nanopartículas de prata (AgNPs) da semente, flor e folha de Syzygium cumini**. 2020. 80 f. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2020.
- BRITO, J. E. et al. Síntese verde e caracterização de nanopartículas de prata AgNP estabilizadas em extrato de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, e21611629051, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29051.

- DIAS, D. V. S. et al. Síntese verde de nanopartículas de prata utilizando extrato metanólico de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 42062-42072, abr. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n4-595.

- DURÁN, N. et al. Nanotoxicologia de nanopartículas de prata: toxicidade em animais e humanos. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 206-213, 2019. DOI: 10.21577/0100-4042.20170318.

- FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. C. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1860-1870, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000700033.

- FREIRE, G. P. M. et al. Concentração da atividade antioxidante e qualidade nutricional de amora-preta liofilizada antes do congelamento. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 6, e463372, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i6.3372.

- GOMES, D. M. D. et al. Síntese verde de nanopartículas de prata intermediada por fungo anamórfico e eficácia antibacteriana e antifúngica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 15, n. 2, p. 433-443, 2020. DOI: 10.46357/bcnaturais.v15i2.332.

- HIRSCH, Gabriela Elisa et al. Caracterização físico-química de variedades de amora-preta da região sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 5, p. 942-947, maio 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012005000021.

- MELO JR., M. A. et al. Preparação de nanopartículas de prata e ouro: um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino. **Química Nova**, v. 35, n. 9, p. 1872-1878, 2012. DOI: 10.1590/S0100-40422012000900030.

- MOHARRAM, H. A.; YOUSSEF, M. M. Methods for determining the antioxidant activity: a review. **Alexandria Journal of Food Science and Technology**, v. 11, n. 1, p. 31-42, 2014. DOI: 10.12816/0025348.

- ROCHA, W. S. et al. Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1215-1221, dez. 2011. DOI: 10.1590/S0100-29452011000400021.

- SAUVESUK, Luana et al. Síntese verde de nanopartículas de prata. In: CONGRESSO DA FOA-UNESP, 6., 2016, Araçatuba. **Archives of Health Investigation**, Araçatuba, v. 5, n. esp. 1, p. 206, 2016. DOI: 10.21270/archi.v5i0.1334.

- SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 757-781, 2015. DOI: 10.1016/j.jff.2015.01.047.

- SILVA, M. L. C. et al. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682, jul./set. 2010. DOI: 10.5433/1679-0359.2010v31n3p669.

- SOUSA, D. M. R. et al. Síntese e caracterização de nanopartículas de prata estabilizadas em extrato de *Cissus verticillata* L. (insulina vegetal). **Cuadernos de Educación**



y **Desarrollo**, v. 16, n. 11, p. 01-14, 2024. DOI:
10.55905/cuadv16n11-118.