

Inovação e Sustentabilidade: investigação de anterioridade de patente de síntese verde de nanopartículas de ZnO

Innovation and Sustainability: prior art investigation of green synthesis of ZnO nanoparticles

Gersiane Barp¹, Melissa Longen Panatto¹, Leila D. Fiorentin-Ferrari¹, Veronice Slusarski-Santana¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, PR, Brasil

Resumo

A síntese verde de nanopartículas de ZnO (ZnO-NPs) representa uma alternativa sustentável aos métodos convencionais usando menos solventes tóxicos e mais recursos naturais. Contudo, a escassez de revisões sobre patentes nessa área dificulta identificar tendências tecnológicas e aplicações. Este estudo mapeou patentes internacionais e nacionais sobre síntese verde de ZnO-NPs, identificando países, métodos, precursores, extratos, aplicações e lacunas. A busca foi realizada nas bases World Intellectual Property Organization (Patentscope) e Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), usando os termos “*green synthesis*”, “ZnO” e “*nanoparticles*”, sendo limitada a 2010-2025. Das 18 patentes identificadas, 94% eram da Índia e nenhuma do Brasil, e 89% delas empregaram a precipitação e acetato de zinco (56%) e nitrato de zinco (38%) como precursores. Aplicações práticas foram relatadas em 22% das patentes, principalmente como fertilizantes e agentes antimicrobianos. Este estudo contribuiu para compreender o panorama atual e reforça a importância de desenvolver aplicações sustentáveis para ZnO-NPs.

Palavras-chave: Síntese Verde; Nanopartículas; ZnO.

Áreas Tecnológicas: Nanotecnologia. Química verde. Biotecnologia.

Abstract

The zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) green synthesis represents a sustainable alternative to conventional methods, using fewer toxic solvents and more natural resources. However, the scarcity of reviews on patents in this field hinders the identification of technological trends and applications. This study mapped international and national patents on the ZnO-NPs green synthesis, identifying countries, methods, precursors, extracts, applications, and gaps. The search was conducted in the World Intellectual Property Organization – Patentscope and the Brazilian National Institute of Industrial Property databases, using the terms “*green synthesis*,” “ZnO,” and “*nanoparticles*,” limited to 2010-2025. Of the 18 patents identified, 94% were from India and none from Brazil, and 89% of them employed precipitation, with zinc acetate (56%) and zinc nitrate (38%) as precursors. Practical applications were reported in 22% of the patents, mainly as fertilizers and antimicrobial agents. This study contributed to understanding the current landscape and reinforces the importance of developing sustainable applications for ZnO-NPs.

Keywords: Green Synthesis; Nanoparticles; ZnO.

1 Introdução

Dado o crescente interesse por abordagens mais sustentáveis, a inovação tecnológica tem se tornado um fator essencial para minimizar impactos ambientais. Nesse sentido, os avanços em diferentes áreas frequentemente resultam em novas invenções, que podem ser protegidas por patentes e impulsionar a implementação de tecnologias inovadoras em escala industrial. Devido às emissões de CO₂ às mudanças climáticas, diversos acordos internacionais foram estabelecidos, como o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris, visando a mitigação dos impactos ambientais (Liu; Guo; Bi, 2023). Para atender a essas diretrizes, muitos países têm adotado medidas que combinam inovação tecnológica e políticas públicas (Mi *et al.*, 2020; Liu; Guo; Bi, 2023). Nesse contexto, as patentes desempenham um papel estratégico, pois impulsionam o desenvolvimento de tecnologias com aplicações práticas no mercado (Liu; Guo; Bi, 2023). Para organizar e facilitar a busca, cada patente é classificada por um código de Classificação Internacional de Patentes (CIP), o que permite sua organização em subcategorias detalhadas, facilitando a identificação de campos tecnológicos e análise de segmentos específicos (Dechezleprêtre *et al.*, 2011).

Entre os diferentes campos tecnológicos, o termo inovação verde refere-se à implementação de ideias, processos, produtos ou tecnologia com o objetivo de reduzir os impactos negativos no meio ambiente (Block *et al.*, 2025). Esse conceito é utilizado em vários contextos, por isso, possui definições que podem enfatizar a intenção ecológica, sustentável ou verde da inovação (Block *et al.*, 2025). A inovação verde pode ocorrer em diferentes níveis, abrangendo indivíduos, famílias, organizações, regiões e indústrias (Block *et al.*, 2025). Além disso, essas inovações variam conforme o nível de novidade. As inovações verdes incrementais consistem em modificações graduais em mecanismos existentes, promovendo adição ou otimização de processos já estabelecidos, enquanto as inovações verdes radicais geram mudanças disruptivas, sem se integrar a sistemas preexistentes (Hazarika; Zhang, 2019).

Uma área que vem contribuindo com essa inovação verde é a de nanotecnologia, a qual tem se destacado por sua capacidade de produzir materiais em escala nanométrica, com tamanhos variando entre 1 e 100 nm (Gur *et al.*, 2022; Mirza *et al.*, 2023), com propriedades físico-químicas únicas e boa estabilidade química e mecânica, ampliando sua gama de aplicações (Dinga *et al.*, 2022). Para a produção desses materiais, a síntese verde surge como uma alternativa sustentável aos métodos tradicionais de síntese de nanopartículas, os quais costumam envolver solventes químicos nocivos e altas temperaturas de processo, gerando preocupações ambientais (Osman *et al.*, 2024; Jain *et al.*,

2021; Makarov *et al.*, 2014). A síntese verde se destaca por utilizar fontes naturais, como microrganismos, plantas e resíduos agrícolas, para extrair compostos bioativos capazes de reduzir e estabilizar as nanopartículas (Rashwan *et al.*, 2023; Yadav *et al.*, 2025). Devido ao perfil fitoquímico de cada tipo de extrato, esse método permite a obtenção de diferentes tipos de nanopartículas metálicas e de óxidos metálicos, como Fe (Jain *et al.*, 2021), Ag (Xu *et al.*, 2020), ZnO (Jadhav; Kokate, 2022; Dinga *et al.*, 2022), NiO (Uddin *et al.*, 2021), entre outras, e essas nanopartículas podem apresentar propriedades antimicrobianas, antidiabéticas, anti-inflamatórias, catalíticas, anticancerígenas e não citotóxicas (Dargah *et al.*, 2024). Em função dessas propriedades, as nanopartículas, principalmente as de ZnO, encontram aplicações em diversas áreas (Osman *et al.*, 2024; Rashwan *et al.*, 2023), como farmacêutica e de saúde, especialmente na liberação controlada de fármacos, como agente antimicrobiano contra patógenos causadores de infecções, e em revestimentos de centro cirúrgicos (Uddin *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2025; Fahimmunisha *et al.*, 2020), bem como na área ambiental, no tratamento de água, contribuindo para a degradação de corantes têxteis presentes em efluentes líquidos (Jain *et al.*, 2021; Mahajan *et al.*, 2025).

A síntese verde de ZnO-NPs emergiu como uma alternativa sustentável aos métodos convencionais, alinhando-se a acordos globais, como o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris. No entanto, sua adoção em escala industrial depende não apenas de avanços técnicos, mas também de estratégias de proteção intelectual (PI) que impulsionem a transferência de tecnologia (TT) (Morandin; Silva; Moura, 2023; Rocha *et al.*, 2024). Embora revisões sobre ZnO-NPs verdes sejam abundantes na literatura, faltam estudos que analisem como essas inovações estão sendo protegidas por patentes – lacuna crítica, dado que a variabilidade dos extratos vegetais e a falta de padronização desafiam a escalabilidade.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi mapear patentes internacionais e nacionais referentes à síntese verde de ZnO-NPs, identificando: 1) o panorama global de patentes com as classificações tecnológicas atribuídas via CIP; 2) os métodos de síntese empregados, os principais precursores metálicos e as fontes vegetais que originaram os extratos; e 3) as aplicações práticas, lacunas e desafios. A busca foi realizada em base internacional (World Intellectual Property Organization – Patentscope (WIPO – Patentscope)) e nacional (Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)) para o período de 2010 a 2025. Com isso, este estudo propõe-se a preencher a lacuna existente mediante esse levantamento sistemático de patentes relacionadas à síntese verde de ZnO-NPs, com foco em aplicações práticas.

2 Metodologia

Esta pesquisa consistiu em uma prospecção tecnológica baseada na análise de patentes, adaptando os métodos descritos por Ribeiro, Sulva e Rabelo (2023) e Fernandes *et al.* (2024). O processo metodológico foi dividido nas seguintes etapas: busca, triagem, seleção, coleta de dados, análise do conteúdo das patentes e discussão dos resultados, conforme pode ser observado na Figura 1.

A busca de patentes foi realizada nas bases internacional (WIPO-Patentscope) e nacional (INPI), para o período de 2010 a 2025, utilizando-se os termos “*green synthesis*”, “ZnO” e “*nanoparticles*” (em inglês) e “síntese verde”, ZnO e “nanopartículas” (em português), respectivamente, combinados com os operadores booleanos AND/OR. No processo de triagem e seleção das patentes, foram estabelecidos critérios de elegibilidade, sendo o critério de inclusão as patentes que apresentavam os três termos pesquisados e as que descreviam aplicações práticas validadas. Os critérios de exclusão foram as patentes que não utilizaram síntese verde no preparo das ZnO-NPs e as que não apresentavam os três termos e as aplicações dessas nanopartículas.

Na etapa de coleta de dados, informações quanto ao país de origem, ano de publicação e área tecnológica (via Classificação Internacional de Patentes – CIP) das patentes foram coletadas. Na etapa de análise do conteúdo, foi conduzida uma análise aprofundada das patentes elegíveis, com extração de informações sobre as espécies vegetais utilizadas na preparação dos extratos, os métodos e parâmetros de síntese, como temperatura e concentração, e as aplicações práticas das ZnO-NPs, como agente antimicrobiano e fertilizante foliar. A análise foi realizada com apoio dos *softwares* Microsoft Excel e Origin, categorizando variáveis-chave para identificação de tendências. Por fim, foi realizada a discussão dos resultados.

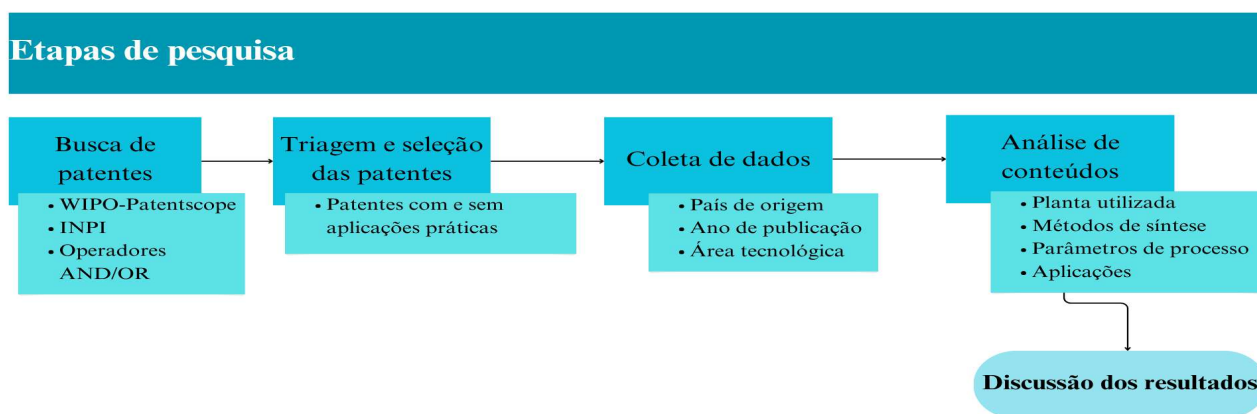
3 Resultados e Discussão

Nesta seção serão apresentados os resultados da pesquisa realizada em bases de patentes, focando na análise do cenário mundial das inovações relacionadas à síntese verde de nanopartículas de óxido de zinco. Além disso, serão discutidas as principais características tecnológicas das patentes selecionadas, levando em consideração aspectos como país de origem, período de publicação, matérias-primas vegetais utilizadas, métodos e parâmetros de síntese, bem como as aplicações práticas das nanopartículas de ZnO mencionadas nos documentos analisados.

3.1 Panorama Global de Patentes (dados WIPO/INPI)

Com o crescimento industrial, a maioria dos países enfrenta diversos problemas ambientais, como poluição da água e do ar, além das mudanças climáticas, que ameaçam tanto o meio ambiente quanto a saúde humana (Xu *et al.*, 2024; Liu; Guo; Bi, 2023). Diante disso, muitos países têm se concentrado em minimizar esses impactos, reduzindo a pegada de carbono e buscando atingir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esses objetivos estão cada vez mais em pauta, impulsionando a adoção de tecnologias verdes sob diferentes perspectivas – Administrativa, Regulatória ou de *Design* (ARD). Assim, as tecnologias verdes se tornaram uma escolha universal para explorar novos caminhos de desenvolvimento. Com base nesse cenário, os Estados Unidos da América (EUA) têm incentivado a inovação e o desenvolvimento tecnológico, concentrando esforços na disseminação de patentes relacionadas às tecnologias verdes, principalmente por meio de empresas, enquanto as inovações provenientes da China vêm principalmente de instituições de pesquisa científica (Liu; Guo; Bi, 2023).

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas empregadas na busca das patentes, incluindo busca de patentes, triagem e seleção das patentes, coleta de dados e análise de conteúdo



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2025)

A supremacia dos EUA e da China pôde ser confirmada a partir do número de registros de patentes. Em uma análise geral, a busca na base WIPO-Patentscope, com as palavras-chave “green synthesis” OR “ZnO” OR “nanoparticles”, resultou em 153.880 registros. Os maiores depositantes de patentes foram a China (38,64%), os Estados Unidos da América (17,7%), o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT) (12,33%), o European Patent Office (7,39%), o Japão (7,31%) e a República da Coreia (7,27%), que, juntos, totalizaram aproximadamente 128.243 patentes. As demais publicações foram provenientes de países como Índia, Canadá, Rússia e Austrália.

Com a finalidade de refinar a pesquisa para inovações relacionadas especificamente à síntese verde de ZnO-NPs, o operador AND foi aplicado na base WIPO-Patentscope. Dessa forma, a busca foi realizada com as palavras-chave: “green synthesis” AND “ZnO” AND “nanoparticles”, resultando em 18 registros. Desse total, 17 patentes são da Índia e uma é da China, sendo que as invenções indianas corresponderam a 94,4% do total das invenções.

Considerando o país com maior produção de patentes nessa área, a Índia tem se destacado por seus avanços em sustentabilidade e pelo forte investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). O país possui diversas instituições de P&D, como os Institutos Indianos de Tecnologia (IITs) e os Laboratórios do Conselho de Pesquisa Científica e Industrial (CSIR), que promovem ambientes propícios para inovações tecnológicas (Panda; Sharma, 2021). Sobre o período de publicação das patentes, as primeiras invenções publicadas e identificadas no WIPO-Patentscope, com as palavras-chave escolhidas, dataram de 2019, com picos de seis patentes depositadas em 2022 e de sete patentes depositadas em 2023. Percebe-se que a tecnologia desenvolvida para a síntese verde de ZnO-NPs é recente, em torno de cinco anos.

Ao realizar a mesma pesquisa na base de dados do INPI, utilizando as palavras-chave: “Síntese verde”, “ZnO”, “nanopartículas”, com ambos os operadores (OR/AND), e selecionando a opção para que esses termos aparecessem também no resumo das invenções, não se identificou registro algum contendo exatamente esses termos. Dessa forma, este estudo foi realizado a partir das 18 patentes encontradas na pesquisa realizada na base WIPO-Patentscope, as quais se encontram citadas no Quadro 1.

Para essas inovações, foram avaliados aspectos como tipo de planta utilizada para o preparo do extrato, os métodos e parâmetros de síntese e a aplicação das nanopartículas. A análise do conteúdo das patentes listadas no Quadro 1, com foco no tipo de planta empregada, evidenciou a diversidade de matérias-primas que podem ser utilizadas na síntese verde de ZnO-NPs. As plantas apresentam um

vasto perfil fitoquímico, o qual varia de acordo com a espécie vegetal, mas, de maneira geral, estão presentes moléculas bioativas como ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides e saponinas, que atuam como agentes redutores e estabilizantes nesse tipo de síntese (Zeghoud *et al.*, 2022; Supin; Vasundhara, 2023). As concentrações desses compostos nos extratos podem variar bastante, uma vez que elas são dependentes do método de extração utilizado e das condições operacionais empregadas.

Quadro 1 – Patentes referentes à síntese verde de ZnO-NPs encontradas na base WIPO-Patentscope

TÍTULO	NÚMERO DE DEPÓSITO
Process of green synthesis of ZnO nanoparticles using <i>Acalypha indica</i>	202241036350
Synthesis of ZnO nanoparticles via green synthesis using timur (<i>Zanthoxylum armatum</i> , DC.)	202111031412
A process for green synthesis of ZnO nanoparticles by using <i>Angelonia angustifolia</i> plant extract	202321032639
Method for green synthesis of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) from plant <i>Pyrus pashia</i>	202211041289
Synthesis of zinc oxide nanoparticles using lotus leaf extract	201941027534
Brassica blight management through biofabricated zinc oxide nanoparticles and method thereof	202111017326
Method for performing of zinc oxide nanoparticles using <i>Lentinula edodes</i> mushroom and chitosan	202341052666
A method for the biosynthesis of Ag-doped ZnO nanoparticles using <i>Moringa oleifera</i> seed extract and uses thereof	201811045729
A novel green synthesis of low-cost zinc oxide nanoparticles and its pharmacological activity	5169/CHE/2014
Green synthesized process for zinc oxide nanoparticles using a plant extract of <i>murraya koenigii</i> and its antibacterial efficacy thereof	201811018237
Antimicrobial efficacy and synthesis of biogenic zinc oxide nanoparticles using a plant extract of wild <i>Himalayan ficus palmata</i>	201811046522

TÍTULO	NÚMERO DE DEPÓSITO
Biological activity of green-synthesized ZnO and FeO nanoparticles mediated poly (acetic acid-co-ethylene glycol-co-acrylic acid)polymer nanocomposites	202341035466
A method for enzyme-mediated green synthesis of zinc oxide nanoparticles	202341012485
ZnO nanoparticle regenerated cellulose composite film and preparation method thereof	117143374
Green process of synthesizing zinc oxide nanoparticles with seedling extract and zinc salt	202121008552
Method for performing mycogenesis of zinc oxide nanoparticles using <i>Lentinula edodes mushroom</i> and chitosan	202211038070
Chemical sensors based on green synthesis of SnO/ZnO nanocomposite and its multifaceted applications	202241058184
Green process of synthesizing zinc oxide nanoparticles with plant growth-promoting rhizobacteria and zinc salt	202121008534

Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2025)

Entre os métodos de extração encontrados nas patentes selecionadas, tem-se a decocção, um método convencional, e a extração assistida por ultrassom e a extração assistida por micro-ondas, ambas consideradas métodos não convencionais (Kaenphakdee *et al.*, 2022). Além dos extratos, lisados celulares também podem ser utilizados na síntese verde de nanomateriais, pois atuam de forma semelhante aos extratos vegetais, como agentes redutores e estabilizantes (Zeghoud *et al.*, 2022).

3.2 Métodos e Condições de Síntese Verde

Em relação aos métodos e parâmetros de síntese, estes influenciam no tamanho, na forma e na morfologia das nanopartículas (Saxena *et al.*, 2025). Verificou-se que os métodos de síntese citados nas invenções (Quadro 1) foram a precipitação e a combustão de solução, sendo a precipitação citada em aproximadamente 89% das invenções. Nesse método, utiliza-se um sal precursor, geralmente acetato ou nitrato de zinco, juntamente com

o extrato vegetal, para a formação e precipitação de um sólido (Zeghoud *et al.*, 2022). Na Figura 2, tem-se ilustrado um esquema geral do método de precipitação utilizado na síntese verde de ZnO-NPs. No caso das invenções avaliadas, o acetato de zinco, o nitrato de zinco e o sulfato de zinco foram os precursores empregados na síntese de ZnO-NPs. A escolha do precursor é um aspecto fundamental, visto que ele influencia diretamente a eficiência do processo, bem como as propriedades e a morfologia das nanopartículas sintetizadas (Cruz; Gallio; Gatto, 2020; Rocha *et al.*, 2024). Por exemplo, Pourrahi *et al.* (2015) observaram que nanopartículas de ZnO sintetizadas a partir do acetato de zinco se apresentaram como partículas separadas e orientadas aleatoriamente, enquanto o uso do nitrato de zinco resultou em partículas submicrométricas com formato de flor. Kaenphakdee *et al.* (2022) relataram que nanopartículas de ZnO produzidas com maior concentração de acetato de zinco exibiram morfologia única de folha de coral, com grande área superficial. Com isso, essas nanopartículas apresentaram capacidade superior para refletir a radiação solar, apresentando como consequência um excelente desempenho em isolamento térmico. Devido a essas vantagens observadas em diferentes estudos, o acetato de zinco foi o precursor mais utilizado para a síntese verde de ZnO-NPs.

As condições operacionais, tanto de extração quanto de síntese, utilizadas nas invenções foram bem variadas e influenciaram diretamente as características do material final (Figura 2). No preparo do extrato, diferentes métodos foram utilizados, incluindo extração assistida por ultrassom, decocção e extração assistida por micro-ondas, com o uso predominante de água como solvente, com temperatura de aproximadamente 90 °C e tempo de extração variando entre 30 e 60 min. Quanto à temperatura de reação, esta variou entre 40 e 100 °C, sendo que esse parâmetro afeta principalmente o tamanho das nanopartículas, devido à cinética de reação (Saxena *et al.*, 2025; Mohammadi; Ghasemi, 2018). A concentração do precursor variou entre 0,1 e 1 M, influenciando a disponibilidade de íons de zinco em solução e sua interação com os compostos bioativos presentes nos extratos. Essa interação pode ser intensa, acelerando ou reduzindo a estabilização das nanopartículas (Mohammadi; Ghasemi, 2018; Zeghoud *et al.*, 2022). A solução contendo o precursor e o extrato permanece sob agitação até a formação de um precipitado, o qual é, então, calcinado. A temperatura de calcinação variou entre 100 e 600 °C, sendo essa etapa crucial para a evaporação de componentes orgânicos presentes na superfície das amostras, promovendo uma boa cristalização do óxido metálico (George *et al.*, 2020).

3.3 Aplicações Práticas e Lacunas

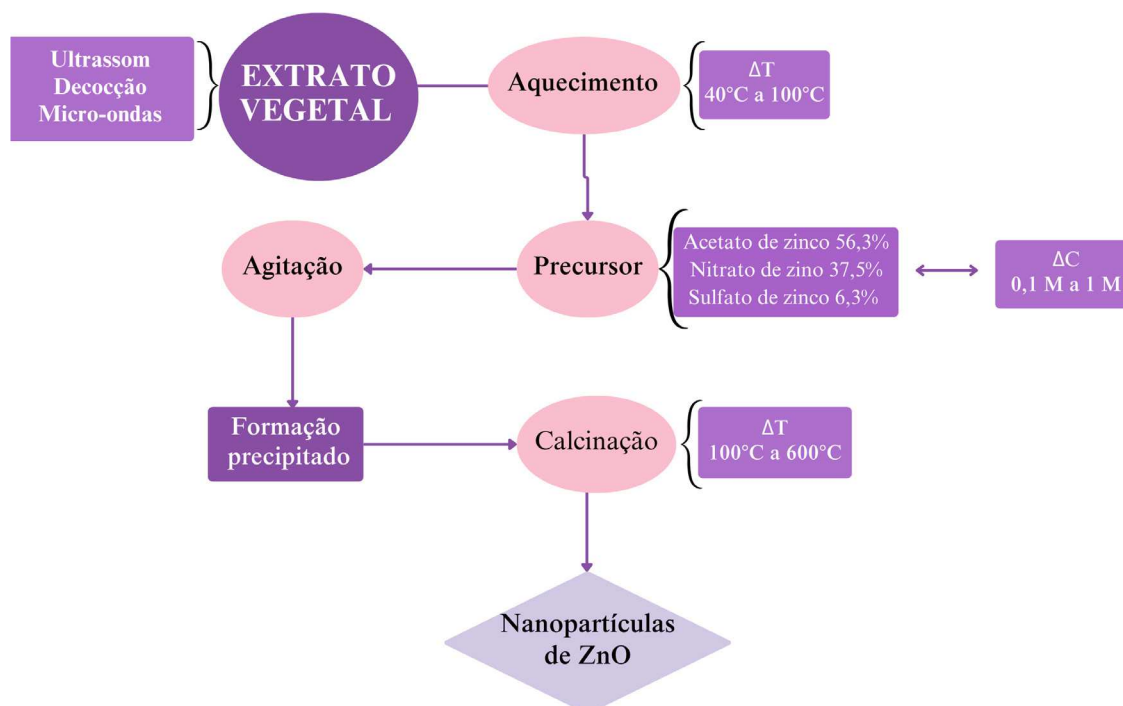
O vasto perfil fitoquímico, os diferentes métodos de extração e de síntese juntamente com as diversas condições operacionais resultaram em ZnO-NPs com características que permitem seu uso em diferentes áreas. Essa variedade de aplicações ressalta o grande interesse científico e tecnológico na obtenção sustentável de ZnO-NPs. As diversas aplicações dessas nanopartículas podem ser compreendidas por meio da Classificação Internacional de Patentes (CIP), que categoriza essas invenções com base em seus setores de aplicações (Dechezleprêtre *et al.*, 2011). Os principais códigos da CIP associados às patentes selecionadas (Quadro 1) podem ser visualizados na Figura 3. Ao se avaliar esses códigos da CIP, constatou-se uma ampla aplicabilidade das ZnO-NPs obtidas por síntese verde, permitindo visualizar os principais setores industriais que se beneficiaram dessas invenções, que vão desde tecnologias eletrônicas até aplicações biomédicas e industriais, além da agricultura. Essa versatilidade é corroborada por estudos que destacam as propriedades únicas das ZnO-NPs, como suas características mecânicas, elétricas, magnéticas, ópticas e químicas, além de apresentarem boa estabilidade química e térmica (Dinga *et al.*, 2022; Mirza *et al.*, 2023).

Das 18 patentes selecionadas e apresentadas no Quadro 1, apenas quatro atenderam ao critério de elegibilidade estabelecido: apresentar aplicações práticas para as ZnO-NPs, as demais citaram apenas aplicações gerais, sendo

possível observar uma lacuna na exploração de suas aplicações mais específicas. As principais informações dessas quatro patentes, destacando os tipos de extratos utilizados, os métodos de síntese empregados, as aplicações propostas e os principais resultados obtidos, podem ser visualizadas no Quadro 2.

Ao se comparar as quatro patentes (Quadro 2), verificou-se que elas descrevem processos de síntese verde de ZnO-NPs que se diferenciam no tipo de extrato utilizado, método de preparo, precursor metálico e nível de inovação tecnológica. Em relação ao extrato utilizado, três patentes (IN202341052666, CN117143374, IN202121008552) fazem uso de extratos vegetais, enquanto apenas uma (IN202121008534) utiliza um extrato microbiano, proveniente do lisado celular de *Pseudomonas sp.* Quanto ao método de síntese, todas as patentes seguem uma rota baseada em precipitação química seguida de tratamento térmico, com variação nos parâmetros operacionais e recursos tecnológicos utilizados. A patente IN202341052666, por exemplo, combina extração assistida por ultrassom com precipitação usando acetato de zinco como precursor (0,5 M) seguida de calcinação a 400 °C. Esse é considerado um método não convencional que favorece a liberação de compostos bioativos no extrato. Já a patente CN117143374 faz uso da decocção seguida de precipitação a 150 °C por 6 horas, sem etapa de calcinação, pois as nanopartículas são incorporadas diretamente em um filme polimérico, representando um diferencial em termos de aplicação final.

Figura 2 – Modelo esquemático das etapas do processo de síntese verde de nanopartículas usando extrato vegetal via método da precipitação



Fonte: Elaborada pelas autoras deste artigo (2025)

As patentes IN202121008552 e IN202121008534 (Quadro 2) descrevem o uso de radiação na faixa do micro-ondas durante o processo de síntese, o que torna o processo mais rápido. A primeira patente usa nitrato de zinco como precursor, com calcinação a 500 °C por 3 horas, enquanto a segunda utiliza sulfato de zinco com calcinação a 600 °C por

2 horas. Ambas visam aplicação agrícola das nanopartículas, como fertilizante foliar, no entanto, a patente que utiliza extrato microbiano (IN202121008534) apresenta resultados mais expressivos em termos de rendimento e fortificação quando comparadas com nanopartículas comerciais.

Figura 3 – A CIP das invenções investigadas



Fonte: Adaptada de WIPO-Patentscope (2025)

Quadro 2 – Comparativo das patentes elegíveis que apresentam aplicações práticas das ZnO-NPs

PATENTE REFERÊNCIA	EXTRATO UTILIZADO	MÉTODO DE SÍNTESE	APLICAÇÃO	EFICIÊNCIA
IN202341052666 Vardhan <i>et al.</i> (2023)	Folhas de <i>Azadirachta indica</i> , flores de <i>Tagetes erecta</i> , <i>Chrysanthemum morifolium</i> e <i>Lentinula edodes</i>	Extração por ultrassom (15 min) + precipitação com acetato de Zn (0,5 M) + calcinação (400 °C)	Fotocatálise (azul de metileno)	Remoção eficiente monitorada por UV-Vis a 665 nm. Boa capacidade de reutilização.
CN117143374 Xueyan <i>et al.</i> (2023)	<i>Aloe vera</i>	Decocção (90°C, 1 h) + precipitação (150 °C, 6 h) + incorporação em solução filmogênica + inversão de fases	Embalagem antimicrobiana e antioxidante	Halos de 10 mm contra <i>E. coli</i> e atividade antioxidante (DPPH – 86,6%)

PATENTE REFERÊNCIA	EXTRATO UTILIZADO	MÉTODO DE SÍNTESE	APLICAÇÃO	EFICIÊNCIA
IN202121008552 Suthar <i>et al.</i> (2022a)	Muda de arroz	Decocção (30 min) + adição de nitrato de zinco (5 g) + micro-ondas + calcinação (500 °C, 3 h)	Fertilizante foliar para arroz	Aumento de crescimento (24,94%), rendimento de grãos (16,89%) e enriquecimento de Zn nos grãos
IN202121008534 Suthar <i>et al.</i> (2022b)	Lisado celular de <i>Pseudomonas sp.</i>	Dissolução de ZnSO (5 g) + micro-ondas + calcinação (600 °C, 2h)	Fertilizante foliar para arroz	Aumento do rendimento: 31,5% (grãos) e 22,50% (palha) com enriquecimento superior às nanopartículas comerciais

Fonte: Elaborado pelas autoras deste artigo (2025)

3.4.3.4 Desafios para Escalabilidade Industrial

Alguns fatores podem explicar a ausência de aplicação prática das nanopartículas sintetizadas por rotas verdes. A principal dificuldade está na variabilidade dos compostos bioativos presentes nas plantas utilizadas no processo, os quais são diferentes entre as espécies, mas também entre as partes da mesma planta, e interação de formas diversas e complexas (Nguyen *et al.*, 2023). Essa variabilidade bioativa influencia diretamente a síntese nas nanopartículas, juntamente com fatores como temperatura, concentração do extrato, concentração dos íons metálicos e pH, que afetam significativamente o tamanho e a morfologia das nanopartículas geradas (Noruzi *et al.*, 2015; Zeghoud *et al.*, 2022). Como consequência, há inconsistências na produção, dificultando a homogeneidade e padronização entre diferentes lotes, o que representa um obstáculo à aplicação industrial (Olaniyan *et al.*, 2025).

Para a implementação industrial, a uniformidade das nanopartículas é essencial. Na indústria alimentícia, por exemplo, variações nas propriedades das matérias-primas podem comprometer a funcionalidade de embalagens e filmes comestíveis, tornando mais difícil a aplicação de nanopartículas não padronizadas (Olaniyan *et al.*, 2025). Ademais, a complexidade dos extratos vegetais impossibilita a descrição exata do mecanismo de reação envolvido na síntese. Sabe-se que compostos como polissacarídeos, flavonoides, polifenóis, alcaloides, taninos e aminoácidos atuam como agentes redutores no processo de síntese, todavia não é possível descrever um mecanismo exato, dada a diversidade e as múltiplas interações dessas substâncias (Zeghoud *et al.*, 2022; Rocha *et al.*, 2024). Superar esses desafios exige padronização dos processos, estudos de validação e fortalecimento das parcerias entre

pesquisadores e indústria, para que essas tecnologias possam, de fato, chegar ao mercado.

Dessa forma, a escalabilidade industrial é um dos principais desafios da síntese verde. A maioria dos estudos ainda se restringe à escala laboratorial, e a transição para a produção em larga escala exige que essas rotas sustentáveis sejam mais viáveis do que os métodos convencionais (Bandeira; Ssil; Costa, 2020). Além disso, o gerenciamento de resíduos torna-se uma preocupação, pois a ampliação do processo pode gerar volumes significativos de subprodutos que precisam ser adequadamente tratados (Rocha *et al.*, 2024). Apesar dos desafios, a síntese verde de nanopartículas continua crescendo, impulsionada pela necessidade de soluções mais sustentáveis na indústria química. O desenvolvimento de estratégias para controlar a variabilidade dos extratos e aprimorar o conhecimento sobre os mecanismos envolvidos pode facilitar a padronização do processo, tornando essa abordagem uma alternativa viável para aplicações industriais no futuro (Rocha *et al.*, 2024).

Outro ponto importante a ser destacado é que o objetivo principal das patentes é proteger uma nova metodologia, processo ou produto (Morandin; Silva; Moura, 2023). Em relação às patentes de síntese verde de ZnO-NPs, o foco geralmente recai sobre o método de produção, destacando a escolha do precursor ou a técnica de síntese, ao invés de suas aplicações concretas. Por meio de uma consulta à plataforma “Science Direct”, utilizando-se os termos de busca “green synthesis” AND “nanoparticles” AND “ZnO”, foram encontrados 7.284 artigos publicados. Isso evidencia que apesar de haver pesquisas que explorem as propriedades e aplicações desse nanomaterial, ainda há ausência de patentes que detalhem aplicações práticas.

A ausência de patentes relacionadas à síntese verde de ZnO-NPs no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) pode estar relacionada a diversos fatores. Embora o Brasil tenha ampliado os investimentos em ciência e tecnologia nos últimos anos, o número de patentes registradas no INPI é pequeno em comparação com outros países (Da Veiga *et al.*, 2024). Isso ocorre, pois, a pesquisa científica no país ainda enfrenta desafios significativos, como financiamento limitado, burocracia no registro de patentes e falta de incentivo para inovação tecnológica (Neves *et al.*, 2023; Da Veiga *et al.*, 2024). Além disso, a transferência de tecnologia verde das universidades para setores públicos e privados ainda é um processo complexo, com entraves administrativos e jurídicos, bem como a ausência de apoio financeiro adequado para impulsionar essas inovações (Silva; Ten Caten; Gaia, 2023). No Brasil, as universidades representam os principais polos de geração de conhecimento e desenvolvimento de tecnologias inovadoras passíveis de proteção patentária. No entanto, o investimento brasileiro em ciência e tecnologia corresponde a apenas 1% do PIB, um valor considerado baixo em comparação com outros países em desenvolvimento (Neves *et al.*, 2023; Da Veiga *et al.*, 2024).

4 Considerações Finais

Este estudo mapeou patentes internacionais e nacionais sobre síntese verde de ZnO-NPs nas bases WIPO-Patentscope e INPI, identificando o panorama global de patentes e a CIP, os tipos de extrato, os métodos e precursores de síntese, as aplicações práticas das ZnO-NPs e as lacunas tecnológicas relevantes. Esse mapeamento de patentes identificou vários pontos relevantes, como: 1) predominância da Índia como principal depositante dessa tecnologia, devido ao forte incentivo à pesquisa e desenvolvimento tecnológico sustentável desse país na área; 2) o Brasil ainda apresenta baixa representatividade no que tange a base de dados do INPI; 3) utilização de ampla diversidade de espécies vegetais, métodos de extração e de síntese, e condições operacionais como tipo e concentração do extrato, tipo de solvente, temperatura, tempo de reação, concentração do precursor, os quais influenciam diretamente as características morfológicas e funcionais das nanopartículas sintetizadas; e 4) em função das diferentes características, as nanopartículas podem ser utilizadas em várias áreas tecnológicas, conforme evidenciado pela CIP, no entanto, uma pequena parte das patentes analisadas descreve estudos detalhados sobre a viabilidade dessas aplicações em cenários reais.

Dessa forma, embora haja um crescente interesse por abordagens mais sustentáveis, a falta de patentes envolvendo aplicações práticas das ZnO-NPs sintetizadas via síntese verde indica uma lacuna na exploração e proteção de inovações que demonstrem a viabilidade do uso

deste tipo de material. Portanto, os resultados deste estudo não apenas ajudam a compreender como as tecnologias de síntese verde de ZnO vêm sendo protegidas por patentes, mas também revelam os principais desafios que ainda precisam ser superados para que essa tecnologia chegue à indústria. Questões como a falta de padronização e a dificuldade em reproduzir os processos de forma consistente ainda limitam a aplicação em larga escala. Superar essas barreiras é essencial para transformar a síntese verde em uma alternativa realmente viável e acessível para a produção de nanomateriais com potencial aplicação em diversas áreas.

5 Perspectivas Futuras

A crescente busca por soluções mais sustentáveis nas diversas áreas industriais tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias mais limpas, como a síntese verde, para a produção de nanopartículas. Esse método utiliza fontes naturais como plantas e microrganismos, o que não só reduz os impactos ambientais, mas também permite o aproveitamento de resíduos agrícolas. Diante disso, os dados levantados neste trabalho oferecem recursos para orientar novas pesquisas, especialmente aquelas que buscam aplicações práticas das ZnO-NPs em diferentes setores.

A falta de padronização ainda representa um desafio para a reprodutibilidade e escalabilidade dos processos de síntese verde na indústria. Por isso, trabalhos futuros podem investigar a reprodutibilidade em escalas maiores, além de avaliar as propriedades físico-químicas das nanopartículas geradas, bem como investigar sua estabilidade e toxicidade em diferentes ambientes. Isso é fundamental para garantir que o aumento da escala não comprometa as características das nanopartículas. Com isso, será possível comprar a eficácia das rotas verdes em processos industriais de larga escala.

Referências

- BANDEIRA, M.; SSIL, J. P.; COSTA, A. R. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: A review of the synthesis methodology and mechanism of formation. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 15, 100223, mar. 2020.
- BLOCK, J. *et al.* Green patents and green trademarks as indicators of green innovation. **Research Policy**, v. 54, n. 1, 1º jan. 2025.
- CRUZ, N. D.; GALLIO, E.; GATTO, D. A. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles. **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, 2020.

DA VEIGA, C. R. P. *et al.* Innovation in healthcare business methods: A comparative patent analysis.

Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, v. 10, n. 4, 1 dez. 2024.

DARGAH, M. *et al.* Biomimetic synthesis of nanoparticles: A comprehensive review on green synthesis of nanoparticles with a focus on *Prosopis farcta* plant extracts and biomedical applications. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 332, 103277, out. 2024.

DECHEZLEPRÊTRE, A. *et al.* Invention and transfer of climate change-mitigation technologies: A global analysis. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 5, n. 1, p. 109-130, 2011.

DINGA, E. *et al.* Biosynthesis of ZnO nanoparticles using *Melia azedarach* seed extract: Evaluation of the cytotoxic and antimicrobial potency. **OpenNano**, v. 8, 1º nov. 2022.

FAHIMMUNISHA, B. A. *et al.* Green fabrication, characterization and antibacterial potential of zinc oxide nanoparticles using *Aloe socotrina* leaf extract: A novel drug delivery approach. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 55, 1º fev. 2020.

FERNANDES, J. L. *et al.* Prospecção patentária de alternativas tecnológicas para o gerenciamento da pelagem suína. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 17, n. 3, p. 900-915, 2024.

GEORGE, A. *et al.* Temperature effect on CuO nanoparticles: Antimicrobial activity towards bacterial strains. **Surfaces and Interfaces**, v. 21, 1 dez. 2020.

GUR, T. *et al.* Green synthesis, characterization and bioactivity of biogenic zinc oxide nanoparticles. **Environmental Research**, v. 204, 1 mar. 2022.

HAZARIKA, N.; ZHANG, X. Factors that drive and sustain eco-innovation in the construction industry: The case of Hong Kong. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117816, 2019.

JADHAV, D. B.; KOKATE, R. D. Development of environment friendly nanoelectronic sensing elements for hybrid electric vehicles. **International Journal of Vehicle Information and Communication Systems**, v. 7, n. 2, p. 146-160, 1º jan. 2022.

JAIN, R. *et al.* Green synthesis of iron nanoparticles using *Artocarpus heterophyllus* peel extract and their application as a heterogeneous Fenton-like catalyst for the degradation of Fuchsin Basic dye. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 4, 1º jan. 2021.

KAENPHAKDEE, S. *et al.* Zinc oxide synthesis from extreme ratios of zinc acetate and zinc nitrate: Synergistic morphology. **Materials**, v. 15, n. 2, p. 570, 2022.

LIU, M.; GUO, J.; BI, D. Comparison of administrative and regulatory green technologies development between China and the U.S. based on patent analysis. **Data Science and Management**, v. 6, n. 1, p. 34-45, 1º mar. 2023.

MAHAJAN, M. *et al.* Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Justicia adhatoda* for photocatalytic degradation of malachite green and reduction of 4-nitrophenol. **RSC Advances**, v. 15, n. 4, p. 2958–2980, 2025.

MAKAROV, V. V. *et al.* “Green” nanotechnologies: Synthesis of metal nanoparticles using plants. **Acta Naturae**, v. 6, n. 1, p. 35-44, 2014.

MI, Z. *et al.* Economic development and converging household carbon footprints in China. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 7, p. 529-537, 2020.

MIRZA, S. *et al.* Photocatalytic and antibacterial activities of ZnO nanoparticles synthesized from *Lupinus albus* and *Lupinus pilosus* plant extracts via green synthesis approach. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 155, 1º set. 2023.

MOHAMMADI, F. M.; GHASEMI, N. Influence of temperature and concentration on biosynthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using cherry extract. **Journal of Nanostructure in Chemistry**, v. 8, n. 1, p. 93-102, 1º abr. 2018.

MORANDIN, J. L. P. L.; DA SILVA, M. C.; MOURA, A. M. M de. Patents and technological development in the context of Open Science: Perspectives on the influence of informational secrecy and proprietary research. **Digital Journal of Library and Information Science**, v. 21, e023019, 2023.

NEVES, R. F. *et al.* Forecasting study of food-related patents protected by the University of Brasilia, Brazil: Case study. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 1º jun. 2023.

NGUYEN, N. T. T. *et al.* Green synthesis of ZnFe₂O₄ nanoparticles using plant extracts and their applications: A review. **Science of the Total Environment**, v. 872, 162212, maio 2023.

NORUZI, M. Biosynthesis of gold nanoparticles using plant extracts. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 38, p. 1-14, jan. 2015.

OLANIYAN, O. F. *et al.* Advances in green synthesis and application of nanoparticles from crop residues: A comprehensive review. **Scientific African**, v. 28, e02654, jun. 2025.

OSMAN, A. I. *et al.* Synthesis of green nanoparticles for energy, biomedical, environmental, agricultural, and food applications: A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 22, p. 841-887, abr. 2024.

PANDA, S.; SHARMA, R. Do changes in patent policy influence firms' technology strategy? Evidence from manufacturing in India. **Journal of Policy Modeling**, v. 43, n. 2, p. 362-375, 1º mar. 2021.

POURRAHIMI, A. M. *et al.* Heat treatment of ZnO nanoparticles: new methods to achieve high-purity nanoparticles for high-voltage applications. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 3, n. 33, p. 17.190-17.200, 16 jul. 2015.

RASHWAN, A. K. *et al.* Recycling food and agriculture by-products to mitigate climate change: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, p. 351-375, dez. 2023.

RIBEIRO, W. A.; SILVA, D. da C.; RABELO, A. A. Prospecção Tecnológica de Surfactantes Usados em Processos de Concentração Mineral. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 16, n. 6, p. 1.971-1.986, 2023.

ROCHA, M. B. da C. *et al.* Síntese verde: breve abordagem histórica, proposições e desafios na obtenção de nanopartículas inorgânicas. In: SILVA, G. S da; CASTANHEDE FILHO, A. J. (org). **Pesquisas da pós-graduação: química em foco – Amazônia legal, biodiversidade e desenvolvimento sustentável**. Ponta Grossa: Editora Atena, 2024. p. 188-199.

SAXENA, R. *et al.* A review on green synthesis of nanoparticles toward sustainable environment. **Sustainable Chemistry for Climate Action**, v. 6, 100071, jun. 2025.

SILVA, L. C. S.; TEN CATEN, C. S.; GAIA, S. Conceptual framework of green technology transfer at public university scope Brazilian. **Innovation and Green Development**, v. 2, n. 4, 1 dez. 2023.

SUPIN, K. K.; VASUNDHARA, M. Green synthesis of ZnO nanoparticles from Neem and Eucalyptus leaves extract for photocatalytic applications. **Materials Today: Proceedings**, v. 92, p. 787-795, 2023.

SUTHAR, K. P. *et al.* Inventores. NAVSARI AGRICULTURAL UNIVERSITY, Depositante. **Green Process wf Synthesizing Zinc Oxide Nanoparticles with Seedling Extract and Zinc Salt**. Índia IN202121008552A. 2022a.

SUTHAR, K. P. *et al.* Inventores. NAVSARI AGRICULTURAL UNIVERSITY, Depositante. **Green Process Of Synthesizing Zinc Oxide Nanoparticles with Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Zinc Salt**. Índia IN202121008534a. 2022b.

UDDIN, S. *et al.* Green synthesis of nickel oxide nanoparticles using leaf extract of *Berberis balochistanica*: Characterization, and diverse biological applications. **Microscopy Research and Technique**, v. 84, n. 9, p. 2004-2016, 1º set. 2021.

VARDHAN, T. V. *et al.* Inventores. Vardhan, T. V. *et al.*, Depositantes. **Method For Performing of Zinc Oxide Nanoparticles Using Lentinula Edodes Mushroom and Chitosan**. Índia IN202341052666A. 2023.

XU, A. *et al.* Accelerated green patent examination and innovation benefits: An analysis of private economic value and public environmental benefits. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 200, p. 123105, 2024.

XU, L. *et al.* Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. **Theranostics**, v. 10, n. 20, p. 8996-9031, jul. 2020.

XUEYAN, D. *et al.* Inventores. Lanzhou University Of Technology, Depositante. **ZnO Nanoparticle Regenerated Cellulose Composite Film and Preparation Method Thereof**. China CN117143374A. 2023.

YADAV, A. *et al.* Syzygium cumini leaf extract mediated green synthesis of ZnO nanoparticles: A sustained release for anticancer, antimicrobial, antioxidant, and anti-corrosive applications. **Journal of Molecular Structure**, v. 1325, p. 141017, 2025.

ZEGHOUD, S. *et al.* A review on biogenic green synthesis of ZnO nanoparticles by plant biomass and their applications. **Materials Today Communications**, v. 33, 104747, dez. 2022.

Sobre as Autoras

Gersiane Barp

E-mail: geersibarp@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0816-9878>

Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná em 2024.

Endereço profissional: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Guáira, n. 3.141, Jardim Santa Maria, Toledo, PR. CEP: 85903-220.

Melissa Longen Panatto

E-mail: mell.longen@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8649-4514>

Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná em 2025.

Endereço profissional: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Guáira, n. 3.141, Jardim Santa Maria, Toledo, PR. CEP: 85903-220.

Leila D. Fiorentin-Ferrari

E-mail: leiladeniseff@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6666-2160>

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá em 2009.

Endereço profissional: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Guaíra, n. 3.141, Jardim Santa Maria, Toledo, PR. CEP: 85903-220.

Veronice Slusarski-Santana

E-mail: veronice.santana@unioeste.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6246-0174>

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá em 2006.

Endereço profissional: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Guaíra, n. 3.141, Jardim Santa Maria, Toledo, PR. CEP: 85903-220.