REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS A BASE DE COBRE: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

GREEN SYNTHESIS OF COPPER-BASED NANOPARTICLES: AN INTEGRATIVE REVIEW

SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS A BASE DE COBRE: UNA REVISIÓN INTEGRATIVA

Nathan De Mello Munhoz
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade (PSU)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), Brasil
E-mail: nathanmunhozifpr@gmail.com

Giselle Giovanna Do Couto de Oliveira
Doutora em Química, Docente do IFPR – Campus Umuarama
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), Brasil
E-mail: giselle.couto@ifpr.edu.br

Otávio Akira Sakai
Doutor em Física, Docente do Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade (PSU)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), Brasil
E-mail: otavio.sakai@ifpr.edu.br

Resumo

A síntese verde de nanopartículas metálicas vem se destacando em relação aos modelos convencionais para a obtenção de nanomateriais, uma vez que utiliza-se de fontes biológicas que atuam como agentes redutores e estabilizantes, promovendo um método seguro e sustentável. Devido ao seu tamanho reduzido, metais em nanoescala apresentam propriedades físico-químicas específicas por possuir alta proporção entre área superficial e volume. Dentre as nanopartículas metálicas, o cobre vem ganhando espaço ao possuir funcionalidades similares aos demais metais nobres como o ouro e a prata, possuindo baixo custo e maior proporção de escalonamento. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a produção de nanopartículas a base de cobre por métodos de síntese verde utilizando extratos vegetais e suas principais aplicações, com ênfase na agricultura. Foi realizada uma revisão integrativa da literatura, de abordagem quali-quantitativa, nas bases de dados Scopus e Web of Science, considerando publicações a partir de janeiro de 2022. Observou-se um amplo crescimento no cenário científico ao que se relaciona a síntese verde de nanopartículas a base de cobre, demonstrando uma gama de condições de síntese e a ausência de um protocolo metodológico padronizado. Dentre as partes anatômicas da planta, predominaram-se a utilização das folhas para os extratos devido à alta concentração de metabólitos secundários, com maior frequência do sulfato, nitrato e cloreto de cobre como precursores. As técnicas de caracterização, FTIR, UV-Vis, DRX/XRD e MEV/SEM tiveram maior presença nos trabalhos analisados. Evidenciou-se aplicações antifúngicas, fotocatalíticas, biomédicas, ambientais e agrícolas, com predominância das atividades antimicrobianas, verificando-se menor ocorrência de aplicações entomológicas. Conclui-se que a síntese verde de nanopartículas a base de cobre

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

apresenta potencial para reduzir impactos de rotas convencionais, embora sua sustentabilidade dependa de solventes, consumo energético, purificação, geração de resíduos, toxicidade e viabilidade de escalonamento.
Palavras-chave: agricultura; extratos vegetais; nanopartículas a base de cobre; síntese verde; sustentabilidade.

Abstract

The green synthesis of metallic nanoparticles has emerged as a promising alternative to conventional methods of nanomaterial production, as it employs biological sources that act as reducing and stabilizing agents, thereby providing a safer and more sustainable approach. Due to their small size and high surface-area-to-volume ratio, nanoscale metals exhibit distinctive physicochemical properties. Among metallic nanoparticles, copper-based nanoparticles have gained increasing attention given that they offer functionalities comparable to those of noble metals such as gold and silver, while also providing lower production costs and greater scalability. In this context, the present study aimed to analyze the production of copper-based nanoparticles through green synthesis methods by using plant extracts, as well as their main applications, with a particular emphasis on agriculture. An integrative literature review employing a qualitative and quantitative approach was conducted using the Scopus and Web of Science databases and considering studies published as of January 2022 onward. The findings revealed substantial growth in scientific research on the green synthesis of copper nanoparticles, along with a wide range of synthesis conditions and the absence of a standardized methodological protocol. Among the anatomical parts of plants used to prepare extracts, leaves predominated in view of their high concentrations of secondary metabolites. Copper sulfate, copper nitrate, and copper chloride were the most frequently employed precursors. FTIR spectroscopy, UV–Vis spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy (SEM) were the most commonly used characterization techniques in the studies analyzed. Antifungal, photocatalytic, biomedical, environmental, and agricultural applications were identified, with antimicrobial activities being the most prevalent and entomological applications occurring less frequently. It is concluded that the green synthesis of copper-based nanoparticles has the potential to reduce impacts associated with conventional routes, although its sustainability depends on solvents, energy consumption, purification, waste generation, toxicity, and scale-up feasibility.
Keywords: agriculture; copper-based nanoparticles; green synthesis; plant extracts; sustainability.

Resumen

La síntesis verde de nanopartículas metálicas se ha destacado como una alternativa a los métodos convencionales de obtención de nanomateriales, ya que utiliza fuentes biológicas que actúan como agentes reductores y estabilizantes, lo que favorece un procedimiento seguro y sostenible. Debido a su reducido tamaño y a su elevada relación entre superficie y volumen, los metales a escala nanométrica presentan propiedades fisicoquímicas específicas. Entre las nanopartículas metálicas, las de cobre han adquirido una relevancia creciente, pues poseen funcionalidades similares a las de otros metales nobles, como el oro y la plata, además de presentar un menor costo y una mayor capacidad de escalabilidad. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la producción de nanopartículas a base de cobre mediante métodos de síntesis verde basados en el uso de extractos vegetales, así como sus principales aplicaciones, con especial énfasis en la agricultura. Se realizó una revisión integrativa de la literatura, con un enfoque cualitativo y cuantitativo, en las bases de datos Scopus y Web of Science, considerando publicaciones aparecidas a partir de enero de 2022. Se observó un crecimiento considerable de la producción científica relacionada con la síntesis verde de nanopartículas a base de cobre, lo que evidenció una amplia variedad de condiciones de síntesis y la ausencia de un protocolo metodológico estandarizado. Entre las distintas partes anatómicas de las plantas, predominó el uso de hojas para la preparación de los extractos, debido a su elevada concentración de metabolitos secundarios. Asimismo, el sulfato, el nitrato y el cloruro de cobre fueron los precursores empleados con mayor frecuencia. Las técnicas de caracterización más utilizadas en los estudios analizados fueron la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), la espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis), la difracción de rayos X (DRX/XRD) y la microscopía electrónica de barrido (MEB/SEM). Se identificaron aplicaciones antifúngicas, fotocatalíticas, biomédicas, ambientales y agrícolas, con predominio de las actividades

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

antimicrobianas y una menor incidencia de aplicaciones entomológicas. Se concluye que la síntesis verde de nanopartículas a base de cobre presenta potencial para reducir los impactos asociados a las rutas convencionales, aunque su sostenibilidad depende de los solventes, consumo energético, purificación, generación de residuos, toxicidad y viabilidad de escalado.
Palabras clave: agricultura; extractos vegetales; nanopartículas a base de cobre; síntesis verde; sostenibilidad.

1. Introdução

O homem e sua relação com o meio buscam, subjetivamente, a eficácia na promoção de uma melhor qualidade de vida, processo que apresenta fatores intrinsecamente ligados à evolução da sociedade (Framesche; Souza; Barbado, 2022). Com o crescimento da população mundial, é notória a necessidade de um sistema agrícola produtivo e seguro; contudo, as tecnologias atualmente adotadas, em sua maioria, acarretam uma série de impactos negativos à sustentabilidade (Baker et al., 2019). O controle biológico é visto como uma estratégia de grande relevância para os agricultores no combate contra insetos pragas, ao prevenir o uso de substâncias tóxicas e ao proporcionar maior custo-benefício em sua aplicação (Al-Azzazy e Alhewairini, 2024). As formigas cortadeiras, como as do gênero *Atta*, constituem um dos insetos pragas agrícolas mais importantes, afetam majoritariamente a agricultura e a pecuária, gerando impacto direto na produção de alimentos e atuando exclusivamente na região Neotropical, ou seja, do sul do México e Caribe até o extremo sul da América do Sul (Mota Filho et al., 2021). A busca por maior produtividade vem impulsionando o uso cada vez mais frequente de produtos químicos para o controle de pragas; como alguns produtos são de ação lenta, mesmo em pequenas quantidades, geram danos significativos (Silva, 2024). De acordo com Tudi et al. (2021), a contaminação pode ocorrer por meio de um desvio durante a aplicação, como a volatilização, lixiviação e o escoamento, afetando organismos não-alvo e se disseminando pelo ar, solo e em depósitos de corpos d'água. Segundo Rangel et al. (2023), devido a eficiência de ação formicida, o método químico é frequentemente adotado como defensivo agrícola, majoritariamente sendo em iscas granuladas, contudo apresenta alto valor operacional e progressiva contaminação frente sua toxicidade. Inseticidas que contêm neonicotinoides, por exemplo, possuem estimativa de permanência no ambiente superior a 20 anos, gerando impactos ambientais contínuos em corpos

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

d'água devido à sua alta solubilidade (Mercado, 2024).

Do ponto de vista regulatório, os ingredientes ativos empregados no controle de formigas cortadeiras apresentam particularidades importantes. No Brasil, a sulfluramida possui uso agrícola autorizado para o controle de formigas dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, enquanto o fipronil também possui usos autorizados como inseticida e formicida (Anvisa, 2026a, 2026b). Entretanto, a sulfluramida está relacionada ao ácido perfluorooctanossulfônico (PFOS), substância incluída no Anexo B da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes. A Convenção mantém como finalidade aceitável o emprego de iscas contendo sulfluramida para o controle de formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, sendo o Brasil um dos países que notificaram esse uso (Stockholm Convention, [s.d.]). Na União Europeia, por sua vez, a aprovação do fipronil como substância ativa em produtos fitofarmacêuticos expirou em 30 de setembro de 2017 (European Commission, 2016). Esse contexto regulatório, associado às preocupações ambientais relacionadas à persistência e aos efeitos de determinados ingredientes ativos, reforça a importância da investigação de alternativas de controle com menor impacto ambiental. Diante deste cenário, é de vital importância que novas formulações e tecnologias sejam desenvolvidas no que se refere aos defensivos agrícolas de origem biológica, capazes de reduzir os impactos ambientais e riscos à saúde. Nesse contexto a nanotecnologia tem ganhado alta relevância com a utilização de nanopartículas metálicas frente às suas propriedades físico-químicas, sendo esta uma alternativa plausível a ser estudada sob a perspectiva de novas formulações de bioinseticidas (Roy et al., 2024). Assim como a síntese verde ou biossíntese de nanopartículas está em crescente avanço, uma vez que a utilização de extratos vegetais proporciona baixo custo e não se faz uso de produtos tóxicos, o que resulta em um método seguro e sustentável (Cruz et al., 2020). Na síntese verde, biomoléculas ativas como fenóis, flavonoides, taninos, entre outros, atuam como agentes redutores e estabilizantes, reduzindo íons metálicos como Ag^{+}, Au^{3+} e Cu^{2+} a formas nanoparticuladas e impedindo que as NPs se aglomerem (Rautela et al., 2019).

Cada vez mais tem-se almejado o estudo no que se refere à morfologia, estrutura,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

composição e tamanho de nanomateriais e métodos ecologicamente corretos a serem utilizados (Garcia et al., 2021). Na literatura, nanopartículas metálicas (NPMs) estão em progressivo crescimento de pesquisa frente às suas propriedades físicas químicas, sendo considerado em escala nanométrica entre 1 a 100 nanômetros, dentre todas as suas funcionalidades que a caracteriza, sua eficiência em abranger maior área superficial, vem possuindo maior visibilidade e aplicação (Guimarães, Amarante e Oliveira, 2021). Segundo Melo et al. (2020), as NPMs possuem características exclusivas por apresentarem, em sua superfície, maior quantidade de átomos, íons ou moléculas em detrimento de seu interior. Essa relação entre área/volume na superfície faz com que tais propriedades biológicas, físicas, ópticas e magnéticas ganhem maior amplitude. Sendo o óxido de cobre — destaca-se na forma de nanopartículas, por se tratar de um óxido metálico de transição — sintetizado por biossíntese em tamanho reduzido, o que resulta em alto percentual de área superficial e maior reatividade (Bejan et al., 2024). Apesar do crescente número de estudos sobre síntese verde de NPMs, revisões integrativas que articulem produção, caracterização e aplicação agrícola de nanopartículas a base de cobre permanecem limitadas.

Nesse cenário, esta revisão da literatura tem como objetivo fornecer uma visão geral da produção de nanopartículas a base de cobre e de suas possíveis aplicações na agricultura, em novas formulações de formicidas e fungicidas, por meio de métodos de síntese verde. Diante disso, ao introduzir a temática, segue-se a descrição da metodologia adotada para o desenvolvimento da revisão integrativa, bem como a apresentação dos resultados e a discussão dos dados bibliográficos levantados.

2. Metodologia

O estudo procedeu-se com uma abordagem quali-quantitativa por meio de uma revisão integrativa da literatura nas bases *Scopus* e *Web of Science (WOS)* no período de janeiro de 2022 a maio de 2026, focada no aprofundamento do conhecimento sobre a síntese verde de CuNPs e sua aplicação no controle biológico, estabelecendo uma análise descritiva e quantitativa dos dados

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

bibliográficos levantados. O método descritivo, segundo Souza, Silva e Carvalho (2010), fundamenta-se em seis fases: elaboração da pergunta norteadora, busca ou amostragem na literatura, coleta de dados, análise crítica dos estudos incluídos e discussão dos resultados que compõem a revisão integrativa. Para a análise do panorama científico geral, utilizou-se do *software RStudio* (versão 2026.04.0+526), utilizando o pacote *bibliometrix* e sua interface gráfica *Biblioshiny* (Aria; Cuccurullo, 2017).

A pergunta norteadora deste estudo foi: Quais são os métodos de síntese verde utilizados na produção de nanopartículas a base de cobre e quais são suas principais aplicações?

Para tanto, as bases de dados utilizadas foram *Scopus* e *Web of Science (WOS)*; estas foram selecionadas em razão de suas amplitudes e abrangências interdisciplinares, da padronização dos metadados e da compatibilidade com análises bibliométricas quantitativas, bem como pela maior viabilidade no uso de *strings* mais longos e complexos. Os termos de busca foram: "*green synthesis*", *"Copper nanoparticles", "Antifungal activity", "Insecticidal activity",* combinados com operadores booleanos *(AND, OR)* para aprimorar a busca e obter artigos relevantes. Foram consideradas, sob critérios de inclusão, as publicações em revistas científicas no período de janeiro de 2022 a maio de 2026, em idiomas como português (Brasil) e inglês. Foram excluídos estudos de teses, livros, capítulos de livros, dissertações, itens duplicados e artigos que, após leitura completa, não apresentassem nexo com a questão norteadora nem com os objetivos da revisão.

A busca realizada nas plataformas pesquisadas considerando o refinamento da pesquisa, resultou inicialmente em 321 artigos, após a exclusão das duplicatas esse número reduziu a 197 artigos, no qual foram analisados para a discussão dos dados bibliométricos. Para a análise descritiva, os registros foram submetidos à leitura de título e resumo e, quando potencialmente elegíveis, à leitura do texto completo. A relevância foi determinada pela aderência à questão norteadora, considerando estudos que abordassem a síntese verde de nanomateriais a base de cobre a partir de fontes vegetais e apresentassem informações referentes à produção, caracterização ou aplicação desses materiais, o que resultou em 33

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

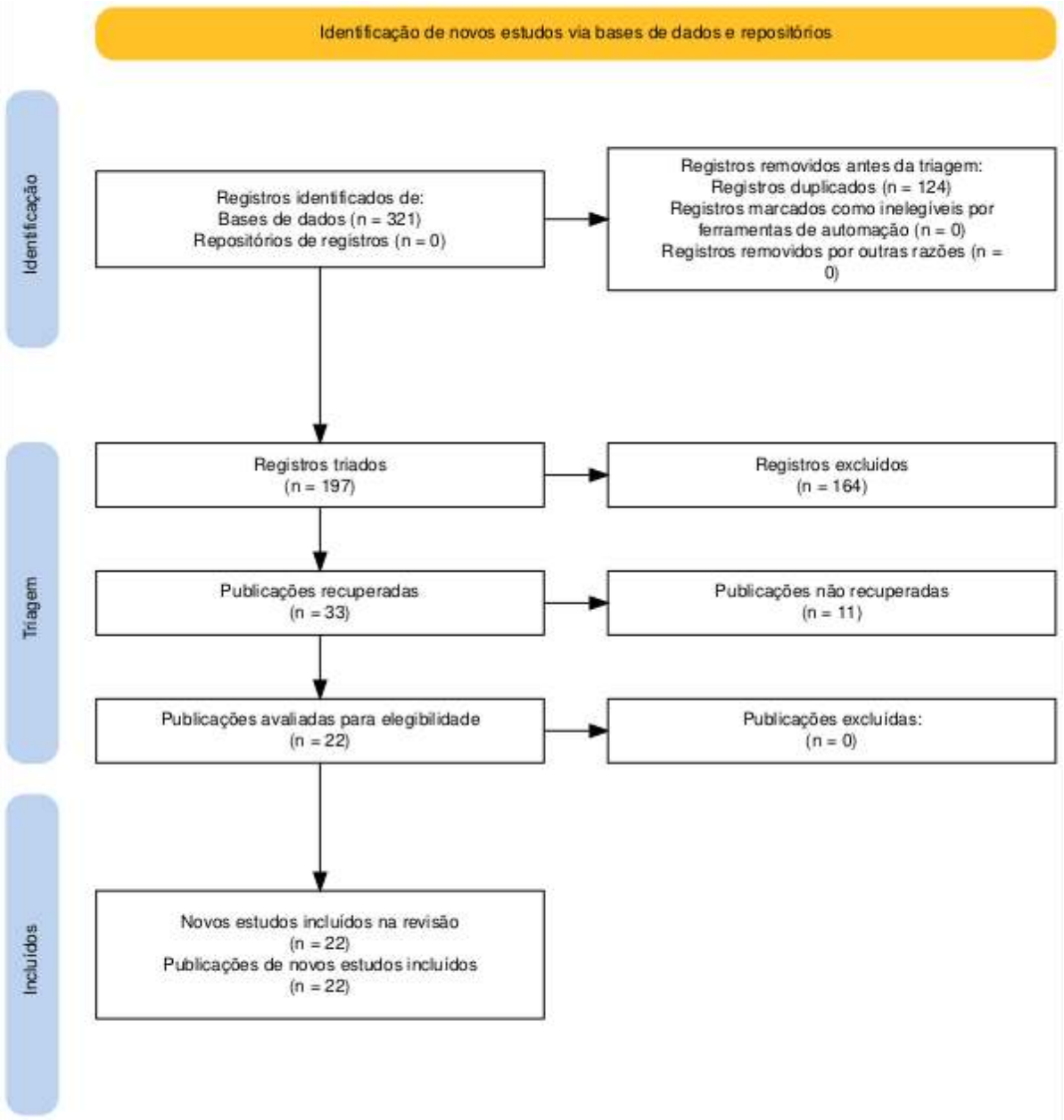
trabalhos selecionados para a leitura completa, dos quais 11 não recuperados por problemas técnicos de acesso, resultando em 22 estudos para leitura completa que irá compor a Revisão Integrativa. Para os estudos selecionados para leitura na íntegra, foram realizadas tentativas de recuperação do texto completo por meio das páginas das editoras, DOI e mecanismos de busca acadêmica. Os trabalhos cujo texto completo permaneceu indisponível após essas tentativas foram classificados como relatórios não recuperados, conforme a Figura 1. A disponibilidade em acesso aberto não foi utilizada como critério de elegibilidade.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

Figura 1. Fluxograma PRISMA



Fonte: Elaborado pelos autores com base no PRISMA 2020 (Page et al., 2021), utilizando o aplicativo PRISMA2020 (Haddaway et al., 2022).

Para a triagem, foram utilizadas strings de busca e realizou-se a leitura dos resumos coerentes com o objetivo da revisão e a leitura completa dos artigos com informações pertinentes ao estudo. Foi realizado conforme as etapas apresentadas na figura 1.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

Quadro 1. Estratégia de busca por conceito, *strings* de busca e número de registros recuperados nas bases Scopus e Web of Science.

ORDEM DA BUSCA	CONCEITO	*STRING* DE BUSCA	*Scopus*	*Web of Science*	*TOTAL*
1°	Síntese verde de nanopartículas de cobre	*("green synthesis" OR "biosynthesis") AND ("copper nanoparticles") AND ("plant" OR "plant extract" OR "leaf extract" OR "phyto" OR "botanical")*	*91*	*127*	*218*
2°	Atividade inseticida	*("green synthesis" OR "biosynthesis") AND ("copper nanoparticles") AND ("insecticidal" OR "pesticide" OR "pest control" OR "pest" OR "insects")*	*22*	*7*	*29*
3°	Atividade antifúngica	*("green synthesis" OR "biosynthesis") AND ("copper nanoparticles") AND ("antifungal" OR "fungi" OR "fungal")*	*34*	*40*	*74*
TOTAL BRUTO:	-	-	*147*	*174*	*321*

Fonte: Elaborado pelos autores com base nas buscas realizadas nas bases Scopus e Web of Science (2026).

A segunda fase consiste na busca nas plataformas, utilizando as *strings* formadas pelos operadores *booleanos (AND e OR)*, conforme o quadro 1. Os dados coletados, por meio do *software RStudio*, utilizando o pacote *bibliometrix* e sua interface gráfica *Biblioshiny*, foram exportados das bases selecionadas em formato *Excel* e em Documento de texto simples e sem formatação, em que ambos foram convertidos para um formato compatível com o pacote, sendo os dados reunidos e removido os itens duplicados, concluindo a terceira fase. Para a análise crítica dos estudos incluídos em consonância com a quarta fase, levaram-se em consideração tanto a discussão bibliométrica quanto a descritiva dos resultados obtidos. Para a discussão da análise bibliométrica, foram considerados todos os resultados da busca, conforme o refinamento da pesquisa, aplicando os critérios de inclusão e exclusão. Já para a análise descritiva, devido ao volume dos resultados da busca, levou-se em consideração para a discussão da mesma, um subconjunto dos estudos com base nos critérios de relevância e atualidade, em

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

que os estudos foram submetidos à leitura de título, resumo e texto completo, sendo selecionados aqueles com maior aderência ao objetivo da pesquisa.

Após a etapa de triagem, com coleta e extração dos dados obtidos, estes foram organizados por meio de quadros sinóticos, tabelas e gráficos, com o objetivo de viabilizar uma comparação sistemática que identifique padrões, diferenças e similaridades nos processos de síntese verde assim como em sua aplicação, sendo imprescindível para a análise e discussão dos resultados, conforme prevê a revisão integrativa.

Para complementar a síntese descritiva, foi realizada uma avaliação crítica da qualidade metodológica dos estudos incluídos, conforme os princípios de avaliação propostos para revisões integrativas por Whittemore e Knafl (2005). Considerando as características experimentais dos estudos analisados, foi elaborada pelos autores uma matriz contemplando sete critérios: descrição do protocolo de síntese; adequação das técnicas empregadas para identificação da composição/fase química; caracterização do tamanho e da morfologia das partículas; presença de controles experimentais, quando aplicável; descrição de replicação experimental; emprego de análise estatística, quando aplicável; e apresentação de limitações ou incertezas metodológicas. Cada critério foi classificado como adequado (A), parcialmente adequado (P) ou não informado/não atendido (N). A avaliação teve caráter descritivo e não foi utilizada como critério de exclusão dos estudos.

3. Resultados e Discussão

Os resultados, assim apresentados, têm por objetivo a compreensão do panorama científico da síntese verde de nanopartículas á base de cobre e de suas principais aplicações. Primeiramente, será apresentada uma visão do cenário científico global da totalidade dos trabalhos obtidos, a fim de identificar tendências de publicação, principais autores e palavras-chave, e, posteriormente, uma análise descritiva dos estudos selecionados, com ênfase em aspectos metodológicos e experimentais, frente a nanopartículas a base de cobre sintetizadas a partir de extratos vegetais reportadas na literatura.

CC BY

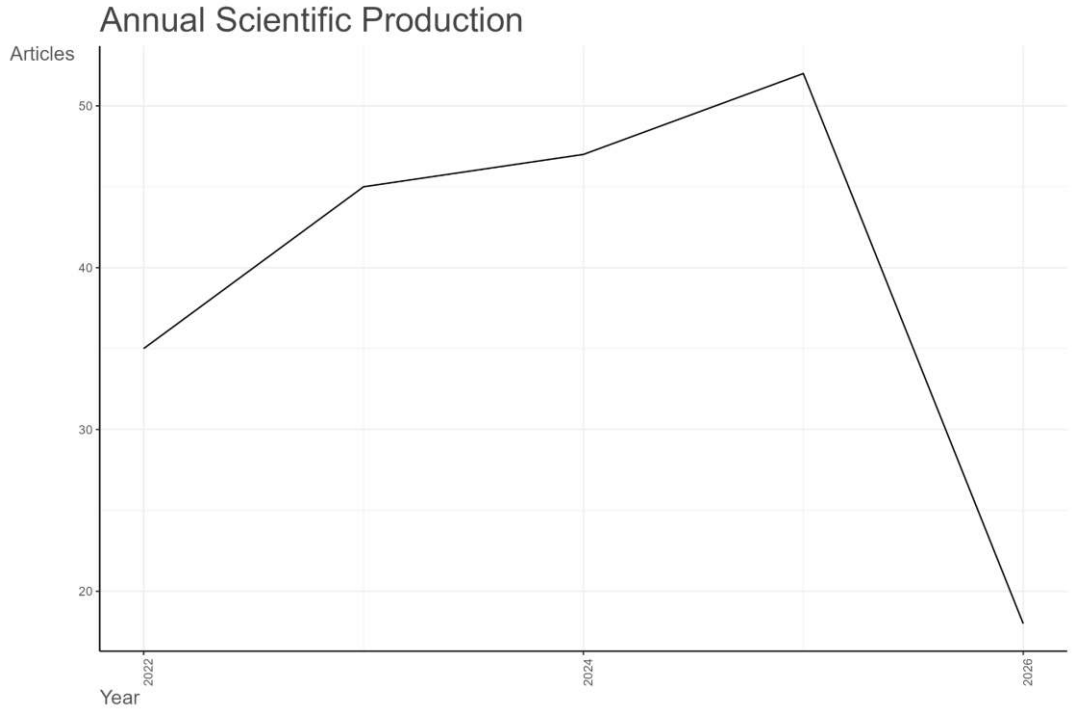
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

3.1 Panorama científico

A evolução temporal da produção científica é demonstrada na Figura 2, permitindo observar a tendência das publicações frente à temática ao longo do período avaliado.

Figura 2. Produção Científica Anual



Fonte: Biblioshiny/Bibliometrix (2026).

Evidencia-se uma tendência de crescimento da produção científica relacionada à síntese verde de nanopartículas a base de cobre entre 2022 e 2025. Nesse período, o número de publicações aumentou de 35, em 2022, para 52, em 2025, correspondendo a um crescimento de aproximadamente 48,6%, calculado pela variação percentual entre esses dois anos. Ressalta-se que os dados referentes a 2026 abrangem apenas o período até maio, conforme delimitado na estratégia de busca, não devendo, portanto, ser diretamente comparados aos anos completos anteriores. O maior número de publicações foi observado em 2025, evidenciando o aumento do interesse científico pela temática. Segundo Degrecci e

CC BY

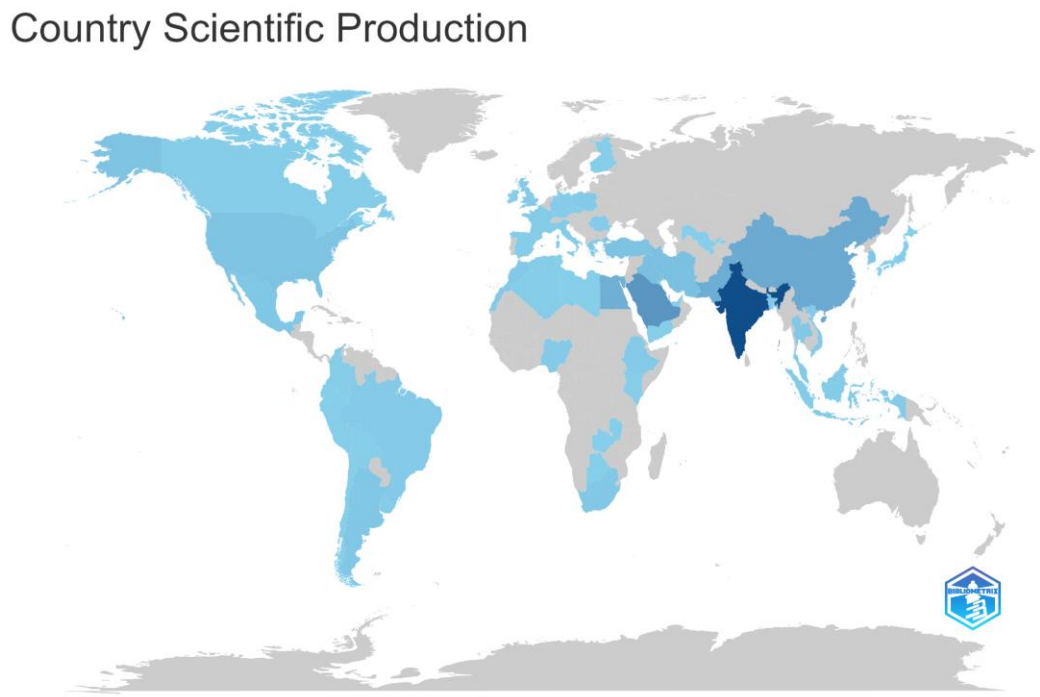
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

Parreira (2022), processos baseados em rotas verdes têm despertado interesse da comunidade científica por apresentarem potencial como alternativas mais sustentáveis aos métodos convencionais.

A figura 3 apresenta a distribuição geográfica da produção científica, destacando os países que contribuíram para as publicações recuperadas, enquanto a figura 4 exibe a distribuição dos países de afiliação dos autores correspondentes, indicando os países com maior participação na produção científica e a colaboração nacional e internacional.

Figura 3. Produção Científica por País



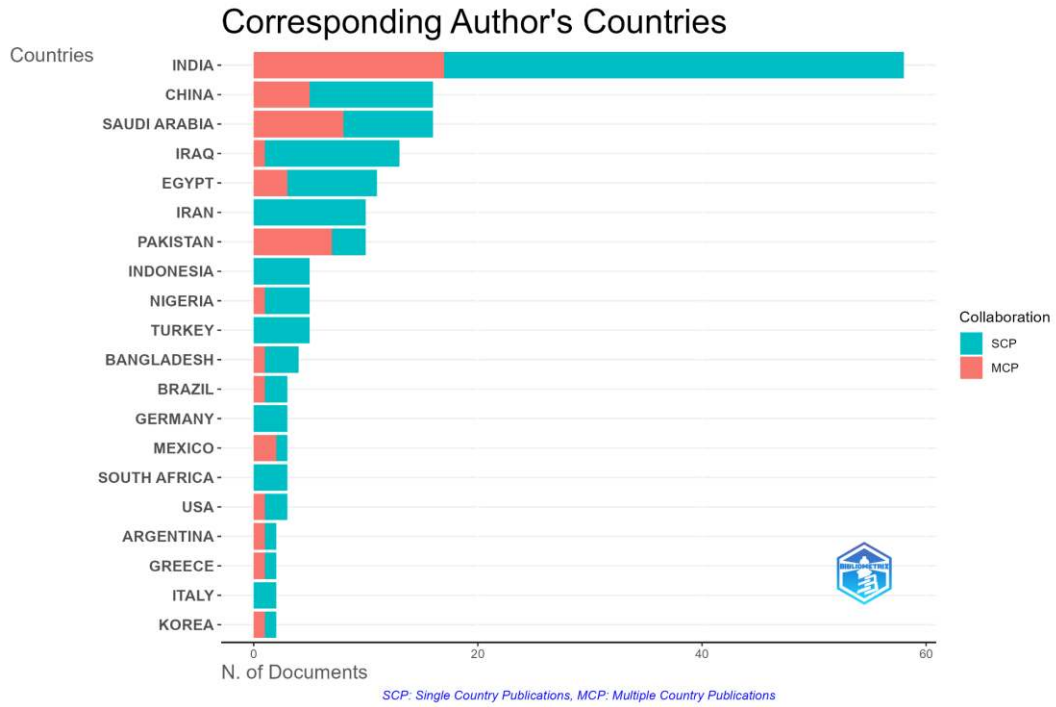
Fonte: Biblioshiny/Bibliometrix (2026).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

Figura 4. Países dos Autores Correspondentes



Fonte: Biblioshiny/Bibliometrix (2026).

Observando as figuras 3 e 4, é possível afirmar que há uma expansão da temática, com maior intensidade em países asiáticos, com predominância na Índia, Arábia Saudita e China. Percebe-se que há maior centralidade da produção científica ocorrendo majoritariamente em território nacional *(SCP)*, ou seja, dentro do próprio país, em relação à participação de colaborações internacionais *(MCP).* Índia, China e Arábia Saudita continuam permanecendo no topo como mostrado tanto na figura 3, quanto na 4, porém ao se analisar o *MCP*, Paquistão, México e Coreia, apresentam frequente participação e colaboração em estudos internacionais.

A liderança da Índia, a princípio, se mostra impulsionada pela presença de uma rica biodiversidade atraente para a síntese verde de nanomateriais e pelo interesse em alternativas mais sustentáveis para a obtenção de nanopartículas. Segundo Hassan et al. (2026), potencializa-se por estabelecer ligações que são cruciais para a rede global de pesquisa, impulsionada por interesses científicos comuns e por investimentos colaborativos. Porém, ainda há uma centralidade na

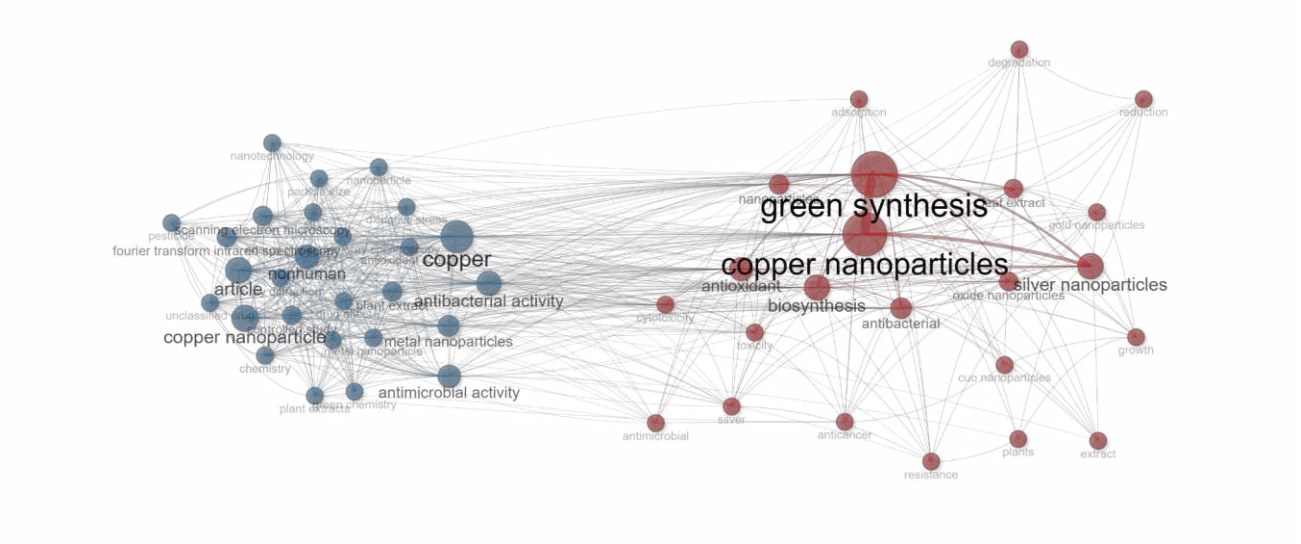
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

produção científica regional, o que abre debate sobre a necessidade de maior internacionalização das pesquisas.

Figura 5. Mapa de Coocorrência de Palavras-chave



Fonte: Biblioshiny/Bibliometrix (2026).

A análise da rede de coocorrência de palavras-chave resultou na formação de dois clusters: um aglomerado em vermelho e o outro em azul, conforme observado na figura 5. Enquanto o vermelho tem destaque nas palavras *"green synthesis"* e *"copper nanoparticles"*, o azul enfatiza as palavras *copper, nonhuman e microscopy,* ou seja, enquanto o conjunto em vermelho está intrínseco à síntese verde de nanopartículas á base de cobre e suas aplicações, o conjunto azul enfatiza termos ligados ao processo de caracterização físico-química das CuNPs. É possível observar que o processo de síntese de nanopartículas possui caráter multidisciplinar, ressaltando que tais tendências integram diferentes áreas de conhecimento, como nanotecnologia, química, biológicas, assim como sua aplicação tanto em áreas médicas quanto nanotecnológicas. O padrão na literatura observado aponta que etapas de caracterização das propriedades físico-químicas se fazem necessárias em processos de síntese verde independentemente das aplicações cabíveis, e que métodos ecologicamente corretos estão em constante evolução.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

A análise dos dados demonstra o progresso no cenário global da produção científica nos últimos anos, em relação ao estudo de nanomateriais e nanopartículas metálicas, reforçando o interesse e a constante busca por métodos que possibilitem reduzir danos ambientais. Esses resultados serviram de base para a compreensão e a discussão da análise descritiva.

3.2 Análise Descritiva

A análise bibliométrica considerou os 197 registros obtidos após a remoção das duplicatas. Para a composição do corpus da revisão integrativa, esses registros foram submetidos à triagem por título e resumo, considerando sua aderência à questão norteadora. Quando potencialmente elegíveis, procedeu-se à avaliação do texto completo. Dessa etapa, 33 estudos foram selecionados para recuperação do texto completo; 11 não puderam ser recuperados após as tentativas descritas na metodologia, resultando em 22 estudos incluídos na análise descritiva, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Caracterização geral dos estudos incluídos segundo autor/ano, título da base de dados e objetivos.

N°	REFERÊNCIA/ANO	TÍTULO DO ARTIGO	OBJETIVOS PRINCIPAIS
1	Abbas et al., 2025	Green synthesis of copper nanoparticles using Daucus carota leaf extract and their anticancer activity against Hep3B liver cancer cells	Obter nanopartículas de cobre por meio da Síntese Verde e verificar seu potencial anticancerígeno contra células tumorais hepáticas;
2	Zambare; Survase; Kanase, 2023	Green Synthesis of Copper Nanoparticles Using Leaf Extract of *Ocimum sanctum* and its Antimicrobial Activity	Produção de nanopartículas de cobre por meio da síntese verde utilizando o extrato de *Ocimum sanctum (tulsi)* e seu potencial contra infecções bacterianas hospitalares;
3	Duong *et al*., 2023	Durian Shell-Mediated Simple Green Synthesis of Nanocopper against Plant Pathogenic Fungi	Realizar a síntese verde de nanopartículas de cobre por meio do extrato aquoso da casca do *Durião* e seu potencial fungicida frente a fungos patogênicos que afetam plantas;
4	Shalal, 2023.	Green Synthesis of Copper Nanoparticles and their Activity against *Aspergillus* chitin	Obter nanopartículas de cobre sintetizadas via verde por meio do extrato de *Curcuma longa* e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

		Deacetylase Gene and Cellulose Dehydrogenase Protein Expression	verificar sua atividade antifúngica contra *Aspergillus*, investigando seu efeito na expressão de genes relacionados à síntese de quitina
5	Granados Ortiz *et al*., 2025	Green Synthesis and Foliar Application of Copper Nanoparticles in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) to Improve Physiological Parameters and Yield	Obter nanopartículas de cobre por meio de síntese verde a partir de extratos de *Aloe vera* e sua aplicação foliar em dois híbridos de girassol.
6	Saha *et al*., 2026	Multimodal Copper Nanoparticle Platforms via Green Synthesis for Enhanced Photocatalytic and Biomedical Performance	Obter nanopartículas de cobre por meio de um método de síntese verde a partir do extrato vegetal de *Diospyros malabarica* e suas aplicações na degradação de corantes, nas propriedades antimicrobianas e nas atividades antioxidantes e anti-inflamatórias.
7	Akpanudo; Olabemiwo, 2024	Green synthesis and characterization of copper nanoparticles (CuNPs) and composites (CuC) using the *Echinochloa pyramidalis* extract and their application in the remediation of PAHs in water	Sintetizar nanopartículas de cobre e seus nano compósitos (CuC) por meio do método de síntese verde a partir de extratos de diferentes partes da planta *Echinochloa pyramidalis* e sua aplicação na remoção de compostos de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) presentes na água.
8	Nqunqa *et al*., 2026	Green Synthesis of Copper Nanoparticles From Onion Peel for Wastewater Bacteria Detection and Methyl Orange Degradation	Obter nanopartículas de cobre por síntese verde por meio do extrato de casca de cebola (OPE) e avaliar o potencial antibacteriano contra a bactéria *Klebsiella pneumoniae* e sua eficácia na degradação fotocatalítica do corante Orange de Metila;
9	Maulana *et al*., 2023	Green synthesis of copper nanoparticles employing Annona squamosa L. extract as antimicrobial and anticancer agents	Obter nanopartículas de cobre por meio de um método de síntese verde a partir do extrato da casca do caule de *Annona squamosa L*. e avaliar seu potencial antimicrobiano e anticâncer.
10	Prakash *et al*., 2023	Eco-friendly green synthesis of copper nanoparticles from *Tinospora cordifolia* leaves: optical properties with biological evaluation of anti-microbial, anti-inflammatory and anti-oxidant applications	Obter nanopartículas de cobre por meio do método de síntese verde a partir do extrato de folhas de *Tinospora cordifolia* e avaliar seu potencial em áreas biomédicas;

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

11	Maulana *et al*., 2024.	Green Synthesis of Copper Nanoparticles Using *Polyalthia longifolia* Roots and their Bioactivities Against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Candida albicans*	Obter nanopartículas de cobre pelo método de síntese verde a partir do extrato das raízes de *Polyalthia longifolia* e investigar seu potencial antibacteriano e antifúngico contra *Escherichia coli, Staphylococcus aureus e Candida albicans*;
12	Guo *et al*., 2023	Treatment of Nerve Cancer with the Green Synthesis of CuO NPs	Sintetizar, pelo método de síntese verde, nanopartículas de óxido de cobre (CuO) a partir do extrato de *Boswellia thurifera* e avaliar suas propriedades contra células de câncer de nervo humano.
13	Huang *et al*., 2024	Green Synthesis of Copper Nanoparticles Using White Tea Leaf Extract: Characterization, Adsorption Behavior, and Antibacterial Applications	Sintetizar nanopartículas de cobre pelo método de síntese verde a partir do extrato de chá branco, caracterizá-las e investigar sua capacidade de adsorção.
14	Mahal *et al*., 2024	Green Synthesis and Antimicrobial Activity of Copper Nanoparticles (Cu-NPs) by *Piper longum* Fruit Extract	Sintetizar nanopartículas de cobre por meio de síntese verde a partir do extrato de *Piper longum*, caracterizá-las e investigar seu potencial antibacteriano.
15	Kausar *et al*., 2022	Green synthesis and characterization of copper nanoparticles for investigating their effect on germination and growth of wheat	Sintetizar nanopartículas de cobre pelo método síntese verde por meio do extrato de *Mentha longifolia,* caracterizá-las e analisar sua influência na germinação, no crescimento e nos atributos bioquímicos do trigo.
16	Tumiso *et al*., 2026	Catalytic Degradation of Toxic Rhodamine B and Safranin O Dyes With Green Synthesized Copper Nanoparticles	Sintetizar nanopartículas de cobre pelo método síntese verde a partir do extrato de *Vernonia amygdalina* e avaliar seu potencial na degradação de corantes orgânicos tóxicos.
17	Saeedi *et al*., 2025	Antimicrobial, Anti-inflammatory, Angiogenesis, and Wound Healing Activities of Copper Nanoparticles Green Synthesized by *Lupinus arcticus* Extract	Sintetizar nanopartículas de cobre por meio de síntese verde com extrato de *Lupinus arcticus*, investigando seu potencial antimicrobiano, anti-inflamatório, angiogênico e cicatrizante.
18	Yu *et al*., 2025	Green Synthesis of Copper Nanoparticles from the Aqueous Extract of *Lonicera japonica* Thunb and Evaluation of Its Catalytic Property and Cytotoxicity and	Sintetizar nanopartículas de cobre pelo método verde a partir do extrato de *Lonicera japonica Thunb*. E investigar seu potencial antimicrobiano e suas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

		Antimicrobial Activity	propriedades catalíticas na degradação de corantes orgânicos.
19	Asmat-Campos *et al*., 2023	Cu_2O nanoparticles synthesized by green and chemical routes, and evaluation of their antibacterial and antifungal effect on functionalized textiles.	Obter nanopartículas de óxido cuproso (Cu_2O) por métodos sustentáveis a partir do extrato de *Myrciaria dubia (camu-camu*) , caracterizá-las e investigar seu potencial antimicrobiano.
20	Hamad *et al*., 2023	Green synthesis of copper nanoparticles using strawberry leaves and study of properties, anti-cancer action, and activity against bacteria isolated from Covid-19 patients	Obter nanopartículas de cobre pelo método síntese verde a partir do extrato de folhas de morango investigando seu potencial anticancerígeno e contra bactérias isoladas de pacientes com Covid-19
21	Medjdoub *et al*., 2024	Green Synthesis of CuO Nanoparticles Using Aqueous Extract of (*Artemisia herba alba*) and Their Potential Applications as Antimicrobial Agents	Sintetizar e caracterizar nanopartículas de óxido de cobre (CuO) por método de síntese verde a partir do extrato de *Artemisia herba alba* e investigar seu potencial antimicrobiano;
22	Solorzano Toala et al., 2024	Biosynthesis of Copper Nanoparticles from Acacia cornigera and Annona purpurea and Their Insecticidal Effect against Tribolium castaneum	Sintetizar nanopartículas de cobre a partir de extratos vegetais de *Acacia cornigera* e *Annona purpurea*, otimizar as condições de biossíntese e avaliar sua atividade inseticida contra *Tribolium castaneum*.

Fonte: Autores, 2026

Tabela 1. Detalhes Metodológicos Síntese verde

n°	PLANTA UTILIZADA	PARTE DA PLANTA	TIPO DE EXTRATO	PRECURSOR	TAMANHO REPORTADO (NM)	TÉCNICA	TEMPO DE FORMAÇÃO DAS NPS	APLICAÇÃO PRINCIPAL
1	*Daucus carota*	Folhas	Aquoso	$(Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O)$	58,3; XRD: 42,6	TEM; DRX	3 h	Anticancerígena
2	*Ocimum sanctum*	Folhas	Aquoso	$CuSO_4$	80–110; média 90; XRD: ≈43	SEM; DRX	3h32	Antimicrobiana
3	*Durio zibethinus*	Casca do fruto	Aquoso	$CuSO_4$	27,8 ± 4,9; DLS: 36,8 ± 0,9; XRD: Cu_2O 40,5 / Cu 28,3	TEM; DLS; DRX	1h30	Fungicida agrícola
4	*Curcuma longa*	Raízes	Metanol e etanol	$(Cu(NO_3)_2)$	50–60	DLS; NTA	48h a 72h	Antifúngica

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

5	*Aloe vera*	Folhas	Aquoso	($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	Np1: 242,8 (62,6%) / 74,87 (37,4%); Np2: 339,6 (90,7%) / 66,07 (9,3%)	DLS	24 h	Agrícola
6	*Diospyros malabarica*	Folhas	Aquoso	($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	65,22; DRX: 24,825	SEM; DRX	1h05	Fotocatálise
7	*Echinochloa pyramidalis*	Folhas, caule e raízes	Aquoso	($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	DLS: ≈22–25; DRX: ≈3,93–5,30; TEM: 50 (raiz), 50 (caule), 200 (folha)	TEM; DLS; DRX	4 h	Adsorção
8	*Allium cepa*	Casca	Aquoso	($CuSO_4$ $5H_2O$)	3 21; DRX: 18; DLS: 63,5	HRTEM; DLS; DRX	24 h	Antibacteriana
9	*Annona squamosa*	Casca do caule	Aquoso	($CuSO_4 \cdot 0.1$ M)	13,7 ± 3,3; faixa ≈2,5–22,5	TEM	24 h	Antimicrobiana
10	*Tinospora cordifolia*	Folhas	Aquoso	($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	SEM: 15–40; TEM: 2–65; DRX: 22,52	SEM; TEM; DRX	2 h	Antimicrobiana
11	*Polyalthia longifolia*	Raízes	Aquoso	$CuSO_4$	2–10; predominando 4–6	TEM	24 h	Antimicrobiana
12	*Boswellia thurifera*	Folhas	Aquoso	$Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$	14,1–37,9; DRX: 27,2	TEM/FE-SEM; DRX	12 h	Anticancerígena
13	*Camellia sinensis*	Folhas	Aquoso	$CuSO_4/Cu(NO_3)_2$	6,42 (BS) / 7,09 (BN)	TEM	12 h	Antibacteriana
14	*Piper longum*	Frutos	Aquoso Etanólico	($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	TEM: 100; FE-SEM: 35–320	TEM; FESEM	3 h	Antibacteriana
15	*Mentha longifolia*	Inteiro	Aquoso	$CuSO_4$	23	SEM	24 h	Agrícola
16	*Vernonia amygdalina*	Folhas	Aquoso	($Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$)	2,406	DRX	24 h	Fotocatálise
17	*Lupinus arcticus*	Partes aéreas	Aquoso	$CuSO_4$	10–85, predominando 30–50	SEM	12 h	Cicatrização
18	*Lonicera japonica*	Flores	Aquoso	($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	2–4; DLS: 6 ± 1	HRTEM; DLS	-	Antimicrobiana
19	*Myrciaria dubia*	Fruto	Aquoso	($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	2,36 ± 0,47	TEM	-	Antibacteriana Antifúngica
20	*Fragaria ananassa*	Folhas	Aquoso	$CuCl_2$	46,59–58,82; AFM: 18–20	SEM; AFM	7 h	Anticancerígena
21	*Artemisia herba alba*	Folhas	Aquoso	$CuSO_4$	113	DRX	2h	Antimicrobiana

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

22	*Acacia cornigera* / *Annona purpurea*	Folhas	Aquoso	$CuSO_4$	SEM: **81–94 / 87–193**; DLS: **26,28 / 29,91**	SEM; DLS	40 min	Inseticida

Fonte: Autores, 2026
Nota: TEM = microscopia eletrônica de transmissão; SEM = microscopia eletrônica de varredura; HRTEM = microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução; DLS = espalhamento dinâmico de luz; DRX = difração de raios X; NTA = análise de rastreamento de nanopartículas; FE-SEM = microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo. Os valores obtidos por diferentes técnicas representam parâmetros distintos: TEM, SEM e HRTEM fornecem dimensões físicas observadas das partículas; DLS estima o diâmetro hidrodinâmico em suspensão; e DRX, associado à equação de Scherrer, estima o tamanho de cristalito. Portanto, esses valores não são diretamente comparáveis entre si.

3.2.1 Caracterização geral dos estudos

A análise dos aspectos metodológicos apresentados, conforme a tabela 1, evidencia ampla variabilidade na obtenção de nanopartículas por meio de métodos de síntese verde. Por mais que o método visa uma abordagem ecológica, segura e econômica conforme afirma Abbas et al. (2025), essa diversidade de possibilidades de extratos vegetais, condições de síntese e métodos de caracterização, enfatiza que não há um protocolo metodológico padronizado.

Embora os estudos reportados apresentaram uma diversidade de condições de síntese, foi possível observar diferenças quanto á identidade química dos nanomateriais. Com isso, ao apresentarem por meio das técnicas de caracterização, diferentes fases químicas e estados de oxidação do cobre, os nanomateriais foram classificados conforme o Quadro 3.

Quadro 3. Identidade química, estado de oxidação e técnicas empregadas

N°	REFERÊNCIA/ANO	MATERIAL/FASE IDENTIFICADA OU ATRIBUÍDA	ESTADO DE OXIDAÇÃO DO CU	TÉCNICA/EVIDÊNCIA DE IDENTIFICAÇÃO
1	Abbas et al., 2025	Cuº	Cu(0)	**DRX/XRD**: picos em ~43,2°, 50,4° e 74,1°, atribuídos aos planos (111), (200) e (220) da estrutura CFC do cobre metálico; JCPDS 04-0836.
2	Zambare; Survase; Kanase, 2023	Cuº	Cu(0)	**DRX/XRD**: 43,20°, 50,37° e 73,99°, planos (111), (200) e (220), compatíveis com JCPDS 04-0836.
3	Duong *et al*., 2023	Cuº + Cu_2O	Cu(0) + Cu(I)	**DRX/XRD + EDS**. Cu_2O identificado pelo JCPDS 05-0667 e Cuº pelo JCPDS 04-0836.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

4	Shalal, 2023.	Identidade química não suficientemente confirmada	**-**	O estudo denomina o produto "CuNPs" e menciona **DRX**, UV-Vis, FTIR e NTA, porém os resultados disponibilizados enfatizam UV-Vis, FTIR e NTA e não apresentam atribuição cristalográfica suficiente para determinar Cu^0/Cu_2O/CuO.
5	Granados Ortiz *et al*., 2025	Identidade química não suficientemente confirmada	**-**	**UV-Vis e DLS**. Essas técnicas sustentam formação/distribuição de nanopartículas, mas não estabelecem de forma inequívoca a fase química ou o estado de oxidação do Cu.
6	Saha *et al*., 2026	Cu^0 atribuído pelos autores	Cu(0)	**DRX/XRD**: estrutura cristalina atribuída ao cobre CFC, associada aos planos característicos do Cu.
7	Akpanudo; Olabemiwo, 2024	Identidade química não suficientemente confirmada	**-**	**DRX/XRD** foi empregado e os picos foram tratados como típicos de "CuNPs", porém não há identificação de fase/estado de oxidação suficientemente robusta para classificá-los inequivocamente como Cu^0.
8	Nqunqa *et al*., 2026	Identificação inconsistente; CuO é sugerido pelo padrão citado	Provável Cu(II)	**DRX/XRD**. O artigo descreve estrutura monoclínica e utiliza JCPDS 89-5899, padrão associado a **CuO**, embora o texto o denomine "cobre metálico". Recomenda-se registrar a inconsistência.
9	Maulana *et al*., 2023	CuNPs reportadas; fase específica não suficientemente estabelecida	**-**	Foram utilizados **DRX/XRD, SEM-EDX e TEM**, porém a fonte consultada não apresenta atribuição inequívoca a Cu^0, Cu_2O ou CuO.
10	Prakash *et al*., 2023	Identidade química não conclusiva	**-**	**DRX/XRD**, porém o artigo compara o padrão com **JCPDS 36-1451**, ficha reconhecida para ZnO hexagonal. Assim, a atribuição a Cu^0 não deve ser considerada confirmada.
11	Maulana *et al*., 2024.	Mistura: Cu^0 + Cu_2O + CuO + CuO_2 reportado	Cu(0), Cu(I), Cu(II) e demais conforme atribuição dos autores	**DRX/XRD**. Os autores reportam aproximadamente 8,5% Cu^0, 63,8% Cu_2O, 5,8% CuO e 22% CuO_2.
12	Guo *et al*., 2023	CuO	Cu(II)	**DRX/XRD**, com padrão compatível com a fase CuO; **EDS** também evidencia Cu e O.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

13	Huang *et al*., 2024	Fase amorfa contendo Cu(I) e Cu(II)	Cu(I) + Cu(II)	**XPS** identificou Cu^{+} e Cu^{2+}. O **DRX** não apresentou picos distintos de Cu^{0}, CuO ou Cu_2O, indicando material predominantemente amorfo.
14	Mahal *et al*., 2024	Cu^{0} atribuído	Cu(0)	**DRX/XRD**: autores atribuem os principais picos aos planos (111), (200) e (220) do cobre elementar; EDX detectou Cu e O.
15	Kausar *et al*., 2022	Cu^{0} atribuído	Cu(0)	**DRX/XRD**, utilizado para confirmar a natureza cristalina atribuída às CuNPs; complementado por UV-Vis, SEM e FTIR.
16	Tumiso *et al*., 2026	Identificação internamente inconsistente: CuO no texto/FTIR e Cu^{0} no DRX	Cu(II) ou Cu(0), conforme autores	O resumo denomina o produto **CuO NPs** e aponta ligação Cu–O, mas o **DRX/XRD** é interpretado pelos autores como estrutura CFC de cobre metálico.
17	Saeedi *et al*., 2025	Identidade química não suficientemente confirmada;	**-**	**DRX/XRD** apresenta fase descrita como **monoclínica**, porém o artigo continua denominando o material CuNPs sem atribuição inequívoca a CuO ou indicação adequada do padrão de referência.
18	Yu *et al*., 2025	Cu^{0}	Cu(0)	**DRX/XRD + EDS**. Picos em ~43°, 50° e 74°, planos (111), (200) e (220), e os autores concluem formação de Cu(0).
19	Asmat-Campos *et al*., 2023	Cu_2O atribuído pelos autores	Cu(I)	O estudo é direcionado especificamente a **Cu_2O NPs** e utiliza UV-Vis, EDX, TEM, SEM, DLS e FTIR; entretanto, não há DRX/XPS relatado para confirmar diretamente o estado de oxidação.
20	Hamad *et al*., 2023	Mistura de fases: Cu^{0} + CuO + CuO_2 + Cu_4O_3, conforme autores	Cu(0) + estados oxidados/mistos	**DRX/XRD**. Atribui diferentes picos a Cu, CuO, CuO_2 e Cu_4O_3.
21	Medjdoub *et al*., 2024	CuO	Cu(II)	**DRX/XRD**: estrutura monoclínica atribuída a CuO; **FTIR** apresenta vibração Cu–O e EDX confirma presença de Cu e O.
22	Solorzano Toala et al., 2024	Cu^{0} conforme autores	Cu(0) conforme autores	UV-Vis, SEM-EDX, DLS/LDV. O EDX confirmou a presença de Cu e os autores atribuíram a redução de Cu^{2+}

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

				a Cu⁰; entretanto, não foram empregados DRX ou XPS para confirmação direta da fase/estado de oxidação.

Fonte: Autores, 2026.

Nota: Cu⁰ = cobre metálico, estado de oxidação 0; Cu_2O = óxido cuproso, no qual o cobre apresenta estado de oxidação +1; CuO = óxido cúprico, no qual o cobre apresenta estado de oxidação +2. Nos estudos em que as técnicas apresentadas não permitiram atribuir inequivocamente a fase química ou o estado de oxidação, o material foi classificado como “identidade química não suficientemente confirmada”. Nos casos de inconsistência entre a nomenclatura adotada pelos autores e os resultados de caracterização, tal divergência foi explicitamente indicada.

Embora genericamente o termo nanopartículas de cobre (CuNPs) foi empregado, nota-se a presença tanto de cobre metálico (Cu⁰) quanto de espécies oxidadas, incluindo Cu_2O e CuO, além de sistemas constituídos por misturas de fases.

3.2.2 Extratos Vegetais

Já de caráter sustentável e comumente empregado por rota verde, foi utilizado predominantemente o extrato aquoso para a obtenção dos compostos de interesse. Ao utilizar a água como solvente, sua polaridade permite extrair compostos bioativos e minimiza os impactos ambientais, por não envolver solventes orgânicos e tóxicos (Maulana et al., 2024). A utilização destes solventes químicos tóxicos, conforme afirmam Jadoun et al. (2021), apresenta alto risco de contaminação e de toxicidade humana e ao meio ambiente, por meio da liberação de compostos nocivos na água, solo e na atmosfera, intensificando a poluição ambiental, bem como para aqueles que estão executando o processo, que têm contato com a pele ou por inalação.

Apesar da predominância de extratos aquosos, alguns estudos empregaram solventes orgânicos, como etanol e metanol. Dessa forma, a utilização de material vegetal não é suficiente, isoladamente, para caracterizar uma rota como ambientalmente sustentável, sendo necessário considerar os solventes empregados e as demais etapas do processo de síntese.

Foi possível observar a presença majoritária de folhas como parte principal para a obtenção do extrato. De acordo com Prakash et al. (2023), o uso de folhas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

se justifica por serem dotadas de alta concentração de compostos fenólicos e flavonoides, que participam da síntese, atuando como agentes redutores e estabilizantes. Esses compostos bioativos presentes nas folhas, reduzem íons de cobre em sua forma metálica ou oxidados o que permite estarem a frente no processo de *capping*, o que previne a formação de aglomerados e permitindo tamanhos de nanopartículas menores e com maior uniformidade em sua distribuição (Huang et al., 2024). Segundo Maulana et al. (2024), grupos hidroxila (O–H) e grupos carbonila (C=O), conforme identificados em análises de FTIR, participam do processo de complexação com íons, aderindo à superfície das nanopartículas e formando uma camada protetora que lhes confere uma funcionalidade, tanto redutora quanto estabilizante. De acordo com Kausar et al. (2022), no processo de redução e estabilização de CuNPs, os principais metabólitos em destaque são os fenólicos, com grupos funcionais como a hidroxila (O–H), compostos aromáticos (C=C) e ésteres (C–O e C=O).

A utilização de extratos vegetais reduz o uso de solventes tóxicos e minimiza os impactos de geração de resíduos, se apresenta como uma fonte acessível, sendo de baixo custo, principalmente por meio de folhas e cascas, viabilizando a produção em larga escala (Zambare et al., 2023).

3.2.3 Métodos de síntese e caracterização

Os estudos analisaram diferentes precursores de cobre para a síntese verde de nanopartículas, sendo os mais frequentes, com maior predominância, o sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), o nitrato de cobre [$Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$] e o cloreto de cobre ($CuCl_2 \cdot 2H_2O$), o que demonstra alta eficácia na obtenção de CuNPs biossintetizadas a partir de diferentes fontes de íons Cu^{2+}. Segundo Akintelu et al. (2021), seu uso está na eficácia em liberação de íons e sua alta solubilidade em meio aquoso, ressalta-se que as características das nanopartículas está intrinsecamente ligada não apenas ao precursor utilizado e em sua concentração, mas das condições de síntese e do extrato vegetal, influenciando em processos como nucleação, morfologia e tamanho.

Para confirmar a formação de nanopartículas a base de cobre, foram

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

empregadas diversas técnicas de caracterização físico-química. Evidencia-se que técnicas isoladas não fornecem clareza total quanto à sua estrutura, morfologia, composição e tamanho, sendo necessário o uso de diferentes meios para a compreensão dessas características.

Tabela 2. Técnicas de caracterização

TÉCNICA	NÚMERO DE ESTUDOS	%
FTIR	20	90,9%
UV-Vis	20	90,9%
DRX/XRD	18	81,8%
MEV/SEM	16	72,7%
MET / TEM / HRTEM	12	54,5%
EDS / EDX	10	45,5%
DLS	7	31,8%
Potencial Zeta	5	22,7%
GC-MS	1	4,5%
NTA	1	4,5%
VSM	1	4,5%
BET	1	4,5%
RAMAN	1	4,5%
XPS	1	4,5%
AFM	1	4,5%
TGA/DTA	1	4,5%

Fonte: Autores, 2026.

As técnicas utilizadas, conforme a tabela 2, demonstram que análises de FTIR (Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier), UV-Vis (Espectroscopia/Espectrofotometria UV-Visível), DRX/XRD (Difração de Raios X) e MEV / SEM / FE-SEM (Microscopia Eletrônica de Varredura) constituem os principais instrumentos para a caracterização de nanopartículas á base de cobre, participando em mais de 70% dos estudos analisados.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

Segundo Maulana et al. (2023), meios proporcionam maior confiabilidade às informações referentes às nanopartículas, não somente à sua caracterização, mas também à sua aplicação.

Quadro 4. Avaliação crítica da qualidade metodológica

N°	SÍNTESE	FASE QUÍMICA	TAMANHO MORFOLOGIA	CONTROLES	REPLICAÇÃO	ESTATÍSTICA	LIMITAÇÕES
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—
2	✓	✓	✓	—	✓	✓	—
3	✓	✓	✓	✓	✓	△	—
4	✓	△	△	✓	✓	△	—
5	✓	—	△	✓	△	✓	—
6	✓	✓	✓	✓	✓	△	—
7	✓	△	△	△	—	—	—
8	✓	△	✓	✓	✓	△	✓
9	✓	△	✓	✓	△	△	✓
10	✓	—	✓	△	✓	—	—
11	✓	△	✓	✓	△	△	—
12	✓	✓	✓	✓	△	✓	—
13	✓	✓	✓	△	—	△	△
14	✓	△	✓	✓	—	—	△
15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—
16	✓	△	△	△	△	△	△
17	✓	△	✓	✓	✓	✓	—
18	✓	✓	✓	✓	△	△	△
19	✓	△	✓	✓	✓	△	—
20	✓	△	✓	✓	✓	—	—
21	✓	✓	△	✓	—	—	△
22	✓	△	✓	✓	✓	✓	—

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos estudos incluídos e em Whittemore e Knafl (2005).
Nota: ✓ = adequado; △ = parcialmente adequado; — = não informado/não atendido. Os números de 1 a 22 correspondem aos estudos identificados no Quadro 2.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

Conforme apresentado no Quadro 4, a avaliação crítica evidenciou heterogeneidade no rigor e no nível de detalhamento metodológico dos estudos incluídos. De modo geral, os protocolos de síntese foram adequadamente descritos e os trabalhos empregaram diferentes técnicas de caracterização. Entretanto, foram identificadas fragilidades relacionadas à confirmação inequívoca da fase química em parte dos estudos, à interpretação das diferentes medidas de tamanho das nanopartículas e à ausência ou descrição incompleta de controles, replicações e análises estatísticas em alguns trabalhos. Observou-se ainda que poucos estudos apresentaram explicitamente suas limitações metodológicas.

3.2.4 Potencial Agrícola e Aplicações

Foram abordadas aplicações em áreas nanotecnológicas e biomédicas, entre elas como atividade antifúngicas, fotocatalítica, anticancerígenas, agrícolas e ambientais, especificamente ações contra fungos patogênicos, células tumorais, degradação de corantes, entre outras, conforme mostra a tabela 1. Tais estudos analisados permitiram observar diferentes aplicações de nanopartículas á base cobre biossintetizadas, as quais, em sua maioria, são voltadas às atividades antimicrobianas. No que se refere às aplicações agrícolas, principalmente às ações entomológicas, estas foram as de menor tendência.

Conforme mencionado, as CuNPs possuem alta relação superfície-volume em razão de seu tamanho reduzido (Granados Ortiz et al., 2025). Segundo Mahal, Mahal e Al-Mutlaq (2024), sua ação antimicrobiana é altamente eficaz devido à liberação de íons de cobre, que são reativos e influenciam diversas funções celulares. Impulsionam a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS), como peróxidos e radicais livres, afetando diversos componentes celulares e interferem ao se ligarem à membrana plasmática, afetando funções como a permeabilidade (Shalal, 2023). Entre os estudos incluídos, foram identificadas aplicações agrícolas relacionadas à promoção do crescimento vegetal, aplicação foliar, controle de fitopatógenos e atividade inseticida. Nesse último contexto, Solorzano Toala et al. (2024) avaliaram nanopartículas a base de cobre biossintetizadas a partir de extratos de *Acacia cornigera* e *Annona purpurea* contra *Tribolium castaneum*,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

obtendo mortalidade de 90% e 76,6%, respectivamente, nas condições otimizadas. Esses resultados demonstram o potencial inseticida de nanomateriais a base de cobre; entretanto, entre os estudos incluídos nesta revisão, não foram identificadas avaliações direcionadas especificamente ao controle de formigas cortadeiras do gênero *Atta*.

4. Conclusão

Os estudos analisados demonstraram diferentes aplicações de nanopartículas a base de cobre, incluindo atividades antimicrobianas, fotocatalíticas, biomédicas, ambientais e agrícolas. O panorama da produção científica evidenciou o crescimento do interesse pela síntese verde desses nanomateriais, bem como ampla variabilidade nas condições de síntese, composição química, técnicas de caracterização e aplicações. A síntese verde a partir de extratos vegetais apresenta vantagens potenciais em relação a determinadas rotas convencionais, sobretudo pela possibilidade de reduzir o uso de alguns reagentes de maior impacto ambiental. Entretanto, sua sustentabilidade deve ser avaliada considerando também os solventes empregados, o consumo energético, as etapas de purificação, a geração de resíduos, a toxicidade dos nanomateriais e a viabilidade de escalonamento. Embora tenha sido identificado potencial inseticida em um dos estudos incluídos, as evidências nessa área permanecem limitadas, especialmente quanto ao controle de formigas cortadeiras. Não foram identificados, entre os estudos incluídos, ensaios direcionados especificamente a espécies do gênero *Atta*. Dessa forma, estudos futuros devem investigar a toxicidade seletiva de nanopartículas a base de cobre biossintetizadas contra formigas cortadeiras, considerando parâmetros como concentração letal, tempo de exposição, efeitos sobre organismos não alvo e viabilidade de incorporação em formulações de iscas.

Referências

ABBAS, J. M. et al. Green synthesis of copper nanoparticles using *Daucus carota* leaf extract and their anticancer activity against Hep3B liver cancer cells. *Pharmacia*, v. 72, p. 1–11, 2025. DOI: https://doi.org/10.3897/pharmacia.72.e164282.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). F43 – Fipronil. Brasília, DF: Anvisa, 2026a. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas/f/4351json-file-1. Acesso em 07 set. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). S07 – Sulfluramida. Brasília, DF: Anvisa, 2026b. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas/q-r-s/4512json-file-1. Acesso em 07 set. 2026.

AKINTELU, S. A. et al. Green chemistry approach towards the synthesis of copper nanoparticles and its potential applications as therapeutic agents and environmental control. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, v. 4, 100176, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100176.

AKPANUDO, N. W.; OLABEMIWO, O. M. Green synthesis and characterization of copper nanoparticles (CuNPs) and composites (CuC) using the *Echinochloa pyramidalis* extract and their application in the remediation of PAHs in water. *Water Practice & Technology*, v. 19, n. 2, p. 324–342, 2024. DOI: https://doi.org/10.2166/wpt.2024.011.

AL-AZZAZY, M. M.; ALHEWAIRINI, S. S. Life history of the two predacious mites species, *Amblyseius swirskii* and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae), as biological control agents of the date palm mite, *Oligonychus afrasiaticus* (Acari: Tetranychidae). *Brazilian Journal of Biology*, v. 84, e283484, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1519-6984.283484.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

ASMAT-CAMPOS, D. et al. Cu_2O nanoparticles synthesized by green and chemical routes, and evaluation of their antibacterial and antifungal effect on functionalized textiles. *Biotechnology Reports*, v. 37, e00785, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.btre.2023.e00785.

BAKER, B. P.; GREEN, T. A.; LOKER, A. J. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, v. 140, 104095, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095.

BEJAN, A.; ANISIEI, A.; ANDREICA, B.-I.; ROSCA, I.; MARIN, L. Chitosan nanofibers encapsulating copper oxide nanoparticles: a new approach towards multifunctional ecological membranes with high antimicrobial and antioxidant efficiency. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 260, pt. 1, 129377, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129377.

CRUZ, N. D.; GALLIO, E.; GATTO, D. A. Síntese verde de nanopartículas de óxido de zinco. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 25, n. 1, e12589, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0915.

DEGRECCI, M. G.; PARREIRA, A. G. Estudo exploratório de patentes de produção de AgNPs por rotas de síntese verde. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 9, e57111932239, 2022. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32239.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

DUONG, N. L. et al. Durian shell-mediated simple green synthesis of nanocopper against plant pathogenic fungi. *ACS Omega*, v. 8, p. 10968–10979, 2023. DOI: https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07559.

EUROPEAN COMMISSION. Commission Implementing Regulation (EU) 2016/2035 of 21 November 2016 amending Implementing Regulation (EU) No 540/2011 as regards the approval periods of the active substances fipronil and maneb. *Official Journal of the European Union*, L 314, 22 nov. 2016. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2016/2035/oj/eng. Acesso em 07 set. 2026.

FRAMESCHE, L.; SOUZA, T. S.; BARBADO, N. Índice de salubridade ambiental: um estudo dos municípios de Cianorte e Umuarama, PR, Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 11, p. 190–204, 2022. DOI: https://doi.org/10.19177/rgsa.v11e02022190-204.

GARCIA, D. G.; SANTOS, K. O.; FREITAS, K. F. D.; CARDOSO, M. J. B.; FOOK, M. V. L. Síntese de nanopartículas de prata pela técnica de eletrodeposição para desenvolvimento de biossensores. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 3, p. 31130–31145, 2021. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-709.

GRANADOS ORTIZ, S. A. et al. Green synthesis and foliar application of copper nanoparticles in sunflower (*Helianthus annuus* L.) to improve physiological parameters and yield. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo*, v. 57, n. 2, p. 187–198, 2025. DOI: https://doi.org/10.48162/rev.39.182.

GUIMARÃES, M. L.; AMARANTE, J. F.; OLIVEIRA, H. P. A importância dos óleos essenciais na síntese verde de nanopartículas metálicas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 26, n. 3, e13053, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13053.

GUO, Z. et al. Treatment of nerve cancer with the green synthesis of CuO NPs. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 16, 105252, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105252.

HADDAWAY, N. R.; PAGE, M. J.; PRITCHARD, C. C.; MCGUINNESS, L. A. PRISMA2020: an R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, v. 18, n. 2, e1230, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/cl2.1230.

HAMAD, A. M. et al. Green synthesis of copper nanoparticles using strawberry leaves and study of properties, anti-cancer action, and activity against bacteria isolated from Covid-19 patients. *Karbala International Journal of Modern Science*, v. 9, n. 1, p. 122–136, 2023. DOI: https://doi.org/10.33640/2405-609X.3275.

HASSAN, R. A.; AL-AMRANI, W. A.; ALWANY, A. B.; OBAID, J. M. A. S. Current advancements and future research directions in the green synthesis and applications of nanoparticles. *Discover Nano*, v. 21, art. 200, 2026. DOI: https://doi.org/10.1186/s11671-026-04665-9

HUANG, Z. et al. Green synthesis of copper nanoparticles using white tea leaf extract: characterization, adsorption behavior, and antibacterial applications. *BioResources*, v. 19, n. 3, p. 5031–5046, 2024. DOI: https://doi.org/10.15376/biores.19.3.5031-5046.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

JADOUN, S.; ARIF, R.; JANGID, N. K.; MEENA, R. K. Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: a review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 19, p. 355–374, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s10311-020-01074-x.

KAUSAR, H. et al. Green synthesis and characterization of copper nanoparticles for investigating their effect on germination and growth of wheat. *PLoS ONE*, v. 17, n. 6, e0269987, 2022. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269987.

MAHAL, A. et al. Green synthesis and antimicrobial activity of copper nanoparticles (Cu-NPs) by *Piper longum* fruit extract. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, v. 38, n. 6, p. 1653–1666, 2024. DOI: https://doi.org/10.4314/bcse.v38i6.12.

MAULANA, I. et al. Green synthesis of copper nanoparticles employing *Annona squamosa* L. extract as antimicrobial and anticancer agents. *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 46, p. 65–71, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.07.010.

MAULANA, I. et al. Green synthesis of copper nanoparticles using *Polyalthia longifolia* roots and their bioactivities against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Candida albicans*. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, v. 16, supl. 3, p. S2218–S2223, 2024. DOI: https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1219_23.

MEDJDOUB, A. et al. Green synthesis of CuO nanoparticles using aqueous extract of *Artemisia herba-alba* and their potential applications as antimicrobial agents. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, v. 22, n. 2, p. 2238–2254, 2024. DOI: https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.2.00161.

MELO, R. L. F.; SOUZA, I. C. C.; CARVALHO, A. J. R.; BEZERRA, E. M.; COSTA, R. F. As nanopartículas como ferramentas biológicas: uma revisão exploratória. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, e363974155, p. 1–18, 2020. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4155.

MERCADO, L. S. *Ecotoxicidade e risco ambiental da mistura dos inseticidas tiametoxam e lambda-cialotrina para bioindicadores aquáticos*. 2024. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2024.

MOTA FILHO, T. M. M. et al. Biological control in leaf-cutting ants, *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae), using pathogenic fungi. *Revista Árvore*, v. 45, e4516, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-908820210000016.

NQUNQA, S. et al. Green synthesis of copper nanoparticles from onion peel for wastewater bacteria detection and methyl orange degradation. *Journal of Nanotechnology*, v. 2026, n. 1, 2680810, 2026. DOI: https://doi.org/10.1155/jnt/2680810.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, n71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

PRAKASH, M. V. D. et al. Eco-friendly green synthesis of copper nanoparticles from *Tinospora cordifolia* leaves: optical properties with biological evaluation of anti-microbial, anti-inflammatory and anti-oxidant applications. *Materials Technology*, v. 38, n. 1, 2247908, 2023. DOI: https://doi.org/10.1080/10667857.2023.2247908.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

RANGEL, D. S. et al. *As formigas e seus impactos positivos para a agricultura*. Vitória, ES: Edifes Acadêmico, 2023. 21 f. (Boletim Técnico, n. 13). DOI: https://doi.org/10.36524/9788582638194.

RAUTELA, A.; RANI, J.; DEBNATH (DAS), M. Green synthesis of silver nanoparticles from *Tectona grandis* seeds extract: characterization and mechanism of antimicrobial action on different microorganisms. *Journal of Analytical Science and Technology*, v. 10, art. 5, 2019. DOI: https://doi.org/10.1186/s40543-018-0163-z.

ROY, A. P. et al. Biofabrication of ecofriendly copper oxide nanoparticles and their applications in breast cancer therapy. *Inorganic Chemistry Communications*, v. 160, 111917, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111917.

SAEEDI, N. H. et al. Antimicrobial, anti-inflammatory, angiogenesis, and wound healing activities of copper nanoparticles green synthesized by *Lupinus arcticus* extract. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, v. 24, n. 1, e147434, 2025. DOI: https://doi.org/10.5812/ijpr-147434.

SAHA, A. et al. Multimodal copper nanoparticle platforms via green synthesis for enhanced photocatalytic and biomedical performance. *Next Materials*, v. 11, 101899, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2026.101899.

SHALAL, O. S. Green synthesis of copper nanoparticles and their activity against *Aspergillus* chitin deacetylase gene and cellulose dehydrogenase protein expression. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, v. 17, n. 1, p. 258–265, 2023. DOI: https://doi.org/10.22207/JPAM.17.1.15.

SILVA, M. L. P. da. *Avaliação dos efeitos letais e subletais causados por inseticidas pirazois, piretróides e neonicotinóides em abelhas Apis mellifera no Brasil entre os anos de 2005 e 2023: revisão da literatura*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Naturais/Biologia) – Universidade Federal do Maranhão, Bacabal, 2024. Disponível em: http://hdl.handle.net/123456789/8640. Acesso em 07 set. 2026.

SOLÓRZANO TOALA, R. et al. Biosynthesis of copper nanoparticles from *Acacia cornigera* and *Annona purpurea* and their insecticidal effect against *Tribolium castaneum*. *Reactions*, v. 5, n. 2, p. 274–284, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/reactions5020013.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. *Einstein (São Paulo)*, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134.

STOCKHOLM CONVENTION. *Acceptable purposes: PFOS, its salts and PFOSF*. Geneva: Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions, [s.d.]. Disponível em: https://www.pops.int/Implementation/Exemptions/AcceptablePurposes/AcceptablePurposesPFOSandPFOSF/tabid/794/Default.aspx. Acesso em 07 set. 2026.

TUDI, M. et al. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 3, 1112, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph18031112.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/4t3pmh04
Pages: 1-33

TUMISO, T. et al. Catalytic degradation of toxic Rhodamine B and Safranin O dyes with green-synthesized copper nanoparticles. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, v. 11, art. 31, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s41204-026-00526-z.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, v. 52, n. 5, p. 546–553, 2005. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x.

YU, W. et al. Green synthesis of copper nanoparticles from the aqueous extract of *Lonicera japonica* Thunb. and evaluation of its catalytic property, cytotoxicity, and antimicrobial activity. *Nanomaterials*, v. 15, n. 2, art. 91, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/nano15020091.

ZAMBARE, P. et al. Green synthesis of copper nanoparticles using leaf extract of *Ocimum sanctum* and its antimicrobial activity. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, v. 13, n. 1, p. 106–112, 2023. DOI: https://doi.org/10.5530/223097131692.

CC BY