

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA- ICET/UFAM
CURSO DE FARMÁCIA

ALEF NEY NUNES DA SILVA TORRES

**Explorando a potencialidade da *Aloe vera* na síntese verde de
nanopartículas de cobre.**

ITACOATIARA-AM

2023

ALEF NEY NUNES DA SILVA TORRES

TÍTULO: Explorando a potencialidade da *Aloe Vera* na síntese verde de nanopartículas de cobre

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Farmácia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como requisito para obtenção do título de farmacêutico.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia.

ITACOATIARA-AM

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

T693e Torres, Alef Ney Nunes da Silva
Explorando a potencialidade da Aloe vera na síntese verde de nanopartículas de cobre / Alef Ney Nunes da Silva Torres . 2023
33 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Paulo José de Sousa Maia
TCC de Graduação (Farmácia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Aloe vera (L.) Burm. F.. 2. Síntese verde . 3. Nanopartículas Metálicas. 4. Nanopartículas de cobre. 5. Alelopatia. I. Maia, Paulo José de Sousa. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

ALEF NEY NUNES DA SILVA TORRES

TÍTULO: Explorando a potencialidade da *Aloe vera* na síntese verde de nanopartículas de cobre

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Farmácia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Farmácia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 07/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia - UFRJ
Orientador

Prof^ª. Ms^ª. Andreza Miranda Barata da Silva - UFAM
Avaliador

Prof^ª. Dr^ª. Dominique Fernandes de Moura do Carmo - UFAM
Avaliador

Este Trabalho de Conclusão de Curso é resultado de muitas lutas, determinação e evolução, dedicados ao Alef Ney Nunes da Silva Torres, farmacêutico do presente e do futuro.

Deus é bom o tempo todo e o
tempo todo Deus é bom.
Deus não está morto, (2014)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me mostrar que além de sonhar é possível realizar sonhos, e que sob sua incomparável bondade e proteção foi possível dar mais um importante passo na minha vida, “OBRIGADO DEUS, POR TUDO”, o Estado pode ser laico, mas EU SOU TEÍSTA E CRISTÃO.

Agradeço à minha mãe Raimunda Elzilene Nunes das Silva, que me apoiou nos momentos mais felizes e tristes da minha vida, essa mulher é muito mais que uma mãe, pois ela me deu tudo e um pouco mais do que a melhor mãe do mundo daria para que seu filho conseguisse realizar seus sonhos, sou grato por tudo mãe, e deixo aqui a frase que eu lhe digo todos os dias: “Te amo, mãe, você é o amor da minha vida”.

Agradeço à Kembely da Silva Piedade, uma maravilhosa mulher, parceira e cúmplice em certa parte da minha vida acadêmica, obrigado pelo apoio, minha princesa.

Agradeço aos meus amigos, em especial à Cleize Santos, que sempre acreditaram em mim, e que me apoiaram com suas torcidas e palavras e acolhimento, vocês são os melhores, e para vocês recito o que um dia disse Chorão, da banda Charlie Brown Jr. “melhores amigos, na verdade são irmãos que por algum erro não caíram na nossa família”, e que cada um receba o “Muito Obrigado do seu Farmacêutico Alef Torres”.

Agradeço especialmente aos meus amigos Joel Santos e Mateus Feitosa pelo apoio a este trabalho e amizade, e lhes digo que Newton não estava errado quanto a sua terceira lei.

Agradeço a todos os professores que a mim ministraram suas aulas e participaram da minha formação, saibam que vocês são os nossos pais acadêmicos, e acredito que todos torcerão por todos nós, afinal, somos vossas crias.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Paulo José de Sousa Maia pelos conselhos e orientações, obrigado professor, pela paciência e transmissão de conhecimento. Você é um ser humano incrível!

Contudo, ser grato é fundamental para que se possa transcender na vida, e não menos importante, a agradeço ao autor deste trabalho, profissional do presente e do futuro por sua determinação e coragem e deixo um recado dizendo que “por mais que seja difícil, se existe, É POSSÍVEL, não tenha medo de tentar, tenha medo de não tentar e ver que a vida passou e você não se arriscou como deveria, seja sempre o grande sonhador e realizador de seus sonhos, mas aí do presente, NÃO ESQUEÇA DA SUA ORIGEM”.

RESUMO

A nanotecnologia aplicada às ciências da saúde revolucionou o estudo de diversos campos de atuação, dentre estes, destaca-se a Química Verde. As nanopartículas de prata, mediadas pela utilização de extratos vegetais, vêm sendo estudadas com diferentes aplicações, dentre estas destaca-se as nanopartículas de cobre com potencial alelopático positivo. O presente trabalho objetivou realizar a síntese de nanopartículas de cobre utilizando o extrato vegetal da *Aloe vera (L.) Burm. f.*, e avaliar sua eficácia em relação ao efeito alelopático sobre sementes de alface *Lactuca sativa*. A solução de sulfato de cobre II concentrada em $3 \times 10^{-3} \text{ mol/L}^{-1}$, retirou-se duas alíquotas de 20 ml e 30 ml de extrato para 50 ml de sulfato de cobre II, onde para o pH 9 foram utilizados os volumes de 20 ml e 30 ml, e para o pH 12 foram utilizados os volumes de 20 ml e 30 ml, e durante 21 dias, sob agitação foi realizada a análise em espectro. Uma solução de nanopartícula de cobre à 1% (T2) foi preparada e a partir desta foram desenvolvidas as diluições de 0,1% (T3), 0,01% (T4) e 0,001% (T5) e como controles foram usados água (T0), água mais óleo de Neem (T1) na proporção (1:1) sendo emulsionado com água. O experimento foi realizado em dez dias e foram avaliadas as variáveis: Percentual de germinação (P.G.%) e Tempo médio de germinação (TMG), onde foram submetidos à análise estatística através do software SISVAR. Os tratamentos nas concentrações 1% (T2) e 0,1% (T3) atuaram diretamente diminuindo o percentual de germinação (P.G.%) e tempo médio de germinação (TMG) das sementes de alface *Lactuca sativa*. As nanopartículas de cobre apresentaram atividade alelopática frente as sementes de alface, porém devem ser realizados ensaios complementares com o intuito de elucidar os possíveis mecanismos de ação das nanopartículas e a possibilidade de veicular estas em outras formulações.

Palavras chaves: *Aloe vera (L.) Burm. F.*; Síntese verde; Nanopartículas metálicas; Nanopartículas de cobre; Alelopatia.

ABSTRACT

Nanotechnology applied to health sciences has revolutionized the study of several fields, among which Green Chemistry stands out. Silver nanoparticles, mediated by the use of plant extracts, have been studied with different applications, among which copper nanoparticles with positive allelopathic potential stand out. The present work aimed to carry out the synthesis of copper nanoparticles using the plant extract of Aloe vera (L.) Burm. f., and evaluate its effectiveness in relation to the allelopathic effect on *Lactuca sativa* lettuce seeds. The copper sulfate II solution was concentrated at 3×10^{-3} mol/L⁻¹, two aliquots of 20 ml and 30 ml of extract were removed into 50 ml of copper sulfate II, where for pH 9 the volumes of 20 ml and 30 ml, and for pH 12 volumes of 20 ml and 30 ml were used, and for 21 days, under agitation, spectrum analysis was carried out. A 1% copper nanoparticle solution (T2) was prepared and from this dilutions of 0.1% (T3), 0.01% (T4) and 0.001% (T5) were developed and water was used as controls. (T0), water plus Neem oil (T1) in the proportion (1:1) being emulsified with water. The experiment was carried out in ten days and the variables were evaluated: Percentage of germination (P.G.%) and Average germination time (TMG), where they were subjected to statistical analysis using the SISVAR software. Treatments at concentrations of 1% (T2) and 0.1% (T3) acted directly by reducing the germination percentage (P.G.%) and average germination time (AMR) of *Lactuca sativa* lettuce seeds. The copper nanoparticles showed allelopathic activity against lettuce seeds, however additional tests must be carried out in order to elucidate the possible mechanisms of action of the nanoparticles and the possibility of conveying them in other formulations.

Key words: Aloe vera (L.) Burm. F.; Green synthesis; Metallic nanoparticles; Copper nanoparticles; Allelopathy.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1	QUÍMICA VERDE.....	13
2.2	ALOE VERA	14
2.3	SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS	15
2.4	SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE	16
2.5	ALELOPATIA	17
3	OBJETIVOS	19
3.1	OBJETIVO GERAL	19
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4	METODOLOGIA.....	20
4.1	AQUISIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL	20
4.2	PREPARO DE EXTRATO VEGETAL.....	20
4.3	OBTENÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE COBRE (CU-NPS).....	20
4.4	TESTE ALELOPÁTICO	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1	SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE	22
5.2	AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ALELOPÁTICO	24
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
7	REFERÊNCIAS.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AgNPs	Nanopartículas de Prata
B. O. D.	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Cu⁺²	Cobre
Cu-NPs	Nanopartículas de Cobre
P. G. %	Porcentagem de Germinação
TMG	Tempo Médio de Germinação
T0	Tratamento com água destilada
T1	Tratamento com água e óleo de Neem
T2	Tratamento com nanopartículas de Cobre à 1%
T3	Tratamento com nanopartículas de Cobre à 0,1%
T4	Tratamento com nanopartículas de Cobre à 0,01%
T5	Tratamento com nanopartículas de Cobre à 0,001%

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a nanotecnologia tem sido ampliada a nível mundial desenvolvendo materiais novos em escala nanométrica destinados a diversas áreas, como medicina, síntese, tratamento de águas e solo. As nanopartículas que formam esses produtos apresentam propriedades importantes, que são relacionadas as suas particularidades, como forma, tamanho, distribuição e potencial biológico (Fatina; Shaari, 2022).

Com o avanço das pesquisas sobre síntese de nanopartículas, surgiram imensas preocupações quanto a agentes químicos usados na obtenção de nanomateriais, eles podem ser tóxicos e gerar contaminação em cadeia. A ciência para solucionar esse problema, aposta no conceito de química verde que visa minimizar esses impactos e assim prevenir geração de resíduos nocivos a natureza (Raj, *et al.*, 2022).

Visando um desenvolvimento mais sustentável e seguro de produtos, a química verde passou a preocupar-se mais com criação de formas tecnológicas e meios que não promovam poluição, como a produção de nanopartículas metálicas por meio de síntese verde. Assim, em 1968 houve a Conferência da Biosfera tratando ao meio de diversos especialistas sobre o uso consciente e preservação de recursos ambientais. Entretanto, somente em 1991 abordou-se sobre química verde, fundamentando que a mesma está atrelada a síntese, processamento e uso de produtos não nocivos para pessoas e meio ambiente (Prado, 2003; Farias; Fávaro, 2011).

Desta forma passou-se a utilizar os termos química verde e síntese verde juntamente a termos importantes como a produção de nanomateriais metálicos, reutilização de materiais fazendo uso de rotas sintéticas ecologicamente corretas para a saúde do planeta (Tobszewsk *et al.*, 2009).

Com os termos “síntese verde” em evidência, surgiu uma nova metodologia, onde empregam-se compostos orgânicos vindos da natureza presentes em plantas como *Calotropis giganteae* e *Aloe vera*, microrganismos como fungos e bactérias e algas para gerar metais em escalas nanométricas. Esses compostos auxiliam na redução e estabilidade de nanopartícula sem danos ambientais por ser de mesma natureza (Farooq, 2022).

As nanopartículas de cobre têm aplicações importantes no mercado econômico mundial, onde diversos trabalhos científicos abordam que com a *Aloe vera* é possível diminuir gastos financeiros, poluições da fauna e flora e ainda ajudar a cumprir os objetivos da Agenda de 2030 que relacionam aspectos sociais, econômicos e ambientais (Ventapane; Santos, 2021).

A *Aloe vera* (L.) Burm.f. tem sido utilizada há milhares de anos na medicina tradicional para o tratamento de diversos males e está entre as plantas mais usadas na síntese verde de nanopartículas, isso se deve ao alto teor de substâncias com potenciais redutores presentes na planta como os polissacarídeos (acemanana, pectinas, hemicelulose), água, ezimas, lipídios, vitaminas e minerais (Silva *et al.*, 2017).

Atualmente uma das principais preocupações da indústria de produtos agroquímicos é o desenvolvimento nanotecnológico de produtos menos agressivos ao solo e à cultivares de interesse agrônômico, fato este que avalia a importância de novos métodos eficazes de diminuir o uso de agrotóxicos nas lavouras e cultivares e isto vem despertando o interesse principalmente da indústria farmacêutica e química em desenvolver formulações contendo nanopartículas capaz de impedir a proliferação de plantas daninhas (Silva, 2015)

Neste sentido torna-se fundamental explorar a potencialidade da *Aloe vera* no desenvolvimento da síntese verde de nanopartículas de cobre, devido a existência de poucas produções científicas relacionadas ao tema proposto, para estímulo à comunidade científica a descobrir melhores sínteses e aplicações de nanopartículas de cobre e ainda assim ajudar a cumprir os objetivos de sustentabilidade da Agenda de 2030.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 QUÍMICA VERDE

Todos os nichos das ciências encontraram suas limitações, as quais ficaram evidentes apenas quando fatores negativos superaram os positivos, e a química não estaria excluída e sem parcela de culpa depois de gerar por anos tantos danos ao meio ambiente, e por meio destes surgiu-se a química verde com seus 12 princípios adotados em muitas indústrias e laboratórios de pesquisas.

- ❖ **Prevenção:** para evitar geração de resíduos;
- ❖ **A eficiência atômica:** onde resulta em desenvolvimento de metodologias sintéticas que agrupem os átomos dos reagentes à maior quantidade de estruturas moleculares possíveis no resultado de produção final;
- ❖ **Síntese ecologicamente segura:** onde se faz necessário desenvolver métodos de sínteses que fazem uso de reagentes com baixa ou nenhuma toxicidade para seres humanos e meio ambiente;
- ❖ **Desenvolvimento de artigos seguros:** se faz necessário criar produtos que depois de usados não prejudiquem o meio ambiente;
- ❖ **Utilização de solventes e auxiliares menos perigosos:** substâncias consideradas auxiliares como solventes, secantes e agentes purificadores precisam ser evitados quando possível, do contrário precisam ser inofensivos ou de fácil neutralização;
- ❖ **Busca pela eficiência de energia:** se faz necessário levar em consideração os impactos ambientais e econômicos que ocorram por causa da geração de energia usadas em processos químicos. É importante enfatizar que processos químicos devem ocorrer em temperatura e pressão ambiente;
- ❖ **Aproveitamento de fontes de matéria-prima renováveis:** fontes de matéria-prima renováveis devem ser priorizadas no desenvolvimento de novas tecnologias;
- ❖ **Inibir produção de derivados:** caso possível é importante que se minimizem ou não se obtenham derivados, pois eles precisam de

intermediários para auxiliar seus processos e ainda assim possibilitam a produção de resíduos;

- ❖ **Catalise:** deve-se empregar catalisadores seletivos, pois geram produção de poucos produtos secundários e ele deve ser a principal opção de escolha comparado à reagentes de caráter estequiométricos.
- ❖ **Degradação de produtos:** como intenção principal, os artigos ou produtos químicos devem ser planejados com intenção de degradabilidade, onde, depois de usados suas moléculas se desfazem sem deixar vestígios ao meio ambiente;
- ❖ **Análise em tempo real para a precaução da poluição:** O controle em tempo real existe devido ao monitoramento em tempo real, e ambos servem para prevenir a formação e liberação de substâncias tóxicas;
- ❖ **Química essencialmente segura para prevenir acidentes:** é necessário fazer boas escolhas e ter cuidado na manipulação de reagentes para diminuir a possibilidade de ter acidentes como intoxicações ou explosões.

Depois da publicação desses 12 princípios, a indústria química passou a usar mais de recursos naturais de subsídio para uma química mais verde como microrganismos e vegetais tais como a própria Aloe vera (Prado, 2023).

2.2 ALOE VERA

Os termos *Aloe vera* vem da união dos termos árabe e latim, onde em árabe “Alloeh” quer dizer “substância de sabor amargo e brilhante” e em latim “vera” quer dizer verdade ou verdadeiro. Registros egípcios e gregos mostram que os povos antigos a mais de 500 a. C. usavam *Aloe vera* para tratamento de diversas infecções, incluindo as capilares (Souza; Neves., 2020).

Oriunda do continente africano, a *Aloe vera* (*L*) *Burm. f.*, pertence à família *Asphodelaceae*, que contém 15 gêneros e cerca de 800 espécies, pode adaptar seu crescimento a qualquer solo e não necessita de tanta água. Com aspectos físicos similares medindo até 60 centímetros de tamanho, suas folhas são

alongadas e as partes mais notáveis, coloração esverdeada, bordas serrilhadas, espinhos, e possuem um longo ciclo de vida (Miranda, 2021).

São produtoras de gel constituído principalmente por polissacarídeos e água, vitaminas (A, B, C e E), cálcio, potássio, magnésio e zinco, aminoácidos, carboidratos, enzimas e minerais, e externamente fazendo uso da retirada do sumo da folha obtém-se um líquido amarelado que possui aloínas, barbaloinas e outras substâncias, essas características conferem uma maior notoriedade para a capacidade de síntese de nanopartículas metálicas, pois são capazes de reduzir metais (Ferreira, 2022)

Possuem belas flores, tem coloração entre o branco e amarelo e é tubiforme. Seu nome popular é Babosa, mas possui várias sinonímias como *Aloe perfoliata* var. *vera* L., *Aloe barbadensis* var., *Aloe vera* (L) *Burm. f.*, e outras. A *Aloe vera* também é aplicada em vários setores como na indústria de cosméticos, no setor médico/ familiar, e no setor químico industrial em síntese de nanopartículas (Freitas; Rodruigues; Gaspi, 2014).

2.3 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

A indústria dispõe de vários métodos não sustentáveis para obtenção de nanopartículas metálicas como redução eletroquímica, radiólise, deposição de vapor, decomposição térmica e redução química por reagentes perigosos, porém nanopartículas sintetizadas por métodos químicos são consideradas tóxicas e as nanopartículas metálicas obtidas por sínteses limpas são biocompatíveis e muito utilizadas atualmente (Ppn *et al.*, 2015).

A síntese verde de nanopartículas metálicas pode ocorrer por meio de organismos procariontes ou eucariontes (plantas, animais, algas), os quais interagem com macromoléculas em meio intra e extracelular, e no caso de eucariontes a *Aloe vera* está entre as mais usadas, e com ela ocorre interações importantes entre as moléculas do vegetal e partículas maiores de metais para obter nanopartículas (Silva *et al.*, 2017)

Nos últimos anos diversos trabalhos vêm sendo publicados envolvendo a síntese verde de nanopartículas de óxido de ferro (Fe₂O₃), ouro (Au), óxido de

cobre (CuO), sulfato de cobre II (CuSO₄) e cobre (Cu), que é o objeto de estudo desta pesquisa na síntese verde, onde para ocorrer a produção de nanopartículas utiliza-se extrato de qualquer parte da planta que devido as concentrações de substâncias serem distintas, também podem gerar nanopartículas diferentes (Rodrigues, 2022).

O programa federal americano de desenvolvimento tecnológico de nanoescala, o *National Nanotechnology Initiative* (NNI), definiu a nanotecnologia como o manejo de matéria com limitada dimensão com tamanho entre 1 à 100 nm. Como exemplo, se um nanômetro mede 10⁻⁹ m, comparado a largura de um fio de cabelo, seriam necessários 80.000 nm para medir, e ao refletir sobre isso, lembra-se que muitos organismos estão nesse tipo de escala e podem ser combatidos (Rai, 2013).

Além de ser possível mudar a forma e tamanho de uma nanopartícula, compreende-se que automaticamente suas propriedades também mudam, por exemplo o ouro em escala micro e macro é amarelo e em escala nanométrica varia de coloração (100nm cor púrpura-rosada; 20nm vermelha; 1nm marrom-amarelado), essa diferença ocorre devido ao efeito quântico de tamanho de partículas, mesmo se obtidas por outras sínteses verdes (Rai, 2023).

Essas sínteses também podem ocorrer com uso de fungos, conhecidas como microssíntese, que comparada com a obtenção de partículas nanométricas obtidas por fitossíntese, adquiridas com uso de plantas, acabam sendo mais demoradas (Iphandéry, 2020).

O uso de metodologias verdes para sintetizar metais, servem de exemplo para a indústria química, pois ao uso de meios sustentáveis evidenciam vantagens como economia financeira e visão de negócio ecologicamente correta, sem gerar resíduos e prejuízos ambientais (Amatya, 2021).

2.4 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE

Ao meio de variados tipos de nanopartículas, as partículas de grande relevância atualmente são as metálicas e de óxidos metálicos, devido as suas características ópticas, magnéticas, químicas, catalíticas e médicas notáveis. E

por meio destas, são usadas como nanodispositivos na indústria farmacêutica, cosméticos, tratamento de água, cuidados em saúde e muito mais (Amatya; Joshi, 2019).

Entre estudos publicados sobre nanopartículas, o cobre nanoparticulado e suas nanopartículas de óxidos estão em evidência por apresentar alta condutividade, alta capacidade catalítica, antibactericida, é atóxico às células animais, sendo mais eficiente do que alguns metais que são mais caros como a prata (Ag) e ouro (Au) (Amatya, 2018; Vijayalakshmi; Kanchana; Santhanalakshmi, 2021).

A síntese verde de nanopartícula de cobre ocorre devido a redução do sulfato de cobre II (CuSO_4) por meio do uso de extrato de um vegetal que em contato com o metal muda de cor e tamanho, e parâmetros como temperatura, pH, tempo de exposição e dependendo da biomolécula em maior concentração no extrato, será possível obter diferentes formatos de nanopartículas dependendo da condição de substrato para que posteriormente seja isolada e aplicada em diferentes fins (Gunalan; Sivaraj; Venckatesh, 2012; Rodrigues, 2022).

As propriedades das nanopartículas de cobre e demais metais podem ser controladas e isso vai depender da metodologia empregada para sintetizá-las, e são caracterizadas por padrões diversificados na síntese de partículas (Amaliyah *et al.*, 2020; Amatya, 2021).

2.5 ALELOPATIA

A alelopatia foi muito discutida pela ciência ao longo dos anos sobre sua compreensão, mas em 1937 foi descrita de forma comparativa pelo fisiologista vegetal Hans Molisch que escreveu em seu livro, que a palavra tem origem grega e significa “sofrimento mútuo ou entre si”, e autores discutiram e tentaram dar outras explicações como exemplo de que até o petróleo caído de um navio teria efeito alelopático (Willis, 2007).

Discutiu-se também que Molisch quis dizer que alelopatia significaria o “efeito de uma planta sobre a outra”, mas o que é mais aceito é que o termo se

refere ao efeito danoso que uma planta tem sobre a outra por meio de substâncias soltas de uma delas, surgindo assim o termo aleloquímicos (Willis, 2007).

A alelopatia pode ser dividida em positiva, negativa ou neutra, onde a positiva trata sobre os efeitos benéficos que ajudam no crescimento de uma planta, e quando se trata do alelopatia, pode se falar opostamente do que se trata na alelopatia positiva, e a alelopatia neutra não atrapalha, também não ajuda diretamente uma planta em termos de inibição ou não de uma semente (Pires; Oliveira, 2021).

O conceito mais completo sobre alelopatia é a interação direta ou não de aleloquímicos liberados por um organismo, eles tendem a influenciar sobre os processos fisiológicos dos vegetais vizinhos. E estes compostos estão em evidência por apresentarem efeitos opostos ao que a literatura antes tratava, pois estão sendo aplicados como herbicidas, nematicidas, inseticidas e como importantes estimuladores de crescimento de plantas em ambientes distintos (Haida *et al.*, 2010; Graeber *et al.*, 2017).

Existem muitas espécies de alfaces como a alface repolhuda lisa, solta lisa, tipo romana, solta crespa roxa, solta crespa, e a alface repolhuda que faz parte desse trabalho, pode ter nomes variados como Hanson, Nabuco, Salina, Americana e outros, ela em condições favoráveis pode ter seu tempo de brotamento em até 3 dias, mas em caso de interferentes pode demorar mais ou nem brotar (Henz; Suinaga, 2009)

Um organismo vegetal como a semente de alface repolhuda crespa (*Lactuca sativa*), ou mesmo uma semente de erva daninha pode ter seu brotamento estimulado ou adormecido dependendo de fatores ambientais como temperatura, umidade, substâncias aleloquímicas provenientes de outros vegetais. A *Aloe vera* e misturas coloidais podem auxiliar esse crescimento com ajuda de nanopartículas metálicas, combatendo microrganismos ou outros vegetais (Santos, 2021).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Relizar a síntese de nanopartículas de cobre utilizando o extrato vegetal da *Aloe vera (L.) Burm. f.*, em seguida, avaliar sua eficácia em relação ao efeito alelopático sobre sementes de alface *Lactuca sativa*.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtenção do extrato vegetal e análise frente a estabilidade térmica;
- Obtenção das NPs de cobre mediadas por extratos vegetais de *Aloe vera (L.) Burm. f.*;
- Investigar as melhores condições para a produção de nanopartículas de cobre mediada por meio do extrato seco de *Aloe vera (L.) Burm. f.*;
- Testar o efeito alelopático das CuNPs frente sementes de alface *Lactuca sativa*;

4 METODOLOGIA

4.1 AQUISIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL

A *Aloe vera* (L.) Burm. f. *in natura* foi adquirida em comércio local no município de Itacoatiara-AM conforme as coordenadas geográficas (Latitude: 3° 8' 31" Sul, Longitude: 58° 26' 33" Oeste).

4.2 PREPARO DE EXTRATO VEGETAL

Para o preparo do extrato vegetal, 200 mg da casca seca de *Aloe vera* (L.) Burm. f. foram dispersos em 100mL de água destilada e agitado por 60 min, à 25°C, e em seguida centrifugado durante 10 minutos a 3.000 rpm.

4.3 OBTENÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE COBRE (CU-NPS)

Inicialmente, preparou-se uma solução de CuSO_4 com concentração de $3 \times 10^{-3} \text{ mol/L}^{-1}$. Em seguida, retiraram-se alíquotas de 20 ml e 30 ml e adicionaram-se volumes iguais de extrato vegetal de *Aloe vera* e aferiu-se o pH da solução até 9,0 e 12,0. O sistema foi deixado sob agitação e monitorado ao longo de 21 dias (Pinheiro; Machado; Silva, 2022).

4.4 TESTE ALELOPÁTICO

Inicialmente, preparou-se uma solução de nanopartículas de cobre mediada por extrato de *Aloe vera* com uma concentração de 1% (T2) (peso/volume - p/v). Essa solução foi posteriormente diluída em concentrações de 0,1% (T3), 0,01% (T4) e 0,001% (T5). Além disso, foram usados dois

tratamentos controle: um composto apenas por água destilada (T0) e outro contendo óleo de Neem e água destilada (T1) na proporção 1:1.

O bioensaio de germinação foi conduzido em placas de Petri com 9 cm de diâmetro, cada uma contendo quatro folhas de papel filtro. Duas folhas foram colocadas na base da placa e duas na tampa, todas previamente autoclavadas a 120 °C e pressão de 1 kgf/cm² por 30 minutos, e umedecidas com uma quantidade de água destilada equivalente a duas vezes a massa do papel seco.

Foram distribuídas 20 sementes por placa, previamente desinfetadas com hipoclorito de sódio a 0,5%. Foram realizadas avaliações diárias até o décimo dia após a germinação, conforme critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes.

Na semeadura, as soluções com diferentes concentrações do extrato foram aplicadas no papel-filtro na tampa da placa de Petri, em contato direto com as sementes, que foram mantidas sob um fotoperíodo de 12 horas de luz e temperatura a 25°C em uma câmara B.O.D.

As soluções de teste foram adicionadas apenas uma vez, ou seja, no início dos bioensaios. As sementes foram consideradas germinadas quando apresentaram a protrusão da radícula de, no mínimo, 2 mm.

As variáveis analisadas foram a porcentagem de germinação e o tempo médio de germinação, conforme o método desenvolvido por Laboriau e Valadares (1976).

Os dados das variáveis foram registrados em planilhas do Excel e, posteriormente, submetidos à análise estatística utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2000).

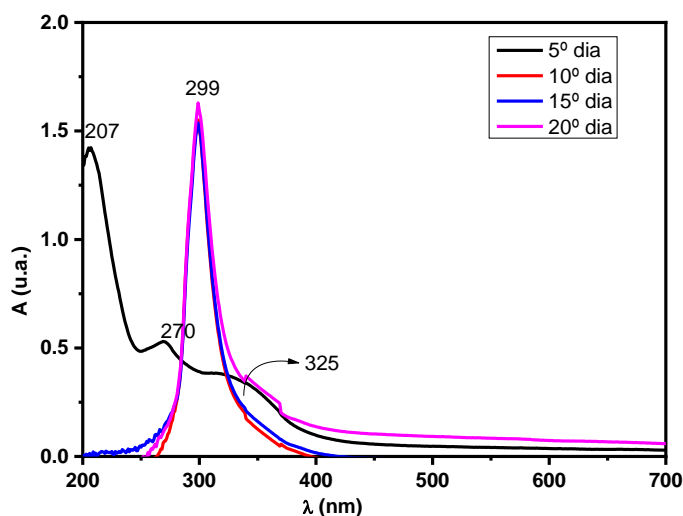
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE

Para avaliar a estabilidade após a obtenção do extrato vegetal de *Aloe vera*, foi utilizada a análise UV-Visível. A Figura 1 mostra os espectros de absorção do extrato da casca de *Aloe vera*, que apresentou, até o 5º dia, picos em 207 nm, 270 e 325 nm.

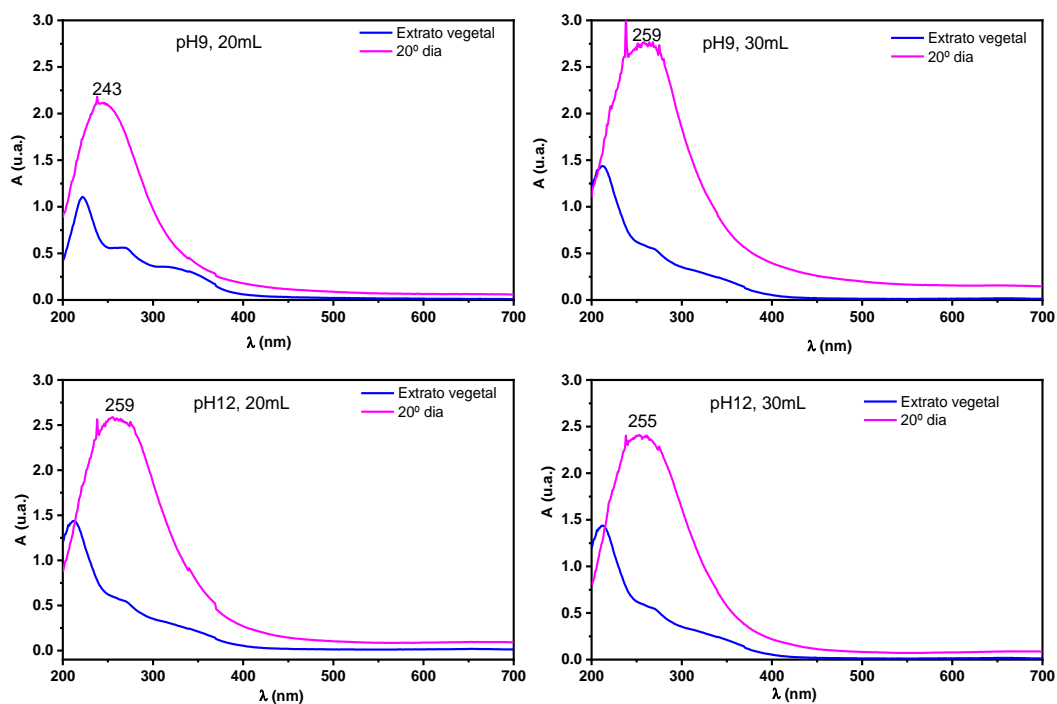
As bandas com comprimentos máximos em 207 nm e 270 nm são atribuídas as transições eletrônicas dos grupos C=O (carboxila) e O-H (hidroxila) do composto químico antraquinona emodina (Stark, 2007). Além disso, a banda larga por volta de 325 nm pode ser atribuída a presença da antraquinona aloina, um dos principais constituintes da *Aloe vera*.

Figura 1: Estudo de estabilidade do extrato vegetal de *Aloe vera* durante 20 dias



Após o 6º dia, observamos que as bandas do extrato convergem para apenas uma única banda localizada em 299 nm que permanece inalterada até o 20º dia. Essa banda, pode ser atribuída a antraquinona aloína. Após a obtenção do extrato vegetal, passamos para a etapa de obtenção das nanopartículas de cobre, como mostrado na Figura 2. Nesse estudo, é possível observar o progresso da reação à formação de três bandas distintas, sendo seus espectros monitorados de acordo com os intervalos de tempo propostos.

Figura 2: Estudo de formação das Cu-NPs nos pHs 9,0 e 12,0 no decorrer de 20 dias.



Primeiramente, a formação das nanopartículas de cobre foi confirmada pela mudança da coloração da solução de amarelo para verde após a adição do extrato vegetal à solução aquosa de CuSO_4 . Essa mudança de cor deveu-se a interação entre elétrons de condução de nanopartículas metálicas e fótons incidentes. Outro ponto importante que auxilia a análise de formação das nanopartículas de cobre trata sobre o aparecimento da banda característica na região do UV-vis por volta da faixa de UV-C (200-280 nm). Podemos observar ao analisar os espectros nos pHs 9,0 e 12,0 o aparecimento de uma banda na faixa de 243-259 nm, conferindo a formação das nanopartículas de cobre.

Neste estudo, avaliou-se a formação de nanopartículas em diferentes pHs (9,0 e 12,0) variando os volumes dos reagentes. Após 20 dias de análise, observou-se que em todos os quatro experimentos houve a formação de nanopartículas de cobre. No entanto, notou-se que, no pH 9,0 e com volumes de 20 mL de CuSO_4 e extrato vegetal, a absorvância foi menor em comparação com os outros ensaios, incluindo aquele realizado sob condições semelhantes de volumes, mas agora no pH 12,0.

Como podemos perceber, há muitas biomoléculas presente no extrato vegetal da *Aloe vera*, dentre elas estão os compostos fenólicos (antraquinona C, antronas, cromonas, fenilpironas e derivados de naftalenocarbohidratos), os quais possuem grupos hidroxilas que podem auxiliar na redução dos íons Cu^{2+} .

5.2 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ALELOPÁTICO

O efeito alelopático de uma planta pode estar associado diretamente à classe de metabólitos secundários presente em sua composição. A atividade alelopática testada neste trabalho é apresentada na tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Efeito Alelopático da nanopartícula de cobre sobre sementes de alface

Tratamento	Germinação%	TMG
T0	98,75 ^a	2,56
T1	95,00A	2,69
T2	27.50 ^a	5,83
T3	45,00A	4,83
T4	96,25 ^a	2,65
T5	96,25 ^a	2,92
C.V	25,76	36,29
Média geral	76,45	3,58

Fonte: Os autores., (2023)

Dados do bioensaio de germinação da alface (*Lactuca sativa*). T0= água destilada, T1= água destilada + óleo de Neem, T2=1% de nanopartícula de cobre com extrato de *Aloe vera*, T3=0,1% de nanopartícula de cobre com extrato de *Aloe vera*, T4=0,01% de nanopartícula de cobre com extrato de *Aloe vera*, T5=0,001% de nanopartícula de cobre com extrato de *Aloe vera*. TMG= Tempo médio de germinação, P.G.%= percentual de germinação.

Por meio do teste realizado acerca do potencial alelopático da nanopartícula de cobre nota-se que os tratamentos T0 contendo apenas água e T1 contendo água e óleo de Neem na proporção 1:1 induziram diretamente no processo de germinação das sementes de alface as quais são utilizadas em diversos ensaios de interesse agrônômico, e assim, pode-se afirmar que a alface

é uma hortaliça de alta sensibilidade à compostos como: extratos e óleos essenciais (Alves *et al.*, 2004).

As sementes necessitam de condições ideais para o seu desenvolvimento tais como luz solar, disponibilidade hídrica, temperatura, umidade e entre outros. No tratamento contendo a água ocorreu uma taxa de germinação de aproximadamente 100%, isto é, quase todas sementes germinaram. De maneira semelhante o óleo de Neem induziu o processo germinativo, este efeito também foi observado nos estudos realizados por Corllet (2016), que avaliaram o efeito do óleo de Neem sobre mudas de feijão Criolo.

Nos tratamentos T0 e T1 notou-se que o Tempo Médio de Germinação (TMG) se apresentou estável e dentro do mesmo intervalo de atividade alelopática e não diferiu estatisticamente por meio do teste de Tukey. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram potencial alelopático, pois foram capazes de inibir a germinação em 72,5% e 55%. As nanopartículas são caracterizadas quimicamente por serem moléculas de dimensões extremamente pequenas as quais podem possuir tamanhos diferentes assim como comportamento diferente frente aos diferentes meios testados.

O tempo médio de germinação (TMG) representa o tempo que as sementes levaram para germinar em função da concentração dos tratamentos as quais as estas foram expostas. Essa variável teve seus valores menores que 5 nos tratamentos 0 e tratamento 1, e no tratamento a nanopartícula de cobre contendo a *Aloe vera*, estes foram superiores nos tratamentos T2 e T3 e conforme a solução foi diluída este tempo decaiu. Nos estudos realizados por Yin *et al.* (2012) observou-se que as AgNPs revestidas com goma arábica reduziram diretamente a taxa de germinação de em *S. cyperinus*, *J. effusus* e *P. americana* comprovando a eficácia de nanopartículas na germinação das sementes.

Os tratamentos a 0,01% e 0,001% atuaram diretamente no processo de indução de germinação das sementes, pois estes tratamentos possuem a nanopartícula em menor concentração, e sobre as condições as quais as sementes foram submetidas estas germinaram, resultados similares a estes foram descritos por Porto e colaboradores (2019), que avaliaram o potencial fitotóxico de nanopartículas de cobre e de zinco sobre sementes de alface submetidas em diferentes concentrações, sendo que as menores concentrações atuaram na germinação das sementes de alface.

As nanopartículas possuem mecanismos específicos que até o presente momento não foram elucidados completamente e que necessitam de esclarecimentos até mesmo pelo fato de que cada espécie de planta tem sua própria constituição genética, e a natureza dos compostos químicos que as constituem, podem interagir com outras plantas por diferentes vias, resultando em diversas respostas sendo positivas ou não (Melo *et al.*, 2017).

Os efeitos dos herbicidas sintéticos frente o desenvolvimento de ervas daninhas pode ocorrer por meio da interrupção da formação de microtúbulos, divisão celular ou pela não produção de aminoácidos, inibindo assim a germinação e desenvolvimento de mudas (Hatzios, 2012).

Alguns autores têm associado o potencial alelopático de plantas medicinais, óleos essenciais, extratos e nanopartículas por diferentes compostos químicos uma vez que esses compostos podem alterar a permeabilidade da membrana celular, reduzir a atividade enzimática e interferir nos processos de transcrição de DNA e tradução de RNA, prejudicando a germinação de sementes e o crescimento de plântulas (El-Shora; Abd El-Gawad *et al.*, 2014; Marco *et al.*, 2012).

Segundo Saharkhiz *et al.*, (2010), o processo de inibição alelopática frequentemente é uma consequência do efeito conjunto de um grupo de aleloquímicos, e os efeitos de toxicidade podem ser aumentados devido a uma interação sinérgica, em vez de ser causada por um único composto assim as nanopartículas podem atuar de maneira mais efetiva aumentando a superfície de contato e realizando suas atividades biológicas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A síntese de nanopartículas de cobre utilizando *Aloe vera* como agente redutor demonstrou resultados promissores. Além da obtenção bem sucedida das nanopartículas, observou-se um efeito alelopático positivo significativo. Esses resultados sugerem o potencial uso das nanopartículas de cobre sintetizadas como uma ferramenta eficaz na supressão do crescimento de outras plantas, abrindo caminho para aplicações na agricultura e no controle de plantas daninhas. Este estudo destaca a importância da utilização de recursos naturais, como *Aloe vera*, na síntese de nanopartículas com propriedades alelopáticas, representando uma abordagem ecologicamente correta e sustentável para o manejo de plantas indesejadas.

7 REFERÊNCIAS

ABBAS, Sana *et al.* **Síntese de nanopartículas de prata e cobre de plantas e aplicação como adsorventes para a descontaminação de naftaleno.** *Jornal Saudita de Ciências Biológicas* 27 (2020), 1016-1023. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 22 out. 2023.

AIELLO *et al.* 2021. **Flavonóides dietéticos: Nano entrega e nanopartículas para terapia do câncer.** *Seminários em Biologia do Câncer.* Disponível em: www.elsevier.com/locate/semcancer. Acesso em: 22 out. 2023.

ALVES, M. C. S. *et al.* Alelopatia de extratos voláteis na germinação de sementes e no comprimento da raiz de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 39, n. 11, p. 1083-1086, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/nKbJcTxpKSFygqp8SswfKTP/?lang=pt>. Acesso em: 25 out. 2023.

ALPHANDÉRY, Édouard. Nanopartículas metálicas naturais para aplicação em nano-oncologia. **Revista Internacional de Ciências Moleculares**, v. 12, pág. 4412, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/12/4412>. Acesso em: 25 de out. de 2023.

AMJAD R, Mubeen B. *et al.* Green Synthesis and Characterization of Copper Nanoparticles Using *Fortunella margarita* Leaves. **Polymers (Basel)**. 2021 Dec 13;13(24):4364. doi: 10.3390/polym13244364. PMID: 34960915; PMCID: PMC8705435. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8705435/>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

AMALIYAH, Suci *et al.* Síntese verde e caracterização de nanopartículas de cobre utilizando extrato de *Piper retrofractum* Vahl como biorredutor e agente capeador. **Heliyon**, v. 8, 2020. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(20\)31480-8.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(20)31480-8.pdf). em: 24 de out. de 2023.

BARHOUMI, Lotfi *et al.*, 2014. Efeitos das Nanopartículas Superparamagnéticas de Óxido de Ferro sobre Fotossíntese e Crescimento da Planta Aquática *Lemna gibba*. **Springer Science+Business Media Nova York 2014**. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/66212>. Acesso em: 24 out. 2023

BASILIO, Mariana *et al.* **Crescimento de nanopartículas metálicas mistas de ouro e cobre em substrato de sílica visando a obtenção de materiais com uso potencial em sensores ópticos.** 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/30809>. Acesso em: 25 set. 2023

BRIZOLA, Jairo; FANTIN, Nádia. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. **Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA**, v. 3, n. 2, 2016. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/relva/article/view/1738>. Acesso em: 27 set. 2023.

CARPANO, Stella Maris; CASTRO, María Teresa; SPEGAZZINI, Etilé Dolores. Caracterización morfoanatómica comparativa entre *Aloe vera* (L.) Burm. F., *Aloe arborescens* Mill., *Aloe saponaria* Haw. y *Aloe ciliaris* Haw.(Aloeaceae). **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 19, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2009000200015>. Acesso em: 20 out. 2023.

CORLETT, F. M. F. *et al.* Efeito de óleos essenciais citronela e nim na germinação de sementes de feijão crioulo orgânico cultivados no município de Pelotas, RS. **Cadernos de Agroecologia**, [S.l.], v. 10, n. 3, may 2016. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/download/17237/13112>. Acesso em: 28 out. 2023.

CUONG, Ngoc Hoang *et al.* Novas fronteiras na biossíntese mediada por extratos vegetais de nanopartículas de óxido de cobre (CuO) e suas aplicações potenciais: uma revisão. **Pesquisa Ambiental** 203 (2022) 111858 Disponível em: www.elsevier.com/locate/envres. Acesso em: 25 set. 2023.

DEPNER, Ronise Faria Rohde *et al.* O cobre como superfície de contato antimicrobiana e sua potencial aplicação na Medicina Veterinária. **Veterinária e Zootecnia**, v. 22, n. 4, p. 532-543, 2015. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/865>. Acesso em 27 set. 2023.

EL-SHORA, H. M.; ABD EL-GAWAD, A. M Evaluation of Allelopathic Potential of *Rumex dentatus* Root Extract and Allelochemicals on *Cicer arietinum*. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v.10, p.167-180,2014.

HATZIOS, K. Crop safeners for herbicides: development, uses, and mechanisms of action, 1ª ed. Elsevier: New York, 2012.

FARIAS, Luciana A.; FÁVARO, Déborah IT. Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. **Química Nova**, v. 34, p. 1089-1093, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000600030>. Acesso em: 23 set. 2023.

FAROOQ, Ammara *et al.* Síntese baseada em química verde de nanopartículas de óxido de zinco usando derivados vegetais de *Calotropis gigantea* (Gigante Milkweed) e suas aplicações biológicas contra vários patógenos bacterianos e fúngicos. **Microrganismos**, v. 10, n. 11, pág. 2195, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112195>. Acesso em: 13 out. 2023.

FATINA, Nor; SHAARI, Norazuwana. ScienceDirect An overview of nanomaterials in fuel cells: Synthesis method and application. **International Journal of Hydrogen Energy**. v. 47, n. 42, p. 18468–18495, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.035>. Acesso em: 12 out. 2023.

FERREIRA, Pedro Paulo Linhares. Efeito da dopagem de Mn no espinélio MgAl₂O₄, do tratamento térmico e da adição de Aloe vera na síntese de Nanotubos de Carbono. **Repositório UFRN**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/53348>. Acesso em: 23 set. 2023.

FERREIRA, PPL; MELO, DM de A.; MEDEIROS, RLB de A.; ARAÚJO, TR de.; MAZIVIERO, FV.; OLIVEIRA, Ângelo A. S. de. Síntese verde com Aloe Vera de MgAl₂O₄ substituído por Mn e sem tratamento de calcinação. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 6, pág. e14411628873, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.28873. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28873>. Acesso em: 29 out. 2023.

FREITAS, V. S.; RODRIGUES, R. A. F.; GASPI, F. O. G. Propriedades farmacológicas da Aloe vera (L.) Burm. f. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 16, p. 299-307,

2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000200020>. Acesso em: 19 out. 2023.

GALAN, Crislaine Rodrigues. Impregnação de carvão ativado com nanopartículas de cobre por um método de síntese verde utilizando extrato de folhas de moringa oleifera para remoção de nitrato da água. **Repositório UEM**. 2016. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6877>. Acesso em: 01 out. 2023.

GOH, PS et al. Nanomateriais para remediação de microplásticos de ambiente aquático: Por que o nano é importante?. **Quimosfera**, v. 299, pág. 134418, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134418>. Acesso em: 12 out. 2023.

GRAEBER, K.; NAKABAYASHI, K.; LEUBNER-METZGER, G. Development of Dormancy. p. 483–489. In: THOMAS, B.; MURRAY, B. G.; MURPHY, D. J. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, 2ª ed., v. 1, ISBN: 978-0-12-394808-3, 2017.

GUNALAN S, Sivaraj R, Venckatesh R. Aloe barbadensis Miller mediated green synthesis of mono-disperse copper oxide nanoparticles: optical properties. **Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc**. 2012 Nov;97:1140-4. doi: 10.1016/j.saa.2012.07.096. Epub 2012 Aug 8. PMID: 22940049. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22940049/>. Acesso em: 24 de out. 2023.

Haida, Kimiyo Shimomura *et al.* Efeito alelopático de *Achillea millefolium* L. sobre sementes de *Lactuca sativa* L. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 101-109, 2010.

HANDA, Sachin *et al.* Um brilho das práticas de química verde na indústria farmacêutica Indústria. Disponível em: [ChemSusChem10.1002/cssc.202000317](https://doi.org/10.1002/cssc.202000317). Acesso em: 25 set. 2023.

HENZ, Gilmar Paulo; SUINAGA, F. A. Tipos de alface cultivados no Brasil. 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/783588/1/cot75.pdf>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

JOUDEH, Nadeem; LINKE, Dirk. Classificação de nanopartículas, propriedades físico-químicas, caracterização e aplicações: uma revisão abrangente para biólogos. **Revista de Nanobiotecnologia**, v. 1, pág. 262, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12951-022-01477-8> Acesso em: 26 set. 2023.

KAUSAR H, Mehmood A, Khan RT, Ahmad KS, Hussain S, Nawaz F, Iqbal MS, Nasir M, Ullah TS. Green synthesis and characterization of copper nanoparticles for investigating their effect on germination and growth of wheat. *PLoS One*. 2022 Jun 21;17(6):e0269987. doi: 10.1371/journal.pone.0269987. PMID: 35727761; PMCID: PMC9212164. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35727761/>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

LENARDÃO, Eder João et al. " Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, p. 123-129, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100020>. Acesso em: 15 out. 2023.

LOPES, Jéssica Marcondes Avaliação do efeito fitotóxico de nanopartículas de magnetita na germinação de sementes e no desenvolvimento de plântulas de *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br./ Jéssica Marcondes Lopes. -2017. Disponível em: https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2018/10/TCC-FINAL_JESSICA_MARCONDES.pdf. Acesso em: 16 out. 2023.

LR Ceja-Romer, *et al.* **Síntese química verde de óxido nanocuproso**. Disponível em: www.ietdl.org. Acesso em; 21 out. 2023.

MACHADO, Adélio A. S. C. Da gênese ao ensino da química verde. **Química Nova**, v. 34, p. 535-543, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000300029>. Acesso em: 24 set. 2023.

MACHADO, Adélio ASC. Dos primeiros aos segundos doze princípios da Química Verde. **Química Nova**, v. 35, p. 1250-1259, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000600034>. Acesso em: 24 set. 2023.

MARCO, Bianca Aparecida *et al.*, Evolução da química verde e seus impactos multidimensionais: Uma revisão. **Saudi Pharmaceutical Journal 27 (Jornal Farmacêutico Saudita 27)**, Araraquara, v. 1. n. 08, p. 1-13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.06.001>. Acesso em: 10 out. 2023.

MARCO, C. A. et al., Composição química e atividade alelopática do óleo essencial de *Lippiasidoides* cham. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 72, p. 157-160, 2012.

MAXIMIANO, Flavio A. *et al.* Química Ambiental e Química Verde no conjunto do conhecimento químico: concepções de alunos de graduação em Química da Universidade de São Paulo. **Educación química**, v. 20, n. 4, p. 398-404, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X18300429>. Acesso em: 21 out. 2023.

MELO, Sheila Castro et al. Constituição química e efeitos alelopáticos do óleo essencial de 'Curcuma zedoaria' em aquênios de alface e sementes de tomate. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 11, n. 7, pág. 906–916, 2017. Disponível em: <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/INFORMIT.091368849085675>. Acesso em: 21 out. 2023.

MEMON R, Memon A. A., Sherazi STH, Sirajuddin S, Balouch A, Shah MR, Mahesar SA, Rajar K, Agheem MH. Application of synthesized copper nanoparticles using aqueous extract of *Ziziphus mauritiana* L. leaves as a colorimetric sensor for the detection of Ag. **Turk J Chem**. 2020 Oct 26;44(5):1376-1385. doi: 10.3906/kim-2001-51. PMID: 33488237; PMCID: PMC7754729. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33488237/> Acesso em: 24 de out. 2023.

MENA – Zuverza, Núbia, *et al.* Exposição de nanomateriais projetados a plantas: insights sobre as respostas fisiológicas e bioquímicas - **ELSEVIER. Fisiologia Vegetal e Bioquímica 110**, 2017. Disponível em: www.elsevier.com/locate/plaphy. Acesso em: 20 out. 2023.

MIRANDA, Mylena Fernanda. **Caracterização físico-química de Aloe vera e atividade antimicrobiana do extrato etanólico liofilizado**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25543>. Acesso em: 23 set. 2023.

PINHEIRO, Lailla Daianna Soltau Missio; MACHADO, Alencar Kolinski; SILVA, William Leonardo. BIOSÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE PARA A APLICAÇÃO EM ENGENHARIA DE TECIDOS, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Lailla-Daianna-Soltau-Missio-Pinheiro-2188566491>. Acesso em: 26 set. 2023.

PLEISSNER, Daniel e Kümmerer, Klaus. Química Verde e sua contribuição para a biotecnologia industrial. ©Springer International Publishing AG, parte da Springer Nature 2018. Disponível em: <https://www.bing.com/search?FORM=C535DF&PC=C535&q=Qu%C3%ADmica+Verde+e+sua+contribui%C3%A7%C3%A3o+para+a+biotecnologia+industrial>. Acesso em: 20 set. 2023.

PORTO, AS; BEZERRA, MGF; FABIANO, FA; SANTOS, JG Fitotoxicidade por nanopartículas de Cobre e Zinco para diferentes tratamentos na germinação de sementes de *Lactuca sativa*. **Natureza on-line**. 2019. Disponível em: http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/NOL20180601____.pdf. Acesso em: 27 out. 2023.

PRADHAN, Sharmila & Amatya, Sharmila. (2021). REVIEW ARTICLE GREEN SYNTHESIS OF COPPER NANOPARTICLES USING ALOE VERA AND ITS CHARACTERIZATION. **International Journal of Wireless Information Networks**. 5. 5410-5414. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352578005_REVIEW_ARTICLE_GREEN_SYNTHESES_OF_COPPER_NANOPARTICLES_USING_ALOE_VERA_AND_ITS_CHARACTERIZATION. Acesso em: 22 de out. 2023.

PRADO, Alexandre GS. Química verde, os desafios da química do novo milênio. **Química Nova**, v. 26, p. 738-744, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000500018>. Acesso em: 22 out. 2023.

Pires, N.M.; Prates, H.T.; Pereira Filho, I.A.; Oliveira Jr., R.S. & Faria, T.C.L. 2001. Atividade alelopática da leucena sobre espécies das plantas daninhas. **Scientia Agricola**58: 96-124. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/910833/1/BMPDcap5.pdf>. Acesso em: 18 out. 2023.

PRIMO, O de Julia *et al.* Síntese de nanopartícula de óxido de zinco por rotas ecologicamente corretas: Adsorventes para Remoção de Cobre de Águas Residuais. Nov. de 2020, v. 8. Art: 571790. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/27879/1/nanopartículasoxidodezinco.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

RAI, Mahendra. Nanobiotecnologia verde: biossínteses de nanopartículas metálicas e suas aplicações comonanoantimicrobianos. **Ciência. Culto**. São Paulo, v. 3, pág. 44-48, julho de 2013. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S00967252013000300014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 22 de out. 2023.

RAJESH, KM *et al.* Síntese verde assistida de nanopartículas de cobre usando extrato de botão de *Syzygium aromaticum*: Propriedades físicas, ópticas e antimicrobianas. **Optik**, v. 593-600, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.10.074>. Acesso em: 13 out. 2023.

RODRIGUES, Mayara Adrielly Leal de Oliveira. Síntese verde de nanopartículas de cobre e suas aplicações: **revisão de literatura**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufm.br/handle/123456789/49651>. Acesso em: 24 set. 2023.

SANTOS, Brena Melina Silva dos. Efeito do extrato de manjeriço (*Ocimum basilicum*) com nanopartículas de nitrato de prata (AgNO₃) na inibição da *Xanthomonas phaseoli*

pv. manihotis. 2021. Disponível em: <http://131.0.244.66:8082/jspui/handle/123456789/2512>. Acesso em: 18 out. 2023.

SENEVIRATNE, Mihiri *et al.* Estresse oxidativo induzido por metais pesados na germinação de sementes e no desenvolvimento de plântulas: uma revisão crítica. **Springer Science+Business Media BV**, 2017. Disponível em: www.onlinedoctranslator.com. Acesso em: 18 out. 2023.

SILVA, Flavia Martins da; LACERDA, Paulo Sérgio Berço de; JONES JUNIOR, Joel. Desenvolvimento sustentável e química verde. **Química Nova**, v. 28, p. 103-110, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100019>. Acesso em: 24 set. 2023.

SILVA, LUCIANO PAULINO *et al.* NANOTECNOLOGIA VERDE PARA SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS. **Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria-Vol. 4**, 2017. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/nanotecnologia-verde-para-sintese-de-nanoparticulas-metalicas-20277>. Acesso em: 25 set. 2023.

SOUSA-AGUIAR, Eduardo F. *et al.* Green chemistry: the evolution of a concept. **Química Nova**, v. 37, p. 1257-1261, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140212>. Acesso em: 01 out. 2023.

SOUSA, EAO; NEVES, EA; ALVES, CR Potencial terapêutico de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis*): uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 2, pág. 378-388, 2020. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v12n2a09.pdf> Acesso em: 22 set. 2023.

TOBISZEWSKI, Marek *et al.*, Química analítica verde na preparação de amostras para determinação de vestígios de poluentes orgânicos. **Tendências em química analítica**, Gdansk, v. 28, n. 08, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.06.001>. Acesso em: 10 out. 2023.

TRYFON, Panagiota *et al.* Impacto das nanopartículas de óxido de zinco revestidas no fotossistema II de tomateiros. **Journal mdpi. Materiais** 2023, 16/ 5846. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/materials>. Acesso em: 10 out. 2023.

VENTAPANE, Ana Lúcia de S.; SANTOS, Paula ML Dos. Aplicação de princípios de Química Verde em experimentos didáticos: um reagente de baixo custo e ambientalmente seguro para detecção de íons ferro em água. **Química Nova, [S. l.]**, v. 43, n. 2, p. 201-205, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160253>. Acesso em: 14 out. 2023.

VIDEIRA, Vanessa de Cassia Gomes. Avaliação da atividade antimicrobiana de nanopartículas de cobre, prata e bimetálicas cobre/prata incorporadas em quitosana. **Repositório Unifesp**, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/68547>. Acesso em: 27 set. 2023.

WILLIS, R. J. What is Allelopathy. Cap 1, p. 1-13. In: WILLIS, R. J. **The History of Allelopathy, 1ª ed., Springer, Dordrecht**, ISBN: 978-1-4020-4092-4, 2007. Disponível em: DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4093-1_1. Acesso em: 18 out. 2023.