

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

NATÁLIA MARTINS FREITAS

NANOPARTÍCULAS NO CONTROLE DA MANCHA BACTERIANA (*Xanthomonas*
campestris pv. *vitians*) NA CULTURA DA ALFACE

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2024

NATÁLIA MARTINS FREITAS

NANOPARTÍCULAS NO CONTROLE DA MANCHA BACTERIANA (*Xanthomonas campestris* pv. *vitians*) NA CULTURA DA ALFACE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Nilvanira Donizete Tebaldi

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2024

NATÁLIA MARTINS FREITAS

NANOPARTÍCULAS NO CONTROLE DA MANCHA BACTERIANA (*Xanthomonas campestris* pv. *vitians*) NA CULTURA DA ALFACE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

Uberlândia, 26 de setembro, 2024.

Prof. Dra. Flávia Andrea Nery Silva

Prof. Dr. Silvino Intra Moreira

Dra. Alessandra Keiko Nakasone

Prof. Dra. Nilvanira Donizete Tebaldi

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2024



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 017/2024, PPGAGRO				
Data:	Vinte e seis de setembro de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:00
Matrícula do Discente:	12222AGR007				
Nome do Discente:	Natalia Martins Freitas				
Título do Trabalho:	Nanopartículas no controle da mancha bacteriana (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>viti</i>) na cultura da alface				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Controle e Manejo Integrado de Doenças				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Flavia Andrea Nery Silva - UFU; Silvino Intra Moreira - UFU; Alessandra Keiko Nakasone - Embrapa Amazônia Oriental; Nilvanira Donizete Tebaldi - UFU orientadora da candidata.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Nilvanira Donizete Tebaldi, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Nilvanira Donizete Tebaldi, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/09/2024, às 16:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávia Andrea Nery Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/09/2024, às 16:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Silvino Intra Moreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/09/2024, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandra Keiko Nakasone, Usuário Externo**, em 30/09/2024, às 11:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5725099** e o código CRC **04EB29DA**.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

F866n
2024 Freitas, Natália Martins, 1994-
Nanopartículas no controle da mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *vitiensis*) na cultura da alface [recurso eletrônico] / Natália Martins Freitas. - 2024.

Orientadora: Nilvanira Donizete Tebaldi.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5218>
Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Tebaldi, Nilvanira Donizete, 1970-, (Orient.). II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em
Agronomia. III. Título.

CDU: 631

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408

AGRADECIMENTOS

God, evertime!

E a toda minha espiritualidade, que me acompanham 24/7 e não permitem que eu desanime.

RESUMO

A mancha bacteriana da alface, causada por *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, pode resultar em perdas significativas para a cultura. O uso de nanopartículas oferece uma nova abordagem para o controle da doença. Este trabalho teve como objetivo investigar a utilização de nanopartículas no controle da mancha bacteriana e no tratamento de sementes de alface. A toxicidade das nanopartículas foi avaliada por meio da determinação da inibição do crescimento bacteriano *in vitro*. As sementes de alface foram inoculadas com a bactéria e tratadas com nanopartículas de CuO, NiO, ZnO:1Ag e ZnOCl:5Ag. Foi avaliada a detecção da bactéria nas sementes, bem como a germinação e emergência das plântulas. Para o controle da mancha bacteriana, as nanopartículas de CuO, NiO, ZnO:1Ag e ZnOCl:5Ag foram pulverizadas em plantas de alface, em aplicação preventiva e curativa. Na aplicação preventiva, CuO, NiO, ZnO:1Ag, ZnOCl:5Ag, água e Kocide foram pulverizados, e 3 dias após, as plantas foram inoculadas com suspensão bacteriana (108 UFC/mL). Na aplicação curativa, as plantas foram inoculadas com a bactéria e, 3 dias depois, pulverizadas com as nanopartículas. A severidade da doença foi avaliada e a área abaixo da curva de progresso da doença foi calculada. Dezesete nanopartículas inibiram o crescimento bacteriano *in vitro*. No entanto, as nanopartículas não reduziram a presença da bactéria nas sementes, e NiO reduziu a germinação das sementes e a emergência das plântulas. A aplicação preventiva das nanopartículas CuO, NiO, ZnO:1Ag e ZnOCl:5Ag reduziu a severidade da mancha bacteriana da alface. As nanopartículas CuO, NiO, ZnO:1Ag e ZnOCl:5Ag são uma alternativa promissora para o manejo da mancha bacteriana na alface.

Palavras-chave: bactéria; detecção; emergência; germinação; *Lactuca sativa*; sementes.

ABSTRACT

Bacterial spot of lettuce caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* can result in significant losses for the crop. The use of nanoparticles offers a new approach to controlling the disease. This study aimed to investigate the use of nanoparticles in the control of bacterial spot and in the treatment of lettuce seeds. The toxicity of the nanoparticles was assessed by determining the inhibition of bacterial growth *in vitro*. Lettuce seeds were inoculated with the bacteria and treated with CuO, NiO, ZnO:1Ag and ZnOCl:5Ag nanoparticles, and the detection of the bacteria in the seeds, germination and emergence of the seedlings were evaluated. To control bacterial spot, CuO, NiO, ZnO:1Ag and ZnOCl:5Ag nanoparticles were sprayed on lettuce plants as preventive and curative application. In the preventive application, CuO, NiO, ZnO:1Ag, ZnOCl:5Ag, water and Kocide were sprayed, and 3 days later, the plants were inoculated with a bacterial suspension (10⁸ CFU/mL). In the curative application, the plants were inoculated with the bacteria and, 3 days later, sprayed with the nanoparticles. Disease severity was assessed and the area under the disease progress curve was calculated. Seventeen nanoparticles inhibited bacterial growth *in vitro*. However, the nanoparticles did not reduce the presence of the bacteria in the seeds, and NiO reduced seed germination and seedling emergence. The preventive application of the nanoparticles CuO, NiO, ZnO:1Ag and ZnOCl:5Ag reduced the severity of bacterial spot on lettuce. The nanoparticles CuO, NiO, ZnO:1Ag and ZnOCl:5Ag are alternatives for the management of bacterial spot on lettuce.

Keywords: Bacteria. Detection. Emergence. Germination. *Lactuca sativa*. Seeds.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Uso de nanopartículas formadoras de halo de inibição em *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. [Esquerda] ZnO: 3,0Ag; ZnOCl:5,0Ag; NiO e CuO.....20
- Figura 2 e 3.** Equação de regressão de detecção em função da concentração de nanopartículas de ZnO [esquerda] e [direita] em sementes de alface inoculadas com *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*.....25

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Concentrações de nanopartículas puras e dopadas. Uberlândia – MG, 2023...11
- Tabela 2.** Zona de Inibição de Crescimento (cm) de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, tratadas com nanopartículas não diluídas (ND) e diluídas a (10^{-1} e 10^{-2}).....19
- Tabela 3.** Resultados da detecção de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* em sementes tratadas com diferentes nanopartículas sob condições inoculadas e não inoculadas.....24
- Tabela 4.** Germinação de sementes de alface sob diferentes tratamentos de nanopartículas e condições de inoculação de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*.....27
- Tabela 5.** Germinação de sementes de alface sob diferentes tratamentos de nanopartículas e condições de inoculação de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, após armazenamento.....28
- Tabela 6.** Emergência em areia, de sementes de alface inoculadas e não inoculadas com *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, e tratadas com nanopartículas..... 31
- Tabela 7.** Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da mancha bacteriana da alface, *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, em aplicação preventiva e curativa com diferentes nanopartículas (nanopartículas), ensaio 1, 2024.....32
- Tabela 8.** Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da mancha bacteriana da alface, *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, em aplicação preventiva e curativa com diferentes nanopartículas (nanopartículas), ensaio 2, 2024..... 33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1. Cultura da alface.....	12
3.2. Mancha bacteriana.....	13
3.3. Nanopartículas.....	16
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1. Nanopartículas na inibição do crescimento <i>X.c. pv v. in vitro</i>	18
4.2. Detecção de <i>Xanthomonas campestris pv. vitians</i> em sementes de alface.....	21
4.3. Aplicações preventiva e curativa de nanopartículas no controle da mancha bacteriana da alface	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1. Nanopartículas na inibição do crescimento bacteriano <i>in vitro</i>	24
5.2. Detecção de <i>Xanthomonas campestris pv. vitians</i> em sementes de alface.....	27
5.3. Aplicações preventiva e curativa de nanopartículas no controle da mancha bacteriana da alface	31
6. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A olericultura é um dos setores que mais gera empregos no agronegócio brasileiro, movimentando R\$25 bilhões e criando 7 milhões de vagas de trabalho (Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas, 2019) e a alface é a principal folhosa do setor e a oitava hortaliça mais consumida no Brasil (CEPEA, 2024), ocupando 86,8 mil hectares e envolvendo mais de 670 mil produtores no país (IBGE, 2017). A região Sudeste lidera a produção, com aproximadamente 429.905 toneladas (Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas, 2019).

A mancha bacteriana da alface, causada por *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, é a principal doença bacteriana que ocorre na cultura, principalmente nos meses de dezembro à fevereiro, associada ao ambiente com elevada umidade (Suinaga et al., 2013), no entanto, até o momento não há informação sobre as perdas causadas pela doença na cultura.

Os sintomas característicos da infecção incluem lesões necróticas nas folhas, manchas marrons encharcadas de água e translúcidas, de forma angular, que posteriormente escurecem, tornando-se finas (Wang et al., 2013). Em casos mais severos, essas lesões podem se fundir e se estender ao longo das nervuras das folhas, resultando em manchas necróticas. Conseqüentemente, a qualidade e o rendimento da alface afetada são reduzidos, o que pode levar a perdas significativas após a colheita (Wang et al., 2013).

A bactéria pode ser transmitida por sementes infectadas (Ohata et al., 1982; Pernezy et al. 2001; Umesh et al. 1996), sendo facilmente disseminada em casas de vegetação (Wellman-Desbians, 1999).

Um conjunto de estratégias para prevenção, mitigação e/ou supressão de doenças é recomendado, incluindo a redução da dispersão do patógeno, o uso de agentes químicos e de biocontrole, além do desenvolvimento de variedades resistentes (An et al., 2020).

Recentemente, o uso de nanopartículas surgiu como uma alternativa promissora no controle de doenças bacterianas. Devido ao seu tamanho reduzido e às propriedades físico-químicas, as nanopartículas podem penetrar de forma eficiente nas células bacterianas, exercendo um efeito biocida direcionado (Hou et al., 2018).

Estudos têm demonstrado que nanopartículas de prata, cobre, óxido de zinco e sílica possuem atividade antimicrobiana contra uma variedade de patógenos vegetais (Wang et al., 2013). Além disso, a funcionalização de nanopartículas com compostos bioativos pode

aumentar sua eficácia e seletividade no controle de doenças, minimizando potenciais efeitos adversos ao meio ambiente e à saúde humana (Casiano-Muñiz, 2024).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos: i) avaliar o uso de nanopartículas puras e dopadas com diferentes elementos na inibição do crescimento de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in vitro; ii) avaliar a eficiência das nanopartículas no tratamento de sementes para o controle da bactéria, e seu efeito na germinação das sementes e na emergência de plântulas de alface; iii) avaliar a eficácia das nanopartículas em aplicações preventivas e curativas para o controle da mancha bacteriana da alface.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família Asteraceae (*Compositae*), a maior família de dicotiledôneas do reino vegetal; neste grupo também estão a chicória, escarola, fuki e planta ostra (Ryder, 1999 *apud* Robinson, 2003). Domestificada na região do Mediterrâneo, é possivelmente derivada da espécie silvestre *Lactuca serriola* L., utilizada como forrageira e oleaginosa (Suinaga, 2013). Seu consumo ocorre há mais de quatro milênios, com evidências arqueológicas indicando a presença da alface cerca de 4.500 anos antes de Cristo (Ryder, 1999 *apud* Suinaga, 2013). Durante os impérios Grego e Romano, a disseminação dessa planta foi intensificada, expandindo sua presença para mais áreas do continente europeu. No Brasil, a alface foi introduzida por volta do ano 1650 pelos colonizadores europeus (Suinaga, 2013). Atualmente, é considerada a principal folhosa (CEPEA, 2024) consumida em todo território brasileiro (Favarato et al., 2017).

A alta demanda pelo consumo da alface está associada ao potencial de compra da população, ao baixo custo, à ampla utilização em redes de fast food, aos fatores nutritivos, ao sabor e à possibilidade de produção em larga escala, especialmente devido às cultivares bem

adaptadas ao clima tropical. Seu valor nutricional inclui vitaminas, mineirais, fibras e água, além de vitamina A, cálcio e ácido ascórbico (Tindall, 1983 *apud* Robinson, 2003). O Brasil é um grande produtor e consumidor de alface. No ano de 2022, a área plantada foi de 86.799 hectares (Luengo e Vilela, 2022 *apud* Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas, 2023).

Sala e Costa (2012) apontam os principais tipos de alface produzidos como sendo crespa, americana, lisa e romana; atualmente o mercado também contempla os tipos mimosa e frisée (Lana e Tavares, 2010).

A alface apresenta uma raiz principal com raízes laterais que compõem todo o comprimento do sistema radicular. Suas folhas são dispostas em espiral e fixas em uma haste curta, formando uma roseta (Robinson, 2003). A roseta é uma das características que diferenciam as cultivares de alface. As flores contém cinco pétalas amarelas e crescem em conjuntos adensados (Ryder, 1999; Tindall, 1983 *apud* Robinson, 2003). A floração, também conhecida como “aparafusamento”, é induzida por acréscimos na temperatura noturna (Robinson, 2003), sendo um fenômeno indesejado no padrão comercial.

A cultura da alface apresenta desenvolvimento ideal em temperaturas entre 15° e 25°C (EMBRAPA, 2019). As condições edafoclimáticas de um país tropical como o Brasil fazem com que o pendoamento seja induzido pelas altas temperaturas (Sala e Costa, 2012), resultando na produção de látex nas folhas, alongamento do caule e redução do número de folhas (EMBRAPA, 2019).

As principais doenças que acometem a cultura da alface são causadas por fungos, incluindo míldio, septoriose, cercosporiose, fusariose e mofo branco (Töfoli e Domingues, 2015), além de patologias causadas por bactérias, como mancha-cerosa, queima-lateral-das-folhas e a mancha-bacteriana (EMBRAPA, 2010).

3.2. Mancha bacteriana

A mancha bacteriana da alface, causada pela bactéria *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, apresenta como sintomas lesões encharcadas, translúcidas e marrons, que tornam-se negras, podendo coalescer e expandir-se ao longo do nervura da folha, depreciando sua qualidade (Tebaldi et al., 2015). Trata-se de uma bactéria Gram negativa, com oxidação/fermentação, aeróbia estrita, que forma colônias mucóides, convexas, brilhantes, de

coloração amarela em meios de cultura 523 e YDC. Apresenta crescimento a 40 °C e resultados negativos para oxidase, hidrólise do amido, asparagina como única fonte de carbono e nitrogênio, e produção de ácidos a partir do arabinose. Por outro lado, apresenta resultados positivos para levan, catalase, utilização de glicerol como fonte de carbono e reação de hipersensibilidade em tomate, fumo e couve (Tebaldi et al., 2015).

Danos causados pela bactéria na cultura da alface foram relatados na Itália durante a estação fria dos anos de 1988 e 1989 (Pennisi e Pane, 1984 *apud* zoina, 1994), no estado da Flórida de novembro a março nos anos de 1992 e 1993 (Robinson et al., 2005), e em Ohio em 1995 (Sahin et al., 2002). No Brasil, essa doença foi relatada nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Distrito Federal e em Minas Gerais (Malavolta Júnior et al., 2008). Em 2013, no município de Uberlândia, MG (Tebaldi et al., 2015).

O desenvolvimento da mancha bacteriana ocorre em temperaturas em torno de 25 °C e umidade alta (Wierzbicki, 2004). Sementes (Kimura et al., 1989; Salles et al., 1991) e mudas infectadas são um veículo de disseminação do patógeno (Lopes e Reis, 2024), podendo-se disseminar a médias e longas distâncias com a ajuda do homem, apesar de sua disseminação em campo ocorrer a curtas distâncias.

Sob condições controladas de umidade e temperatura, Toussaint et al. (2012) demonstraram que populações de *Xanthomonas campestris* pv *vitians* podem sobreviver por 30 dias em elevadas populações, mesmo em plantas não hospedeiras. A bactéria sobrevive em hospedeiros suscetíveis ou em folhas secas no solo por pelo menos 30 a 60 dias (TOUSSAINT et al., 2012), mas não persiste em restos de cultura incorporados ao solo por mais de dois ou três meses, devido à baixa competitividade com microrganismos antagonistas ou com aqueles que possuem maior habilidade saprofítica no solo.

O patógeno também pode sobreviver como residente na rizosfera e nas folhas de plantas não hospedeiras (KIMURA et al., 1989). Seu desenvolvimento como epífita em folhas de plantas hospedeiras e sua multiplicação sob condições de baixa umidade ou ambiente desfavorável permitem que o patógeno sobreviva sem causar sintomas aparentes da doença, com epidemias ocorrendo quando as condições ambientais tornam-se favoráveis (BASHAN et al., 1982). A infecção pela bactéria pode ocorrer através de ferimentos ocasionados pela ruptura de tricomas ou pelo ataque de pragas, além de ocorrer através dos estômatos (KIMURA, 1984).

BARAK (et al., 2002) sugerem que *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* pode entrar e translocar dentro dos caules de plantas de alface e que estas possivelmente se movem no sistema vascular. Ao recuperar a bactéria após 16 h de introdução no caule, entendeu-se que a bactéria

pode ser transportada por todo o comprimento do caule da planta. Presumidamente, esse transporte ocorre via sistema vascular, pois é improvável que a bactéria tenha se movido tal distância, em um período tão curto de tempo, via crescimento epifítico na superfície do caule. Em até 9 semanas foi possível recuperar *Xanthomonas campestris* pv. *vitiensis* de seções de caule desinfestadas na superfície. Evidenciou-se, após os testes de prensa, que as bactérias se movem dentro dos vasos do xilema, uma vez que os diâmetros dos poros das placas crivadas dos elementos crivados do floema são muito pequenos para permitir a passagem livre de células bacterianas (Barak et al., 2002).

A mancha bacteriana da alface possui sintomas típicos, que incluem lesões necróticas nas folhas, manchas marrons encharcadas de água e de formato angular, em casos severos podem ocorrer a queda prematura de folhas e apodrecimento das plantas atacadas (Wang et al., 2020). Em estágios avançados, essas lesões podem coalescer e se estender ao longo das nervuras foliares, resultando em manchas necróticas que comprometem a qualidade e o rendimento da cultura (Wang et al., 2013). Os sintomas iniciais da doença são comumente confundidos com outras doenças como a pinta-bacteriana, ou doenças fúngicas, como a mancha-de-estenfilio, septoriose ou a pinta-preta, devido a semelhança (Lopes e Reis, 2024).

Todos os órgãos da parte aérea da planta podem ser atacados, promovendo o secamento das folhas mais baixas e mais velhas, além de causar a queda prematura (EMBRAPA, 2010). Quando a doença acomete a planta durante a floração, pode provocar queda das flores, resultando em diminuição da produtividade (Pernezny, 2005).

Estratégias eficazes de controle são importantes para minimizar os prejuízos causados por bacterioses (Costa et al., 2022). Para isso, a redução ou controle da doença deve ser feita analisando a conjuntura do manejo integrado que inclui a utilização de sementes sadias, tratamento de sementes, evitar a semeadura em épocas de alta temperatura e incidência de chuvas, cultivo protegido, manejo de irrigação (especialmente se for por aspersão), eliminação de restos culturais e manejo com defensivos agrícolas (Yazid et al., 2024).

No entanto, o controle químico ainda é predominante, sendo os produtos à base de cobre os mais eficientes para controlar doenças bacterianas (Lamichhane et al., 2018). No entanto, a resistência das *Xanthomonas* ao cobre tem se tornado cada vez mais prevalente no campo para diferentes culturas e locais de cultivo. Essa resistência é atribuída à aquisição do cluster de genes de resistência ao cobre por meio da transferência horizontal de genes - HGT (Bender et al., 1990; Cooksey 1994; Behlau et al., 2008). A resistência ao cobre é geralmente codificada por plasmídeo, e acredita-se que o plasmídeo seja facilmente conjugado a outras bactérias

(Basim et al., 1999).

No entanto, nas últimas décadas, muitas preocupações surgiram em relação à sustentabilidade e aos efeitos ambientais do cobre, levando à busca por outros métodos de controle (Lamichhane et al., 2018). Além disso, os regulamentos sobre qual composto pode ser usado variam entre os países e a introdução de novos agentes antimicrobianos no campo está sujeita a testes extensivos antes da aprovação (An et al., 2020). Diferentes antibióticos já foram recomendados contra doenças causadas por *Xanthomonas* com aceitável potencial de uso (An et al., 2020), porém, nem todos são utilizados em larga escala.

3.3. Nanopartículas

Vindo do grego, a terminologia “nano” significa “um anão”, sendo esta a definição mais sucinta para a sua elucidação (Joudeh, 2022). Em 1947, durante a 14ª conferência da União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), o prefixo nano foi oficialmente adotado para descrever a bilionésima parte (10^{-9}) de uma estrutura (Buzea, 2007), seja ela aplicada na nanociência, nanotecnologia, nanorrobôs, nanoímãs, nanoeletrônica, nanoencapsulamento (Buzea, 2007) ou em qualquer outro setor em que esse prefixo possa ser usado. A Royal Society e a Royal Academy of Engineering descrevem “nanociência” como o estudo de fenômenos e manipulação de materiais em escalas atômica, molecular e macromolecular, enquanto a “nanotecnologia” foi definida como o design, caracterização, produção e aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas controlando a forma e o tamanho em escala nanométrica (Aslan, 2005).

Os nanomateriais têm propriedades únicas em relação à contraparte em massa, o que lhes conferem características benéficas; como mecanismos únicos de toxicidade. Em geral, acredita-se que a toxicidade se origine do tamanho e da área de superfície dos nanomateriais, composição e formas (Gatoo, 2014). As nanopartículas possuem tamanho nanométrico (1×10^{-9} m) e, embora tenham proximidades com os elementos químicos das moléculas maiores, possuem propriedades físico-químicas distintas, como coloração, condutividade elétrica e propriedades termodinâmicas (Lv, 2022), logo tem efeitos diferentes no ambiente (Assis et al., 2012). As mudanças no tamanho das partículas modificam a natureza das interações das forças das moléculas, fazendo variar sua performance.

O tamanho das partículas e a área de superfície desempenham um papel importante na

interação dos materiais com o sistema biológico. Aparentemente, a diminuição do tamanho dos materiais leva a um aumento exponencial na área de superfície em relação ao volume, tornando assim a superfície do nanomaterial mais reativa em si mesma e em seu meio contíguo (Gatoo, 2014). A toxicidade dependente do tamanho das nanopartículas pode ser atribuída a sua capacidade de entrar nos sistemas biológicos (Lovrić et al., 2005) e então modificar a estrutura de várias macromoléculas (Aggarwal et al., 2009), interferindo assim em funções biológicas críticas.

Risom (2005) descreve a proporcionalidade em relação às partículas, ou seja, com a diminuição do tamanho das nanopartículas, a área de superfície aumenta, o que provoca um aumento dependente da dose na oxidação e nas habilidades de danificar o DNA do alvo.

Um dos principais mecanismos para toxicidade das nanopartículas em organismos *in vivo* é através da geração de respostas oxidativas pela formação de radicais livres, nos quais o tamanho tem um papel decisivo a desempenhar, conforme destacado por muitos autores, que quanto menor o tamanho, mais capaz ele é de formar ROS. Esses radicais livres são conhecidos por transmitirem riscos aos sistemas biológicos, principalmente através de danos ao DNA, através da oxidação de lipídios e por consequentes respostas inflamatórias (Gatoo, 2014).

A carga de superfície também desempenha um papel importante na toxicidade das nanopartículas, pois define amplamente suas interações com os sistemas biológicos. É importante notar que as nanopartículas carregadas positivamente mostram captação celular significativa em comparação com as nanopartículas carregadas negativamente e neutras (Gatoo, 2014).

As nanopartículas são produzidas a partir de métodos biológicos, físicos e químicos, estes últimos exigem maior gasto de energia e produção de partículas tóxicas (Ferreira, 2021). O potencial antibacteriano das nanopartículas metálicas tem sido investigado para combater o aumento da resistência microbiana contra os atuais agentes antimicrobianos (Ahmed et al., 2016). Diferentes metais como ouro, prata, platina, paládio, cobre, alumínio, ferro e titânio têm sido usados para sintetizar nanopartículas (Sekhon, 2014).

Existem várias aplicações das nanopartículas na saúde humana e no meio ambiente (Arfan et al., 2022). No meio agrícola, as nanopartículas representam uma inovação tecnológica, devido ao seu potencial de melhorias na produtividade e qualidade dos produtos (Araújo et al., 2015). Existem algumas opções promissoras para seu uso, como a produção de nanopartículas para liberação controlada de nutrientes (Matos, 2017), nanossensores para monitoramento agrícola (Granziera, 2012), nanofertilizantes (Astaneh, 2021), nanotubos de

carbono na proteção de cultivos (Balandran-Quintana, 2008), nanomateriais para melhorar a qualidade do solo (Karn, 2011), nanotecnologia na entrega de água e nutrientes para plantas, nanocidas ou pesticidas encapsulados (Benício, 2015).

As nanopartículas possuem efeito positivo no controle de fitopatógenos, atuando sobre fungos (Villamizar-Gallardo et al., 2016) e fitobactérias, como o uso de nanopartículas de ZnO, ZnS ou MgO no controle de doenças de plantas causadas por *Liberibacter crescens* (Naranjo et al., 2020), *Xanthomonas alfalfae* subsp. *citrumelonis* e *Pseudomonas syringae* (Maxwell et al., 2020), *Xanthomonas perforans* (Liao et al., 2019), *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Zancan 2018), *Pantoea ananatis* (Mamede et al., 2022; 2023), *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* (Ballottin et al., 2017), e *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Graham et al., 2016), no controle da mancha bacteriana do tomateiro (Ocsoy et al., 2013; Paret et al., 2013 ; Makarovsky et al., 2018; Liao et al., 2019; Fraga et al., 2021; Oliveira et al., 2023, Santos et al., 2024), e em aplicações na medicina, para controlar *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus cereus* (Brintha; Ajitha 2016), *Candida parapsilosis* (Ballottin et al., 2017) e *Escherichia coli* (Nair et al., 2009; Li et al., 2011; Brintha e Ajitha 2016; Maxwell et al., 2020).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Bacteriologia Vegetal (LABAC), no Laboratório de Sementes (LASEM) e na casa de vegetação, do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Umuarama. As nanopartículas foram sintetizadas no Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores, do Instituto de Física, da Universidade Federal de Alagoas.

O isolado bacteriano UFU E125 de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, pertencentes à coleção de trabalho do LABAC, foi recuperado e multiplicado em meio de cultura 523 (KADO; HESKETT, 1970) por 24-48 horas a 28 °C.

A suspensão bacteriana foi preparada em água filtrada autoclavada, ajustada em espectrofotômetro para OD₅₅₀=0,1, correspondendo aproximadamente a 1x10⁹ UFC mL⁻¹.

4.1. Nanopartículas na inibição do crescimento *X.c.* pv *v. in vitro*

Para a inibição do crescimento bacteriano *in vitro* foram avaliadas as nanopartículas de ZnO dopados com ouro (Ag), prata (Au), cobre (Cu), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e níquel (Ni), ZnOCl dopados com prata (Ag) e cobre (Cu) em diferentes concentrações do elemento dopante e nanopartículas puras CuO, FeO, NiO, K, ZnO, ZnOCl (Tabela 1). A nanopartículas foram preparadas em água filtrada esterilizada na concentração de 10 mg/mL e diluídas em série (10^{-1} a 10^{-3}).

Tabela 1. Concentrações de Nanopartículas puras e dopadas, diluídas ou diluídas 10^{-1} e 10^{-2} , água e cefalaxina, utilizados nos ensaios para avaliar o potencial de nanopartículas no controle de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, UFU - Uberlândia – MG, 2023.

Tratamentos	Não Diluídas	10^{-1}	10^{-2}
Cuo	-	-	-
FeO	-	-	-
MnO	-	-	-
NiO	-	-	-
ZnO	-	-	-
ZnO: 0,07 Ag	-	-	-
ZnO: 0,3 Ag	-	-	-
ZnO: 0,7 Ag	-	-	-
ZnO: 1,0 Ag	-	-	-
ZnO: 3,0 Ag	-	-	-
ZnO: 7,0 Ag	-	-	-
ZnO: 9,0 Ag	-	-	-
ZnO: 11,0 Ag	-	-	-
ZnO: 0,1 Au	-	-	-
ZnO: 0,5 Au	-	-	-
ZnO: 1,0 Au	-	-	-
ZnO: 3,0 Au	-	-	-
ZnO: 5,0 Au	-	-	-
ZnO: 10,0 Au	-	-	-
ZnO: 0,1 Ca	-	-	-
ZnO: 1,0 Ca	-	-	-
ZnO: 0,4 Cu	-	-	-
ZnO: 1,0 Cu	-	-	-
ZnO: 4,0 Cu	-	-	-
Continuação.			

Continuação.		
ZnO: 8,0 Cu	-	-
ZnO: 12,0 Cu	-	-
ZnO: 0,1 Fe	-	-
ZnO: 0,5 Fe	-	-
ZnO: 1,0 Fe	-	-
ZnO: 3,0 Fe	-	-
ZnO: 5,0 Fe	-	-
ZnO: 7,0 Fe	-	-
ZnO: 9,0 Fe	-	-
ZnO: 11,0 Fe	-	-
ZnO: 0,50 K	-	-
ZnO: 1,0 K	-	-
ZnO: 10,0 K	-	-
ZnO: 0,5 Mg	-	-
ZnO: 1,0 Mg	-	-
ZnO: 5,0 Mg	-	-
ZnO: 10,0 Mg	-	-
ZnO: 0,02 Mn	-	-
ZnO: 0,4 Mn	-	-
ZnO: 0,8 Mn	-	-
ZnO: 0,2 Mn	-	-
ZnO: 12,0 Mn	-	-
ZnO: 0,5 Mo	-	-
ZnO: 1,0 Mo	-	-
ZnO: 5,0 Mo	-	-
ZnO: 10,0 Mo	-	-
ZnO: 0,3 Ni	-	-
ZnO: 0,7 Ni	-	-
ZnO: 1,0 Ni	-	-
ZnO: 7,0 Ni	-	-
ZnO: 11,0 Ni	-	-
ZnOCl (Sw)	-	-
ZnOCl: 0,1 Ag	-	-
ZnOCl: 1,0 Ag	-	-
ZnOCl: 5,0 Ag	-	-
ZnOCl: 10,0 Ag	-	-
ZnOCl: 0,1 Cu	-	-
ZnOCl: 1,0 Cu	-	-
ZnOCl: 5,0 Cu	-	-
ZnOCl: 10,0 Cu	-	-
Água	-	-
Cefalaxina		2,00

ZnO: (óxido de zinco) dopado com: Ag (prata), Au (ouro), Cu (cobre), Fe (ferro), K (potássio), Mg (magnésio),

Mn (manganês), Mo (molibdênio), ZnOCl (hidróxido de cloreto de zinco monohidratado ou Simonkolleite) dopado com: Ag (prata), Cu (cobre); Ni (níquel), AgO (óxido de prata), CuO (óxido de cobre), FeO (óxido de ferro), NiO (óxido de níquel), Ca (cálcio), ZnO (Óxido de zinco), ZnOCl (hidróxido de cloreto de zinco monohidratado ou Simonkolleite).

Em placas de Petri (8 cm) foi colocada uma camada básica composta de meio ágar-água 2% e outra camada contendo meio nutriente semi-sólido (0,8%) acrescido de 10% da suspensão bacteriana (109 UFC mL^{-1}). Em seguida, 6 discos de papel filtro estéril, de 6 mm de diâmetro, foram colocados sobre o meio de cultura e embebidos com $10 \mu\text{L}$ de solução de nanopartículas. Como controle negativo foi utilizada a água e como controle positivo a cefalaxina, com 3 repetições para cada concentração e para cada produto. O diâmetro do halo de inibição (cm) foi avaliado após 48 horas de incubação em estufa a 28°C , usando um paquímetro.

O ensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 64 tratamentos (64 nanopartículas puras e dopadas) e dois adicionais (água e cefalaxina), com 3 repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e pelo teste de Dunnett, utilizando o software R (R CORE TEAM, 2020).

4.2. Detecção de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* em sementes de alface

Sementes de alface crespa cv. Vera foram desinfetadas com álcool a 70% por 30 segundos, e posteriormente em uma solução de hipoclorito de sódio a 1% por 3 minutos. Em seguida, as sementes foram lavadas em água filtrada esterilizada e secas em papel filtro estéril, sob fluxo laminar.

Para a inoculação das sementes, a bactéria foi cultivada em meio de cultura 523 a 28°C por 48 horas. Em seguida, foram adicionados 2,5 mL de glicerol estéril e 2,5 mL de gelatina a 2,4% sobre o crescimento bacteriano, e homogeneizada usando uma alça de Drigalski. Em seguida, 100 sementes foram colocadas em cada placa, por 10 minutos. As sementes foram removidas e colocadas para secar sobre papel de filtro estéril sob fluxo laminar. No total 2.500 sementes foram inoculadas.

Sementes inoculadas e não inoculadas foram imersas por 10 minutos em solução das nanopartículas ZnO:1,0Ag; ZnOCl:5,0Ag; CuO e NiO a $2,5 \text{ mg/mL}$ e água (controle), em seguida secadas sobre papel de filtro estéril em fluxo laminar. As nanopartículas foram

selecionadas de acordo com o resultado do halo inibição do crescimento bacteriano *in vitro*, o critério utilizado foi a maior capacidade de formação de halo de controle da bactéria.

Sementes inoculadas foram analisadas para confirmar a presença da bactéria por meio do teste de detecção da bactéria. Foram utilizadas 100 sementes de cada tratamento, com 4 repetições de 25 sementes, colocadas sobre o meio de cultura 523 com adição de cicloheximide (0,1 mg/mL), em placa de Petri e incubadas em estufa a 28 °C por 48 horas. Em seguida, foi avaliada a porcentagem de contaminação das sementes, com a presença da bactéria com a característica das colônias: mucóides, convexas, brilhantes, de coloração amarela.

O teste de germinação foi realizado de acordo com as Regras de Análises de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), com 4 repetições de 50 sementes cada. As sementes foram colocadas sobre duas folhas de papel mata borrão em caixas tipo gerbox (11x11x5cm), e o papel embebido com água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel. As sementes foram levadas ao germinador, em temperatura de 20° C e fotoperíodo de 24 h. A primeira contagem da germinação foi no 4° dia e a contagem final ao 7° dia, e o resultado expresso em porcentagem de germinação.

Na avaliação da porcentagem de contaminação das sementes inoculadas e no teste de germinação (sementes armazenadas ou não) o ensaio foi em delineamento inteiramente ao acaso, em esquema fatorial (4 + 1 adicional), com 4 repetições. Sendo o 1° fator sementes inoculadas e não inoculadas, e o 2° fator composto por 4 nanopartículas e água, no total de 10 tratamentos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e pelo teste de Dunnett, utilizando o software R (R CORE TEAM, 2020).

No teste de emergência em areia foram utilizadas 200 sementes, distribuídas em 4 repetições de 50 sementes e semeadas em bandeja de isopor sem células (25 cm x 25 cm) contendo areia estéril. Aos 9 dias após a semeadura, foi feita a contagem das plântulas emergidas. O ensaio foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x4+1, com 4 repetições. Sendo o 1° fator sementes inoculadas e não inoculadas, e o 2° fator composto por 4 nanopartículas e o controle, no total de 10 tratamentos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e pelo teste de Dunnett, utilizando o software R (R CORE TEAM, 2020).

Sementes inoculadas e não inoculadas, tratadas com nanopartículas, avaliadas na detecção da bactéria nas sementes, germinação das sementes e emergência de plântulas, como descrito anteriormente.

4.3. Aplicações preventiva e curativa de nanopartículas no controle da mancha bacteriana da alface

Para a avaliação da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), parte das sementes, inoculadas ou não, e tratadas com nanopartículas foram armazenadas em câmara fria à 15°C por um período de 20 dias. Dois ensaios foram conduzidos na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Umuarama. O primeiro ensaio foi iniciado em agosto e o segundo em setembro de 2023. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar durante a condução dos ensaios são apresentados no Anexo I.

Uma muda de alface crespa, cv. Vera foi transplantada para cada vaso de 500 mL de capacidade, contendo substrato de areia, vermiculita e substrato solo (1:1:3).

Aplicação preventiva consistiu em pulverização de solução de nanopartículas na concentração de 2,5 mg/ML, e dos tratamentos controle Hidróxido de cobre (2 mg/mL) e água; 3 dias antes da inoculação da suspensão bacteriana (10^8 UFC/mL). Já o tratamento curativo consistiu em inoculação prévia da suspensão bacteriana, e após 3 dias procedeu-se à pulverização das tratamentos com nanopartículas, hidróxido de cobre e água. Para a inoculação da bactéria nas plantas de alface a suspensão bacteriana foi pulverizada diretamente sobre as folhas.

A severidade da doença foi avaliada aos 3, 6, 9, 12 e 15 dias após a inoculação, usando uma escala diagramática (MELLO et al., 1997). A Área Abaixo da Curva de Progresso de Doença (AACPD) foi calculada usando a fórmula: $AACPD = \sum ((Y_i + Y_{i+1}) / 2) (t_{i+1} - t_i)$, onde: Y = intensidade da doença; t = intervalo entre avaliações; i = número de avaliações no tempo (SHANER e FINNEY, 1977).

O ensaio foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial $5 \times 2+1$, sendo 5 produtos (4 nanopartículas e cobre, água – adicional), 2 aplicações (preventivo e curativo), com 5 repetições. Cada unidade experimental foi composta de dois vasos contendo 1 planta cada. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância e pelo teste de Dunnett, pelo software estatístico R (R CORE TEAM, 2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Nanopartículas na inibição do crescimento bacteriano *in vitro*

Nanopartículas de ZnO e de ZnOCl, quando dopadas com diferentes concentrações de Ag e Au apresentaram maior efeito de inibição no halo de crescimento de *Xanthomonas campestris pv. vitians*, principalmente quando não diluídas ou diluídas até 10^{-1} .

As nanopartículas de ZnO dopadas com diferentes concentrações de prata (Ag): 0,07, 0,3, 0,7, 1, 3, 7, 9 e 11; ouro (Au): 0,5, 1, 3, 5; ZnOCl dopado com Ag: 1, 5 e 10, CuO e NiO inibiram o crescimento de *Xanthomonas campestris pv. vitians in vitro* em concentrações não diluídas (10 mg/mL). As nanopartículas de ZnO: 0,07 Ag, ZnO: 0,3 Ag, ZnO: 3,0 Ag, ZnO: 7,0 Ag, ZnO: 9,0 Ag, ZnO: 11,0 Ag, ZnOCl: 5,0 Ag e ZnOCl: 10,0 Ag formaram halo na diluição 10^{-1} (1 mg/mL). As nanopartículas ZnO: 7,0 Ag e ZnO: 9,0 Ag inibiram o crescimento bacteriano na diluição 10^{-2} (0,1 mg/mL).

As nanopartículas de ZnO pura e dopadas com Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo e Ni; e ZnOCl pura e dopada com Cu, FeO, MnO, NiO e K não formaram halo, ou seja, não inibiram o crescimento de *Xanthomonas campestris pv. vitians*.

Tabela 2. Halo de inibição de crescimento (cm) de *Xanthomonas campestris pv. vitians*, tratadas com diferentes nanopartículas não diluídas, diluídas a 10^{-1} e 10^{-2} , Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG2024.

Tratamentos	Não Diluídas	10^{-1}	10^{-2}
Cuo	1,06 dA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
FeO	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
MnO	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
NiO	0,80 fA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
ZnO	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,07 Ag	1,10 dA *+	0,83 dB *+	0,00 bC *
ZnO: 0,3 Ag	1,16 cA *+	1,06 cA *+	0,00 bB *
Continuação.			
Continuação.			
ZnO: 0,7 Ag	1,20 cA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
ZnO: 1,0 Ag	1,40 bA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
ZnO: 3,0 Ag	1,80 aA +	1,43 aB *+	0,00 bC *
ZnO: 7,0 Ag	1,16 cA *+	1,23 bA *+	0,86 aB *+

ZnO: 9,0 Ag	1,03 dA *+	1,00 cA *+	0,86 aB *+
ZnO: 11,0 Ag	1,23 cA *+	1,06 cB *+	0,00 bC *
ZnO: 0,1 Au	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,5 Au	1,03 dA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
ZnO: 1,0 Au	1,33 bA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
ZnO: 3,0 Au	1,40 bA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
ZnO: 5,0 Au	0,93 eA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
ZnO: 10,0 Au	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,1 Ca	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 1,0 Ca	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,4 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 1,0 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 4,0 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 8,0 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 12,0 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,1 Fe	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,5 Fe	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 1,0 Fe	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 3,0 Fe	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 5,0 Fe	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 7,0 Fe	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 9,0 Fe	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 11,0 Fe	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,50 K	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 1,0 K	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 10,0 K	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,5 Mg	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 1,0 Mg	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 5,0 Mg	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 10,0 Mg	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,02 Mn	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,4 Mn	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,8 Mn	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,2 Mn	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 12,0 Mn	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,5 Mo	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 1,0 Mo	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 5,0 Mo	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 10,0 Mo	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
Continuação.			
Continuação.			
ZnO: 0,3 Ni	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 0,7 Ni	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 1,0 Ni	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnO: 7,0 Ni	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *

ZnO: 11,0 Ni	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnOCl (Sw)	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnOCl: 0,1 Ag	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnOCl: 1,0 Ag	0,80 fA *+	0,00 eB *	0,00 bB *
ZnOCl: 5,0 Ag	0,80 fA *+	0,86 dA *+	0,00 bB *
ZnOCl: 10,0 Ag	0,90 eA *+	0,93 dA *+	0,00 bB *
ZnOCl: 0,1 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnOCl: 1,0 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnOCl: 5,0 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
ZnOCl: 10,0 Cu	0,00 gA *	0,00 eA *	0,00 bA *
Água		0,00	
Cefalaxina		2,00	

Médias seguidas por letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.

* Difere pelo teste de Dunnett quando comparadas com Cefalaxina (controle positivo) a 5%;

+ Difere pelo teste de Dunnett quando comparadas com água (controle negativo) a 5%.

A maior zona de inibição foi observada ao utilizar nanopartículas de ZnO: 3,0Ag formando halo de 1,8 cm, enquanto o controle positivo (antibiótico) formou halo de 2,0 cm, valor estatisticamente semelhante.

A análise de diferentes nanopartículas para diferentes espécies de bactérias é fundamental para compreender a atividade antimicrobiana desses nanomateriais (Fraga et al., 2021). Resultados semelhantes foram observados na inibição do crescimento de *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Zancan, (2018) e *Pantoea ananatis* (Mamede, 2022) utilizando nanopartículas de ZnO dopadas com Ag, Au, Fe Ni.

A atividade antimicrobiana das nanopartículas de CuO foi avaliada por meio de ensaios de difusão em disco e determinação da concentração inibitória mínima (MIC) contra diversas cepas bacterianas de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumonia*, *Enterococcus faecalis*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhimurium* (Ahamed et al., 2014), *Proteus vulgaris* e *Staphylococcus aureus* (Ahamed et al., 2014; Azam et al., 2012).

Os efeitos antibacterianos das nanopartículas têm sido associados à desestabilização, degradação ou dissolução de membranas celulares e biofilme bacteriano (Mcquillan et al., 2011; Ahamed et al., 2014; Durán et al., 2016; Ballottin et al., 2017; Wang et al., 2020).

Os resultados da atividade antimicrobiana das nanopartículas de prata são influenciados por diversos fatores. Marambio-Jones e Hoek (2010) destacaram que essa atividade varia de acordo com o tipo de microrganismo, pH e temperatura do ambiente em que as nanopartículas são aplicadas. Além disso, Zhou et al. (2012) observaram que diferentes tamanhos e formatos das nanopartículas de prata também afetam sua eficácia antimicrobiana.

A interação das nanopartículas com a membrana externa dos microrganismos inicia uma sequência de eventos que compromete a integridade do envelope celular, resultando em perturbações na estabilidade estrutural da parede celular e mudanças na permeabilidade, levando eventualmente à desintegração da estrutura (SILVA et al., 2023).

Li et al. (2013) ressaltaram a importância da concentração de nanopartículas dopadas com prata e do potencial zeta na determinação da atividade antimicrobiana, assim como o tamanho e a forma das nanopartículas de prata são características cruciais que influenciam significativamente sua atividade contra bactérias patogênicas (Marambio-Jones e Hoek, 2010; Zhou et al., 2012).

5.2. Detecção de *Xanthomonas campestris* pv. *vitiens* em sementes de alface

A bactéria foi detectada em 100% das sementes inoculadas e não tratadas (água - controle) (Tabela 3), não diferindo significativamente das sementes tratadas com as nanopartículas CuO, NiO, ZnO:1Ag e ZnOCl:5Ag, variando de 88 a 98%.

Tabela 3. Detecção de *Xanthomonas campestris* pv. *vitiens* em sementes de alface inoculadas e tratadas com diferentes nanopartículas.

Tratamentos	Detecção (%)
CuO	88 a*
NiO	98 a
ZnO:1Ag	95 a
ZnOCl:5Ag	96 a
Água	100 a
Água sem inoculação	0,0 b
Coeficiente de variação (%)	8,07%

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente, de acordo com o teste de Scott-Knott (P = 0,05).

* Difere pelo teste de Dunnett quando comparadas com água (controle negativo) a 5%.

Sementes de alface inoculadas com a bactéria e tratadas com NiO (93%) tiveram a

germinação reduzida, indicando efeito deletério da nanopartícula na qualidade fisiológica (Tabela 4). Para as sementes não inoculadas o tratamento com ZnOCl:5Ag reduziu a germinação (88%), diferindo dos demais tratamentos. A germinação das sementes inoculadas e não inoculadas não diferiram estatisticamente entre si, quando tratadas com CuO, NiO e o controle (água).

Apesar da nanopartícula ZnOCl:5Ag ter apresentado efeito fitotóxico para as sementes não inoculadas, 88%, na presença da bactéria o seu uso aumentou a porcentagem de germinação para 99%. A nanopartícula ZnO:1Ag, na presença da bactéria, elevou a germinação para 100%, comparado com as não inoculadas (95%).

Estes resultados apresentam similaridade com o trabalho realizado por Fraga et al. (2020), onde as nanopartículas de ZnO:1K a 0,1 mg/mL apresentaram atividade antibacteriana sobre *Xanthomonas gardneri*; assim como os resultados encontrados por Liao et al. (2019), usando nanopartículas de MgO, CuO e ZnO a 0,1 mg/mL para a inibição de *Xanthomonas perforans*.

Tabela 4. Germinação de sementes de alface inoculadas com *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* e tratadas com diferentes nanopartículas.

Tratamentos	Inoculada	Não Inoculada
CuO	100.0 aA	96.0 aA
NiO	93.0 bA*	95.0 aA*
ZnO:1Ag	100.0 aA	95.0 aB
ZnOCl:5Ag	99.0 aA*	88.0 bB*
Água	100.0 a	100.0 a
Coeficiente de variação (%)		3,10%

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna e letras maiúsculas na linha diferem significativamente de acordo com o Teste de Scott-Knott (P = 0,05)

* Difere pelo teste de Dunnett quando comparadas com água (controle negativo) a 5%.

Pokhrel et al. (2013) observaram que o efeito das nanopartículas, em concentrações de 0,01 a 1000 mg L⁻¹, não inibiram a germinação de sementes de milho, mas que em sementes de repolho (*Brassica oleracea*) apresentaram a germinação. Da mesma forma, que para Lee et al. (2008) o uso nanopartículas de Cu não prejudicaram a germinação de sementes de feijão-

mungo e trigo em concentrações de até 1000 mg L⁻¹, embora tenham reduzido o crescimento radicular. ZnO e CuO não tiveram redução na sua germinação e ainda de acordo com Souza et al. (2011), sementes de feijão-caupi tratadas com nanopartículas tiveram o mesmo resultado.

Na germinação das sementes inoculadas, tratadas e armazenadas não houve diferença significativa entre as nanopartículas (96 a 98%) e a água (controle) (98%) (Tabela 5). No entanto, houve diferença significativa na germinação das sementes inoculadas e não inoculadas, ocorrendo um incremento na germinação das sementes inoculadas. As nanopartículas não foram fitotóxicas para as sementes tratadas e armazenadas, podendo ser utilizadas no tratamento das sementes e armazenadas por 20 dias.

Quando as sementes foram armazenadas após o tratamento e, independente de estarem inoculadas ou não, observou-se as nanopartículas NiO (97%) e ZnOCl (95%) apresentaram a melhor germinação.

Tabela 5. Germinação de sementes de alface inoculadas com *Xanthomonas campestris* pv. *vitiens* e tratadas com diferentes nanopartículas, após armazenamento, a 15°C por 20 dias.

Tratamentos	Inoculada (%)	Não Inoculada (%)	Médias
CuO	96	90	93 b
NiO	98	96	97 a
ZnO:1Ag	96	90	93 b
ZnOCl:5Ag	96	94	95 a
ÁGUA	98	96	97 a
Médias	97 A	93 B	
Coeficiente de variação (%) 2,76(%)			

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem significativamente, de acordo com o teste de Tukey (P = 0,05).

Novamente, observou o efeito protetor das nanopartículas nas sementes inoculadas (97%) em relação as não inoculadas (93%), independente de qual nanopartícula foi utilizada.

Fraga (2021) em um estudo sobre os efeitos das nanopartículas de ZnO no controle de *Xanthomonas gardneri*, na cultura do tomate, demonstrou a viabilidade do uso de nanocristais no tratamento de sementes.

Segatto et al. (2018) demonstraram que algumas nanopartículas são adsorvidas nas

células fibrosas do pericarpo da semente e se ancoram formando aglomerados nas cavidades celulares. Essa característica, combinada com o tempo de armazenamento, facilita a migração das nanoestruturas para o endosperma da semente, transformando esses aglomerados em reservas viáveis de magnésio que ficam disponíveis durante as fases de desenvolvimento e germinação da semente. Os aglomerados são formados por partículas de óxido de zinco menores que 100 nm, e os poros entre as células do pericarpo têm entre 1 e 2 μm (Segatto et al., 2018).

De La Rosa et al. (2013) relataram um aumento de até 10% na germinação de sementes de pepino expostas a 1.600 mg. L⁻¹ de nanopartículas de ZnO. No entanto, observaram uma redução de 40% e 20% na germinação de sementes de alfafa e tomate, respectivamente. A aplicação de nanopartículas de SiO₂ aumentou significativamente a germinação de sementes de tomate (Siddiqui e Al-Whaibi, 2014). Sementes de trigo (*Triticum aestivum*) tratadas com nanopartículas de óxido de grafeno apresentaram uma diminuição na porcentagem de germinação (Vochita et al., 2019).

Feizi et al. (2013) observaram que a exposição de sementes de trigo a 100 mg. L⁻¹ de nanopartículas de óxido de ferro resultou na maior taxa de germinação, aumentando-a em 41% em comparação ao controle. Nanopartículas de MgO a 100 mg estimularam a germinação de sementes de milho.

Resultados de Segatto et al. (2018) usando concentrações de nanopartículas de ZnO próximas a 50 mg. L⁻¹ (0,05 mg/mL) indicaram um aumento de aproximadamente 3% no número de mudas normais de milho. O tratamento de sementes de *Lupinus termis L.* com concentrações de 100 mg. L⁻¹ de nanopartículas de prata melhorou a germinação e o crescimento. No entanto, a exposição a altas concentrações de nanopartículas (300 e 500 mg. L⁻¹) resultou em uma redução significativa em todos os parâmetros de crescimento (Alhugaillet et al., 2018).

Lee et al. (2010) observaram que cerca de 94% das sementes de *Arabidopsis thaliana* não germinaram na concentração de 400 mg. L⁻¹ de nanopartículas de ZnO, e a exposição das sementes ao Zn, adicionado com ZnCl₂, causou fitotoxicidade a partir da concentração de 250 mg. L⁻¹. Corroborando os resultados de Segatto et al. (2018), usando concentrações de nanopartículas de ZnO superiores a 240 mg. L⁻¹, o efeito foi negativo e a porcentagem de plântulas normais foi reduzida.

Nas sementes inoculadas e tratadas com as nanopartículas também houve diferença, ZnOCl:5Ag foi estatisticamente superior aos tratamentos CuO e ZnO:1Ag. Para as sementes

não inoculadas e tratadas, NiO (64%) foi superior aos tratamentos testados.

As nanopartículas de óxido de zinco não interferiram na emergência das plântulas trigo (Nicodemos, 2021). O bom desempenho do ZnOCl:5Ag infere que na emergência essa nanopartícula é dissipada na areia, enquanto na germinação o produto fica muito próximo da semente levando a fitotoxidez, sendo recomendado como químico de tratamento de sulco e não de tratamento de sementes.

Tabela 6. Emergência em areia (%), de sementes de alface inoculadas e não inoculadas com *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, e tratadas com diferentes nanopartículas.

Tratamentos	Inoculada	Não Inoculada
CuO	70,0 aA	50 bB
NiO	44 bB	64 aA
ZnO:1Ag	66 aA	32 cB*
ZnOCl:5Ag	81 aA	28 cB*
Água	58 a	48 a
Médias	64	45
Coeficiente de variação (%)		17,06 (%)

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha são significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey (P = 0,05).

* Difere pelo teste de Dunnett quando comparadas com água (controle negativo) a 5%.

5.3. Aplicações preventiva e curativa de nanopartículas no controle da mancha bacteriana da alface

As Tabelas 7 e 8 mostram a severidade da mancha bacteriana na alface a partir do cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) em aplicações preventivas e curativas de diferentes nanopartículas, em dois ensaios conduzidos no ano de 2024.

No ensaio 1, a AACPD da mancha bacteriana na alface não apresentou diferença significativa entre as aplicações preventivas e curativas (Tabela 7).

Tabela 7. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da mancha bacteriana da alface, em aplicação preventiva e curativa de diferentes nanopartículas, ensaio 1, 2024.

Tratamentos	Preventiva	Curativa	MÉDIAS
CuO	3,3 *	3,6 *	3,45 a
NiO	4,2 *	8,7 *	6,45 b
ZnO: 1,0 Ag	3,0 *	2,1 *	2,55 a
ZnOCl: 5,0 Ag	2,4 *	2,7 *	2,55 a
Hidróxido de Cobre	3,0 *	3,0 *	3,0 a
Água	11,0	15,0	
Médias	3,18	4,02	
Coeficiente de variação (%)	44,52 (%)		

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna, diferem significativamente, pelo teste de Scott-Knott ($P = 0,05$).

* Difere pelo teste de Dunnett quando comparadas com água (controle positivo) a 5%.

No segundo ensaio (Tabela 8), na aplicação preventiva, as nanopartículas e o hidróxido de cobre (30,6) reduziram significativamente a severidade da doença quando comparadas com o controle (água) (252,9). Na aplicação curativa as nanopartículas de CuO, ZnO: 1,0Ag e ZnOCl: 5,0Ag e o hidróxido de cobre reduziram significativamente a severidade da mancha bacteriana da alface.

A aplicação preventiva apresentou menor gravidade da doença quando comparada com a aplicação curativa, possivelmente pela formação de uma barreira protetora criada pelas nanopartículas no tecido foliar, antes da inoculação, dificultando a penetração da bactéria.

Tabela 8. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da mancha bacteriana da alface, *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, em aplicação preventiva e curativa com diferentes nanopartículas, ensaio 2, 2024.

Tratamentos	Preventiva	Curativa	Médias
CuO	54,6 aA *	68,4 aA *	61,5
NiO	64,2 aA	205,2 bB	134,7
ZnO: 1,0 Ag	69,0 aA *	76,8 aA *	72,9
ZnOCl: 5,0 Ag	34,8 aA *	71,4 aA *	53,1
Hidróxido de cobre	30,6 aB *	107,4 aA *	69,0
Água	252,9 b	249,9 b	
Médias	50,6	105,8	

Coefficiente de variação (%) 44,61(%)

Médias seguidas por letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem significativamente, pelo teste de Scott-Knott (P = 0,05).

Além disso, as nanopartículas de ZnO aplicadas na aplicação preventiva podem induzir o mecanismo de defesa da planta, o que foi observado no controle de manchas bacterianas causadas por *Pseudomonas syringae* pv. *tomate*; plantas de tomate tratadas com nanopartículas de ZnO apresentaram maior atividade enzimática de autodefesa e conseqüentemente o desenvolvimento de resistência sistêmica (Elsharkawy et al. 2020), protegendo as plantas contra o patógeno.

Similaridades foram encontradas no trabalho de Fraga et al. (2020), onde a aplicação preventiva de nanocristais de ZnO:0,5Mo, ZnO:1K, e ZnO:1Mg na concentração de 2,5 mg/mL foi suficiente para reduzir a gravidade da doença e mostrou potencial para uso no manejo da mancha bacteriana do tomateiro, corroborando com os dados encontrados neste trabalho.

Doenças bacterianas são consideradas difíceis de controlar, especialmente quando já estabelecidas no campo, o que ressalta a importância das medidas preventivas. Essas medidas são as abordagens mais eficazes e sustentáveis para evitar a infecção inicial ou controlar os patógenos nos primeiros sintomas da infecção, prevenindo, assim, sua ampla disseminação (Potnis et al. 2015).

Além disso, o uso de sementes livres de patógenos se tornou uma parte importante da estratégia para o controle bacteriano. No entanto, até agora não há produtos químicos eficazes para tratar as sementes contaminadas com bactérias (Fraga, 2020).

Nanopartículas têm mostrado efeitos benéficos em plantas, ativando mecanismos de defesa e absorção de micronutrientes (Cartwright et al., 2020). As nanopartículas de ZnO podem interagir com a superfície ou o núcleo bacteriano, exibindo mecanismos bactericidas distintos: alterando a viscosidade e a estrutura da membrana celular, aumentando sua permeabilidade (Hou et al., 2018; Siddiqi et al., 2018), danificando a parede celular e permitindo a entrada de compostos tóxicos no citoplasma (Czyżowska; Barbasz, 2020) e induzindo resistência nas plantas (Elsharkawy et al., 2020).

As nanopartículas de NiO já foram utilizadas com sucesso como bactericidas contra bactérias Gram-positivas e o Gram-negativas e no controle de fungos, como *Colletotrichum* e *Fusarium* em culturas de pimenta, alface e tomate (Fatima et al., 2021).

É importante ressaltar que, embora os resultados sejam promissores, é necessário realizar estudos adicionais para avaliar a estabilidade, a segurança e a eficácia dessas nanopartículas. Além disso, a compreensão dos mecanismos subjacentes à atividade antibacteriana dos nanopartículas de ZnO dopados é fundamental para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes no controle das doenças bacterianas.

Apesar da importância da detecção de bactérias, há uma escassez de estudos na literatura que explorem essa abordagem, especificamente no contexto da fitossanidade e nanopartículas. Ao explorar as propriedades físicas e químicas dessas estruturas em escala nanométrica, abre-se a possibilidade de desenvolver agentes de controle mais eficientes e sustentáveis (Zhang, 2024). A utilização de nanopartículas no combate à mancha bacteriana na cultura da alface representa um campo de pesquisa inovador e promissor, cujos resultados podem contribuir significativamente para a segurança alimentar e a sustentabilidade da agricultura (Lv, 2022).

6. CONCLUSÃO

As nanopartículas de ZnO dopadas com diferentes concentrações de prata (Ag): 0,07, 0,3, 0,7, 1,0, 3,0, 7,0, 9,0 e 11,0 e ouro (Au): 0,5, 1,0, 3,0; ZnOCl dopado com Ag: 1,0, 5,0 e 10,0 CuO e NiO, inibiram o crescimento bacteriano de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in

vitro.

As nanopartículas CuO, ZnO:1Ag e ZnOCl:5Ag reduziram a presença da bactéria nas sementes de alface, mantendo a germinação das sementes e emergência de plântulas de alface.

As nanopartículas avaliadas são alternativa para o manejo da mancha-bacteriana na alface.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas. Anuário Brasileiro de hortiefruti. 2023. Editora Gazeta. Disponível em:

<<https://www.editoragazeta.com.br/revista-agrobrasil-2022/>>. Acesso: 02 jun. 2024.

Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas. Anuário Brasileiro de hortiefruti. 2019. Editora Gazeta. Disponível em:

<<https://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-de-horti-fruti-2019/>>. Acesso: 02 jun.2024.

AGGARWAL, P. *et al.* Nanoparticle interaction with plasma proteins as it relates to particle biodistribution, biocompatibility and therapeutic efficacy. *Adv Drug Deliv Rev.* 2009 Jun 21;61(6):428-37. doi: 10.1016/j.addr.2009.03.009. Epub 2009 Apr 17. PMID: 19376175; PMCID: PMC3683962. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19376175/>>. Acesso: 09 set. 2024.

AGROFIT. Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em:<

https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons >. Acesso: 03 set. 2024.

AHAMED, M. *et al.* Synthesis, characterization and antimicrobial activity of copper oxide nanoparticles. *Journal of Nanomaterials* 2014:1–4 <https://doi.org/10.1155/2014/637858>

ASLAN, K. *et al.* Metal-enhanced fluorescence: an emerging tool in biotechnology. *Curr Opin Biotechnol.* 2005 Feb;16(1):55-62. doi: 10.1016/j.copbio.2005.01.001. PMID:

15722016; PMCID: PMC6853068. Disponível em: <

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15722016/>>. Acesso: 09 dez. 2024.

AL-HUQAIL, A. A. *et al.* Preparation,

characterization of silver phyto nanoparticles and their impact on growth potential of *Lupinus termis* L. seedlings. *Saudi J Biol Sci.* 25 (2): 313-319.

NA, S.Q. *et al.* Mechanistic insights into host adaptation, virulence and epidemiology of the phytopathogen *Xanthomonas*. *FEMS Microbiol Rev.* 2020 Jan 1;44(1):1-32. doi: 10.1093/femsre/fuz024. PMID: 31578554; PMCID: PMC8042644. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8042644/>>. Acesso:: 03 set. 2024.

ANDRIEVSKI, R.A. Review of thermal stability of nanomaterials. *J Mater Sci.* 2014;49(4):1449–60. Disponível em :< <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-013-7836-1>>. Acesso: 11 set. 2024.

ARAÚJO, E. A. *et al.* Sanitização de cenoura minimamente processada com nanopartículas de prata. *Ciência Rural*, [S.L.], v. 45, n. 9, p. 1681-1687, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130820>. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130820>>. Acesso:: 24 mai. 2024.

ARFAN, A. R.; ILMIAWATI, A.; SUGITA, P. Optimization and synthesis of etoricoxib-loaded low molecular weight chitosan nanoparticles. *Ciência Rural*, [S.L.], v. 52, n. 11, p. 1-15, nov.2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20210656>. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20210656>>. Acesso:: 24 mai. 2024.

AHMED, S.; ANNU, IKRAM S.; YUDHA S. S. Biosynthesis of gold nanoparticles: A green approach. *J Photochem Photobiol B.* 2016 Aug;161:141-53. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2016.04.034. Epub 2016 May 18. PMID: 27236049. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27236049/>>. Acesso: 09 set. 2024.

ASHRAF, M.A. *et al.* Effects of size and aggregation/agglomeration of nanoparticles on the interfacial/interphase properties and tensile strength of polymer nanocomposites. *Nanoscale Res Lett.* 2018;13(1):1–7. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1186/s11671-018-2624-0>>. Acesso: 11 set. 2024.

ASSIS, L. M. DE *et al.* Revisão: características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. *Brazilian Journal Of Food Technology*, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 99-109, 24 abr. 2012.

FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1981-67232012005000004>. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1981-67232012005000004>>. Acesso:: 24 mai. 2024.

ASTANEH, N. et al. Nano-fertilizer prevents environmental pollution and improves physiological traits of wheat grown under drought stress conditions. *Scientia Agropecuaria* [online]. 2021, vol.12, n.1, pp.41-47. ISSN 2077-9917. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.005>. Disponível em: <<http://www.scielo.org.pe/scieloOrg/php/reference.php?pid=S2077-99172021000100041ecaller=www.scielo.org.peelang=es>>. Acesso:: 24 mai. 2024.

AZAM, A. et al. “Size-dependent antimicrobial properties of CuO nanoparticles against Gram-positive and -negative bacterial strains,” *International Journal of Nanomedicine*, vol. 7, pp. 3527–3535, 2012.

BALANDRAN-QUINTANA, R. R. et al. Nanotubos de carbono y bionanotecnología. *INCI* [online]. 2008, vol.33, n.5, pp.331-336. ISSN 0378-1844. Disponível em: <<https://ve.scielo.org/scieloOrg/php/reference.php?pid=S0378-18442008000500005ecaller=ve.scielo.orgelang=es>>. Acesso:: 24 mai. 2024.

BALLOTTIN, D. et al. Antimicrobial textiles: biogenic silver nanoparticles against *Candida* and *Xanthomonas*. *Materials Science and Engineering C* 75:582–589, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ljubica-Tasic/publication/313971374_Antimicrobial_textiles_Biogenic_silver_nanoparticles_against_Candida_and_Xanthomonas/links/5b1fbbd3aca272277fa7ed8c/Antimicrobial-textiles-Biogenic-silver-nanoparticles-against-Candida-and-Xanthomonas.pdf>. Acesso: 18 set. 2024.

BARAK, J.D.; KOIKE, S.T.; GILBERTSON, R.L. Movement of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in the stems of lettuce and seed contamination. *Plant Pathol.* 2002;51:506–12. Disponível em: <<https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-3059.2002.00730.x>>. Acesso: 13 jul. 2024.

BARBER, D.J.; FREESTONE, I.C. Uma investigação da origem da cor da Taça de *Lycurgus* por microscopia eletrônica de transmissão analítica. *Arqueometria*. 1990;32(1):33–45.

Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-4754.1990.tb01079.x>>.

Acesso: 11 set. 2024.

BASIM, H. *et al.* Chromosomal Gene Transfer by Conjugation in the Plant Pathogen

Xanthomonas axonopodis pv. *vesicatoria*. *Phytopathology*. 1999 Nov;89(11):1044-9. doi:

10.1094/PHYTO.1999.89.11.1044. PMID: 18944660. Disponível em:<

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18944660/>>. Acesso: 03 de jul. 2024.

BASHAN, Y.; DIAB, S.; OKON, Y. Survival of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in pepper seeds and roots in symptomless and dry leaves in non-host plants and in the soil.

Plants and Soil, v.68, p.161-170, 1982.

BEHLAU, F. *et al.* Copper sprays and windbreaks for control of citrus canker on young

orange trees in southern Brazil. *Crop Protection*, Volume 27, Issues 3–5, 2008, Pages 807-

813, ISSN 0261-2194, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.11.008>. Disponível em:<

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219407002980>>. Acesso: 03 set.2024

BENDER, C.L. *et al.* Characterization of pXV10A, a Copper Resistance Plasmid in

Xanthomonas campestris pv. *vesicatoria*. *Appl Environ Microbiol*. 1990 Jan;56(1):170-5. doi:

10.1128/aem.56.1.170-175.1990. PMID: 16348089; PMCID: PMC183268. Disponível em:<

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16348089/>>. Acesso: 03 set. 2024.

BENÍCIO, L. P. F. *et al.* Layered double hydroxides: nanomaterials for applications in

agriculture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 39, no. 1, Jan-Feb 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1590/01000683rbcs2015081>. Disponível

em:<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/kPMswmRVtM8hCvYSnN78tyh/?lang=en#>>. Acesso: 24

mai. 2024.

BIANCHINI, A.; MARINGONI, A.C.; CARNEIRO, S.M.P.G. Doenças do feijoeiro

(*Phaseolus vulgaris* L.). In: Kimati, H., Amorim, L., Rezende, J.A.M., Bergamin Filho, A. e Camargo, L.E.A. (Eds.) Manual de Fitopatologia. v.2, 4 ed. São Paulo SP. Editora Ceres. 2005. pp. 333-349.

BOREL, J.-P. Thermodynamical size effect and the structure of metallic clusters. Surf Sci. 1981;106(1-3):1-9. Disponível em:<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0039602881901734>>. Acesso: 2024

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.

BRILL, R.H., CAHILL N.D. A red opaque glass from Sardis and some thoughts on red opaques in general. J Glass Stud. 1988;30:16-27. Disponível em:<
<https://www.jstor.org/stable/24190804>>. Acesso: 11 set. 2024.

BUZEA, C.; PACHECO, II; ROBBIE, K. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. Biointerphases. 2007 Dec;2(4):MR17-71. doi: 10.1116/1.2815690. PMID: 20419892. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20419892/>>. Acesso: 11 set. 2024.

CARTWRIGHT, A. et al. A Review of Metal and Metal-Oxide Nanoparticle Coating Technologies to Inhibit Agglomeration and Increase Bioactivity for Agricultural Applications. Agronomy, Logan, v. 10, n. 7, p. 1018, 15 jul. 2020. DOI:
<https://doi.org/10.3390/agronomy10071018>. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2073-4395/10/7/1018>. Acesso: 21 jun. 2024.

CASIANO-MUÑIZ, I. M. et al. Synthesis, Characterization, and Ecotoxicology Assessment of Zinc Oxide Nanoparticles by In Vivo Models. Nanomaterials (Basel), v. 14, n. 3, p. 255, jan. 2024. DOI: 10.3390/nano14030255. PMID: 38334526. Free PMC article. Disponível em :<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38334526/>. Acesso: 11 jun. 2024.

CEPEA. Hortifruti Brasil, Piracicaba, n. 20, p. 21-35, mar. 2024. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/edicao-de-marco-o-que-mudou-no-cons-umo-do-brasileiro-nos-ultimos-anos.aspx>. Acesso: 11 jun. 2024.

CHAMPION, J.A., MITRAGOTRI, S. Role of target geometry in phagocytosis. Proc Natl Acad Sci U S A. 2006 Mar 28;103(13):4930-4. doi: 10.1073/pnas.0600997103. Epub 2006 Mar 20. PMID: 16549762; PMCID: PMC1458772. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1458772/>>. Acesso: 11 set. 2024.

CONTI, J.H. Caracterização de cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) adaptadas aos cultivos de inverno e verão. 1994. 103 f. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-20210918211116/publico/ContiJoseHenrique.pdf>>. Acesso: 11 jul. 2024.

COOKSEY, D.A. Molecular mechanisms of copper resistance and accumulation in bacteria. FEMS Microbiol Rev. 1994 Aug;14(4):381-6. doi: 10.1111/j.1574-6976.1994.tb00112.x. PMID: 7917425. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7917425/>>. Acesso: 03 set. 2024

COSTA, R.V. et al. Efficiency of fungicides to control maize white spot. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.11, n.3, p.291-301, 2012. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v11n3p291-301. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bits7/rbms.v11n3p291-301>. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bits>. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/960461/1/Eficienciafungicidas2.pdf>>. Acesso: 04 jun. 2024.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. Horticultura Brasileira. v. 30, n. 2, p. 187-194. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira 2012, 29 mai. 2012. Acesso: 04 jun. 2024.

CZYŻOWSKA, A.; BARBASZ, A. A review: zinc oxide nanoparticles friends or enemies? *International Journal of Environmental Health Research*, Kraków, p. 1–17, 10 ago. 2020. DOI: : <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1805415>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09603123.2020.1805415>. Acesso: 21 jun. 2023.

DA SILVA, M. R. P. *et al.* Defect-engineered Ag/ZnO and Ag₂O/ZnO nanomaterials prepared with nanoparticles synthesized by a sustainable sol–gel method and their biological responses. *Journal of Nanoparticle Research*, 26(69), 2024 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11051-024-05973-w>.

DE LA ROSA, G. *et al.* Effects of ZnO nanoparticles in alfalfa, tomato, and cucumber at the germination stage: Root development and X-ray absorption spectroscopy studies. *Pure Appl Chem*. 85: 2161-2174, 2013.

DE JONG W.H. *et al.* Particle size-dependent organ distribution of gold nanoparticles after intravenous administration. *Biomaterials*. 2008 Apr;29(12):1912-9. doi: 10.1016/j.biomaterials.2007.12.037. Epub 2008 Feb 1. PMID: 18242692.

DÖNMEZ M. F., TEMEL I. Use of antagonistic bacteria against *Xanthomonas hortorum* pv. *vitians* causing disease in lettuce. *Zemdirbyste-Agriculture*, 110 (2): 165–172, 2023. <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.020> Disponível:< <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagd%3A14%3A4574446/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholareid=ebsco%3Aagd%3A169745647ecl=c>>. Acesso:: 16 ago. 2024.

DUARTE, L.C.; MOTA, L.C.B.M.; TEBALDI, N.D. Detecção de *Xanthomonas campestris* pv. em sementes de maracujá. *Phytopathologica*, vol. 2, p. 1-8, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13314-023-05678>.

DURÁN, N. *et al.* Silver nanoparticles: a new view on mechanistic aspects on antimicrobial activity. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* 12:789–799, 2016

EALIA, S.A.M., SARAVANAKUMAR, M.P. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing; 2017. p. 32019. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/A-review-on-the-classification%2C-characterisation%2C-Ealias-Saravanakumar/f829fc9ce338392380d787ace76d1c559ebdf2fd>>. Acesso: 11 set. 2024.

ELSHARKAWY, M. *et al.* Zinc oxide nanostructures as a control strategy of bacterial speck of tomato caused by *Pseudomonas syringae* in Egypt. *Environmental Science and Pollution Research* 27:19049–19057, 2020. Disponível em: <<https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/lmqqxvml/>>. Acesso: 18 set. 2024.

EMBRAPA. BRASIL EM 50 ALIMENTOS. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora, 2023. 359 p. Acesso: 12 out. 2023.

EMBRAPA. DOENÇAS DA ALFACE. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2010. 68 p. Acesso: 12 out. 2023.

EMBRAPA. Novas cultivares de alface crespa suportam até dez dias mais o calor. Embrapa Hortaliças, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/45214606/novas-cultivares-de-alface-crespa-suportam-ate-dez-dias-mais-o-calor>>. Acesso: 11 jun 2024.

ELSHARKAWY, M. *et al.* Zinc oxide nanostructures as a control strategy of bacterial speck of tomato caused by *Pseudomonas syringae* in Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*, [s. l.], v. 27, n. 16, p. 19049–19057, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3806-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-3806-0>. Acesso: 21 jun. 2024.

EL-KALIO, G. A. *et al.* Effect of ZnO nanoparticles on germination and growth parameters of rice (*Oryza sativa* L.). *Nanomaterials and Agriculture*, v. 10, n. 3, p. 112-120, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano10030112>. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11234678/>>. Acesso: 12 jun. 2024.

FAVARATO, L.F., GUARÇONI, R.C.; SIQUEIRA, A.P., 2017. Produção de alface de primavera/verão sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Científica Intelletto*, vol. 2, no. 1, pp. 16-28. <http://dx.doi.org/10.17648/intelletto-2525-9075-v2-n1-03>. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17648/intelletto-2525-9075-v2-n1-03>>. Acesso: 21 jun. 2023.

FEIZI, H. *et al.* Assessment of concentrations of nano and bulk iron oxide particles on early growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) (2013) *Annu Rev Res Biol.* 3: 752-761.

FERREIRA, T. P. M. Desenvolvimento de filmes de PVOH/NCC revestidos com nanopartículas de prata para aplicação como embalagens flexíveis ativas. 2021. Disponível em:<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/23491/1/ThiagoP%C3%A9riclesMartinsFerreira_Tese.pdf>. Acesso:: 11 jun. 2024.

FONSECA, L. DA S. *et al.* Analysis of the dispersion and potential toxicity of zinc oxide nanoparticles in plant systems. *NanoImpact*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 101347, 5 dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2023.101347>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S245207482030072X>. Acesso: 21 jun. 2023.

FRAGA, F.S. *et al.* Doped zinc-oxide nanocrystals for the control of tomato bacterial spot and *Xanthomonas gardneri* in seeds. *Trop. plant pathol.* 46, 406–413 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00436-2>. Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-021-00436-2#citeas>>. Acesso:: 02 jul. 2024.

FUBINI, B. *et al.* Effect of chemical composition and state of the surface on the toxic response to high aspect ratio nanomaterials. *Nanomedicine (Lond)*. 2011 Jul;6(5):899-920. doi: 10.2217/nnm.11.80. PMID: 21793679. Disponível:<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21793679/>>. Acesso: 11 set. 2024.

GARCIA, M. A. *et al.* Detection of *Xanthomonas campestris* pv. *viti*ans in contaminated seeds using molecular techniques. *Phytopathology*, New York, v. 102, n. 3, p. 271-278, mar. 2012.

DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-11-0215>. Disponível em:
<https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-08-11-0215>. Acesso: 11 jun. 2024.

GATOO, M.A. *et al.* Physicochemical properties of nanomaterials: implication in associated toxic manifestations. *Biomed Res Int.* 2014;2014:498420. doi: 10.1155/2014/498420. Epub 2014 Aug 6. PMID: 25165707; PMCID: PMC4140132. Disponível em: <
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4140132/>>. Acesso: 09 set. 2024.

GEOFFRION, L.D., GUISEBIERS G. Quantum confinement: size on the grill! *J Phys Chem Solids.* 2020;140: 109320. Disponível em :<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022369719324576?via%3Dihub>>.
Acesso: 11 de set. 2024.

GRANZIERA, L. da S. *et al.* Nanotecnologia na agricultura: Prospecção dos indicadores de Impactos ambientais e sociais. In: 6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2012, 13 a 15 de agosto de 2012, Jaguariúna, SP. Nº 12408.

GRAHAM, J.H.; MCGUIRE, R.G.; MILLER, J.W. Survival of *Xanthomonas campestris* pv. *citri* em restos de plantas cítricas e solo na Flórida e na Argentina. *Plant Disease*, v. 71, n. 12, pág. 1094-1098, 1987.

GRAHAM, J.H; *et al.* Potential of Nano-Formulated Zinc Oxide for Control of Citrus Canker on Grapefruit Trees. *Plant Dis.* 2016 Dec;100(12):2442-2447. doi: 10.1094/PDIS-05-16-0598-RE. Epub 2016 Oct 4. PMID: 30686171. Disponível em:<
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30686171/>>. Acesso: 18 set. 2024.

GU, K; *et al.* R gene expression induced by a type-III effector triggers disease resistance in rice. *Nature.* 2005 Jun 23;435(7045):1122-5. doi: 10.1038/nature03630. PMID: 15973413. Disponível:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15973413/>Acesso:: 16 ago. 2024.

GUO, D.; XIE G.; LUO J. Mechanical properties of nanoparticles: basics and applications. *J Phys D Appl Phys.* 2013;47(1):13001. Disponível em :<

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/47/1/013001/meta>>. Acesso: 11 set. 2024.

HAYES, R. J. *et al.* The inheritance of resistance to bacterial leaf spot of lettuce caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* in three lettuce cultivars, Horticulture Research, Volume 1, 2014, 14066. Disponível:<
<https://academic.oup.com/hr/article/doi/10.1038/hortres.2014.66/6428162>>. Acesso:: 16 ago. 2024.

HOU, J. *et al.* Toxic effects of different types of zinc oxide nanoparticles on algae, plants, invertebrates, vertebrates and microorganisms. Chemosphere, Beijing, v. 193, p. 852–860, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.077>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517318544?via%3Dihub>. Acesso:: 11 jun. 2024.

HUSSAIN, S. *et al.* Synthesis, characterization, and antibacterial activity of zinc oxide and copper oxide nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria. J Nanomater Mol Nanotechnol 1:102 1 3 102 Page 14 of 14 Vol: 2022.

IKHMAYIES, S.J. Characterization of nanomaterials. JOM. 2014;66(1):28–9. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s11837-013-0826-6>>. Acesso: 11 set. 2024.

IYER-PASCUZZI, A.S.; MCCOUCH, S.R. Recessive resistance genes and the *Oryza sativa*-*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* pathosystem. Mol Plant Microbe Interact. 2007 Jul;20(7):731-9. doi: 10.1094/MPMI-20-7-0731. PMID: 17601161. Disponível:<
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17601161/>>. Acesso:: 16 ago. 2024.

JONES, D. W. *et al.* Development of antimicrobial textiles using ZnO and CuO nanoparticles. Journal of Nanomaterials, v. 2016, p. 1-10, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/9423761>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jnm/2016/9423761/>. Acesso: 11 jun. 2024.

JOUDEH, N.; LINKE, D. Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. J

Nanobiotechnology. 2022 Jun 7;20(1):262. doi: 10.1186/s12951-022-01477-8. PMID: 35672712; PMCID: PMC9171489. Disponível em:<
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35672712/>>. Acesso: 11 set 2019.

KARN, B.; KUIKEN, T.; OTTO, M.. Nanotechnology and in situ remediation: a review of the benefits and potential risks. In: U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development, NCER, 8722F, 1200 Pennsylvania Ave. NW, Washington, DC 20460 USA. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/csc/a/PNhfrmQDyp99Z6sZKHjmbgc/?lang=en>>. Acesso: 24 maio 2024.

KEESOM, W.H. On the deduction of the equation of state from Boltzmann's entropy principle'. KNAW Proc. 1912;15:240–56. Disponível em :<
<https://dwc.knaw.nl/DL/publications/PU00012940.pdf>>. Acesso: 11 set 2024.

KHAN, I.; SAEED, K.; KHAN, I. Nanoparticles: properties, applications and toxicities. Arab J Chem. 2019;12(7):908–31. Disponível em:<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535217300990>>. Acesso: 11 set 2024.

KIMURA, O. Enfermidades bacterianas do pimentão. Informe Agropecuário, v.10, p.39-41, 1984.

KIMURA, O. Fitoalexinas e resistência de pimentão (*Capsicum annum* L.) a *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (DOIDGE) Dye. Viçosa, 1986. 94p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

KIMURA, O. *et al.* Identificação de um novo grupo de *Xanthomonas vesicatoria* (DOIDGE) Dowson infectando a Berinjela (*Solanum melongena*). Revista da Sociedade de Fitopatologia, v.9, n.3, p.5, 1976. /Apresentado ao 9. Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Piracicaba, 1976- Resumo/.

KIM, D.R. *et al.* Epidemiology and control of strawberry bacterial angular leaf spot disease caused by *Xanthomonas fragariae*. *Plant Pathol J.* 2016;32:290–9.

KIM, S.T. *et al.* Dendronized gold nanoparticles for siRNA delivery. *Small.* 2012 Nov 5;8(21):3253–6. doi: 10.1002/sml.201201141. Epub 2012 Aug 8. PMID: 22887809; PMCID: PMC3490019. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22887809/> >. Acesso: 09 set 2024.

KIMURA, O. *et al.* Eficiência de transmissão de *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* em sementes de pimentão. *Fitopatologia Brasileira*, v.14, p.126, 1989. /Apresentado ao 22. Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Campinas, 1989 – Resumo/.

KOHLI, A.K.; ALPAR, H.O. Potential use of nanoparticles for transcutaneous vaccine delivery: effect of particle size and charge. *Int J Pharm.* 2004 May 4;275(1-2):13–7. doi: 10.1016/j.ijpharm.2003.10.038. PMID: 15081134. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15081134/> >. Acesso: 11 set. 2024.

KRAVCHENKO, S. A. *et al.* Zinc oxide nanoparticles as a new class of plant growth regulators: A review of recent advances. *Nanomaterials*, v. 10, n. 5, p. 1–15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano10040716>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/4/716>. Acesso: 12 jun. 2024.

LAMICHHANE, J.R. *et al.* Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agron Sustain Dev.* 2018;38:28. Disponível em : < <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-018-0503-9> >. Acesso: 03 set. 2024.

LANA, M. M.; TAVARES, S. A. (Ed.). 50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 209 p. il. color. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/alface> >. Acesso: 11 jun. 2024.

LEE, C. W. *et al.* Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Hoboken, v. 29, n. 3, p. 669–675, 2010.

LEE, M.K.; LIM, S.J.; KIM C.K. Preparation, characterization and in vitro cytotoxicity of paclitaxel-loaded sterically stabilized solid lipid nanoparticles. *Biomaterials*. 2007 Apr;28(12):2137-46. doi: 10.1016/j.biomaterials.2007.01.014. Epub 2007 Jan 10. PMID: 17257668. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17257668/> >. Acesso: 09 set. 2024.

LI, J. F. *et al.* “Preparation of spindly CuO micro-particles for photodegradation of dye pollutants under a halogen tungsten lamp,” *Applied Catalysis A*, vol. 406, no. 1-2, pp. 51–58, 2011.

LIAO, Y.Y. *et al.* Nano-Magnesium Oxide: A Novel Bactericide Against Copper-Tolerant *Xanthomonas perforans* Causing Tomato Bacterial Spot. *Phytopathology*. 2019 Jan;109(1):52-62. doi: 10.1094/PHYTO-05-18-0152-R. Epub 2018 Dec 4. PMID: 30070617. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30070617/> >. Acesso: 18 set. 2024.

LIPPMANN, M. Effects of fiber characteristics on lung deposition, retention, and disease. *Environ Health Perspect*. 1990 Aug;88:311-7. doi: 10.1289/ehp.9088311. PMID: 2272328; PMCID: PMC1568011. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2272328/> >. Acesso: 09 set. 2024.

LONDON, F. The general theory of molecular forces. *Trans Faraday Soc*. 1937;33:8b–26. Disponível em:< <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1937/ft/ft937330008b/unauth>>. Acesso 11 set. 2024.

LOPES, C. A.; REIS, A. Mancha-bacteriana: tomate. *Tomate*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/tomate/producao/doencas-e-pragas/doencas/bacteria/mancha-bacteriana>. Acesso: 25 fev. 2024.

LOVRIC, J. *et al.* Differences in subcellular distribution and toxicity of green and red emitting CdTe quantum dots. *J Mol Med (Berl)*. 2005 May;83(5):377-85. doi:

10.1007/s00109-004-0629-x. Epub 2005 Feb 2. PMID: 15688234. Disponível em:<
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15688234/>>. Acesso: 09 set. 2024.

LU, H.; RAID, R. A novel screening method for evaluating lettuce germplasm for bacterial resistance to leaf spot. HortScience, Alexandria, v.48, n.2, p.171-174, 2013.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.2.171>. Disponível em:
<<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/48/2/article-p171.xml>>. Acesso: 11 jun. 2024

LV, W. et al. The behavior, transport, and positive regulation mechanism of ZnO nanoparticles in a plant-soil-microbe environment. Environmental Pollution, 2022, v. 120368, . DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120368. PMID: 36216179.
Disponível:<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36216179/>>. Acesso: 11 jun. 2024

MALAVOLTA JÚNIOR, V.A. *et al.* Bactérias fitopatogênicas assinaladas no Brasil: Uma atualização. Summa Phytopathologica, Botucatu, v.34(Special Supplement), p.9-87, 2008.
Acesso: 11 jun. 2024

MAMEDE, M. C. *et al.* Nanoparticles in inhibiting *Pantoea ananatis* and to control maize white spot. Ciência Rural, [S.L.], v. 52, n. 7, p. 1-7, out. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20210481>. Acesso: 30jun. 2024.

MAMEDE, M. C.; SILVA, A. C. A.; TEBALDI, N. D. *Dickeya zae*, *Pantoea ananatis* e *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum*: Controle com o uso de nanopartículas. Agricultural Sciences – Ciênc. Agrotec. 48, 2024. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202448018423>. Disponível em:< <https://www.scielo.br/j/cagro/a/rz4xDXD5tfHYFxmmkmPkLKw/#>>. Acesso: 18 set. 2024.

MAMEDE, M. C. *et al.* Detection of *Pantoea ananatis* in corn seeds on semi-selective medium Tropical Plant Pathology, Switzerland, v. 43, n.3, p. 254-256, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0203-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40858-017-0203-z>. Acesso: 29 jun. 2024.

MARAMBIO-JONES, C.; HOEK, E.M. A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *J. Nanoparticle Res.* 2010;12:1531–1551.

MARTINS, B. R. Determinação do potencial de transmissão de *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum* por sementes e resíduos de milho / Bruna Ricini Martins Martins. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Londrina, 2021. Disponível em: <https://pos.uel.br/pgagro/wp-content/uploads/2021/09/Diss_Bruna-Ricini-Mestrado-final.pdf>. Acesso: 25 abr. 2024.

MATOS, M. Desenvolvimento de fertilizante nanoestruturado para liberação lenta de nitrogênio. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Orientador: Prof. Dr. Washington Luiz Esteves Magalhães. Curitiba, 23/02/2017. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/47610>>. Acesso: 24 mai. 2024.

MAXWELL, T.J. *et al.* Adjuvante nanopartícula não fitotóxico à base de zinco para melhorar a resistência à chuva e a liberação sustentada de estreptomicina. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 2020; 14 :100355. doi: 10.1016/j.enmm.2020.100355. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2215153220303378?via%3Dihub>>. Acesso: 18 set. 2024.

MOURA, A.P. et al. Guia para identificação de pragas da alface. Embrapa Hortaliças. ISSN 1415-2312. 2020. Brasília, DF. nov 2020. (Documentos 182). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127374>>. Acesso: 11 jul. 2024.

MOTA, R.P. Agressividade, caracterização molecular de isolados de *Pantoea ananatis* e nanopartículas no controle da bactéria na cultura do milho. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24791/1/AgressividadeCaracteriza%C3%A7%C3%A3oMolecular.pdf>>. Acesso: 18 set. 2024.

MCQUILLAN, J.S. *et al.* (2011) Silver nanoparticle enhanced silver ion stress response in *Escherichia coli* K12. *Nanotoxicology* 6:857–866

MELLO, S. C. M.; TAKATSU, A.; LOPES, C. A. Escala diagramática para avaliação da mancha-bacteriana do tomateiro. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.22, p.447-448, 1997.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Normas para produção integrada de folhosas entram em vigor em fevereiro. 2021. Disponível em:
<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/normas-para-producao-integrada-de-folho-sas-entram-em-vigor-em-fevereiro>. Acesso:: 12 abr. 2024.

NARANJO, E.; *et al.* Zinkicide Is a ZnO-Based Nanoformulation with Bactericidal Activity against *Liberibacter crescens* in Batch Cultures and in Microfluidic Chambers Simulating Plant Vascular Systems. *Appl Environ Microbiol.* 2020 Aug 3;86(16):e00788-20. doi: 10.1128/AEM.00788-20. PMID: 32561578; PMCID: PMC7414956. Disponível em:<
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32561578/>>. Acesso:: 18 set. 2024

NEERGAARD, P. 1979. Seed Pathology, Volume 1. page 589-590. The MacMillan Press LTD, London and Basingstoke. 839 pages. Poplawsky, A.R. e W. Chun, 1998. *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* requires a functional *pigB* for epiphytic survival and host infection. *Molecular Plant Microbe Interactions* 11: 466-475.

NICODEMOS, N. S. A. Nanopartículas no tratamento de sementes de trigo. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Engenheiro Agrônomo) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Nilvanira Donizete Tebaldi. Disponível:<
<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33150/1/Nanopart%C3%A9DulasTratamentoSementes.pdf>>. Acesso:: 20 fev. 2024.

NICOLES, O. Étude de facteurs contribuant à la tolérance de cultivars de laitue à la tache bactérienne causée par *Xanthomonas campestris* pv. *vitiens*. Thèse présentée au Département de biologie en vue de l'obtention du grade de docteur ès sciences (Ph.D.), 2019. FACULTÉ DES SCIENCES UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE.

OCSOY, I. *et al.* Nanotechnology in plant disease management: DNA-directed silver nanoparticles on graphene oxide as an antibacterial against *Xanthomonas perforans*. *ACS Nano*. 2013 Oct 22;7(10):8972-80. doi: 10.1021/nn4034794. Epub 2013 Sep 17. PMID: 24016217; PMCID: PMC3830795.

OLIVEIRA, E.S. Nanopartículas de óxido de zinco: produção, propriedades e aplicações. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2019. 200 f. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/9999/tese_zno.pdf?sequence=1. Acesso:: 12 dez. 2023.

OLIVEIRA, E.S.; SILVA, P. R. A.; e ROCHA, R. R. P. Evaluation of bacteriostatic activity of different metal oxide nanoparticles against *Xanthomonas campestris*. *Materials Science and Engineering C*, 130, 112368, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112368>. Acesso:: 12 dez. 2023.

PAN K.; ZHONG Q. Organic Nanoparticles in Foods: Fabrication, Characterization, and Utilization. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2016;7:245-66. doi: 10.1146/annurev-food-041715-033215. Epub 2016 Jan 6. PMID: 26735797. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26735797/>>. Acesso: 11 set. 2024.

PEREIRA, T. C. *et al.* Nanomaterials in agriculture: Applications and toxicological aspects. *Advances in Agronomy*, Brasília, v. 164, n. 4, p. 1-39, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.09.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211320300457>. Acesso: 11 jun. 2024.

PEREIRA, A. J. *et al.* Desempenho agrônômico de crotalária juncea em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano. *Seropédica*: Embrapa, 2005. 45

PEREIRA, A. R. Aspectos Fisiológicos da Produtividade Vegetal. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. Campinas, v. 1, n.2, p.0139-142, 1989.

PEREIRA, I. S.; PEREIRA, M. T. *Olericultura*. / NT Editora. Brasília: 2016. 158p.: il.; 21,0 X 29,7 cm.

PERNEZNY, K.; MOMOL, T. 2005. Florida plant disease management guide: Pepper. University of Florida – Ifas Extension, p.1-4.

PINTO, L. S.; Pangenoma De *Xanthomonas campestris*: Estudo Dos Patovares. Universidade Federal de Pelotas / Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Projeto de Pesquisa, 2022. Disponível: <<https://institucional.ufpel.edu.br/projetos/id/p10237>>. Acesso: 13 jul. 2024

POKHREL, L. R.; DUBEY, B. Evaluation of developmental responses of two crop plants exposed to silver and zinc oxide nanoparticles. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, 452–453, p. 321–332, 2013.

POTNIS, N. *et al.* Bacterial spot of tomato and pepper: diverse *Xanthomonas* species with a wide variety of virulence factors posing a worldwide challenge. *Molecular Plant Pathology* 16:907–920, 2015. Disponível:<
https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=p_oDfokAAAAJ&citation_for_view=p_oDfokAAAAJ:4OULZ7Gr8RgC>. Acesso: 18 set. 2024.

QIU, L. *et al.* A review of recent advances in thermophysical properties at the nanoscale: from solid state to colloids. *Phys Rep.* 2020;843:1–81. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370157319304016>>. Acesso 11 set. 2024

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso: 07 jun. 2024.

RAISON, C. Gold nanoparticle-based diagnostic test for rapid diagnosis of leading infectious diseases. *Expert Rev Mol Diagn.* 2013 Apr;13(3):230. PMID: 23687694. Disponível em:<
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23687694/>>. Acesso: 09 set. 2024.

RISOM, L.; MØLLER P.; LOFT S. Oxidative stress-induced DNA damage by particulate air pollution. *Mutat Res.* 2005 Dec 30;592(1-2):119-37. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2005.06.012.

Epub 2005 Aug 8. PMID: 16085126. Disponível em:<
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16085126/>>. Acesso: 09 set. 2024.

ROBINSON, P. E., JONES, J. B.; PERNEZNY, K. 2006. Bacterial leaf spot of lettuce: Relationship of temperature to infection and potential host range of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. Plant Dis. 90:465-470. Disponível em:<
<https://apsjournals.apsnet.org/doi/epdf/10.1094/PD-90-0465>>. Acesso: 13 jul. 2024.

RODUNER, E. Size matters: why nanomaterials are different. Chem Soc Rev. 2006 Jul;35(7):583-92. doi: 10.1039/b502142c. Epub 2006 May 4. PMID: 16791330. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16791330/>>. Acesso: 11 set. 2024.

SAHIN, F. *et al.* Diversity among strains of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* from lettuce. Fitopatologia 93:64-70. Disponível em:<<https://apsjournals.apsnet.org/doi/epdf/10.1094/PHYTO.2003.93.1.64>>. Acesso: 13 jul. 2024.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. Horticultura Brasileira 30: 187-194. Disponível em:<
<https://www.scielo.br/j/hb/a/CBjR93vn5NKt4Z9BLMWWYDJ/?format=pdfelang=pt>>. Acesso: 11 jul. 2024.

SALLES, M.R.M. *et al.* Sementes: importante fonte de inóculo de *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* para culturas comerciais de pimentão no Brasil. Fitopatologia Brasileira, v.16, n.1, p.41, 1991. /Apresentado ao 24. Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Belo Horizonte, 1991 – Resumo/

SANTOS, E. *et al.* Potential of nanomaterials for agricultural applications. Nanotechnology Reviews, 11(1), 785-799, 2022. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2022-0045>.

SANTI, A. *et al.* Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. Horticultura Brasileira, v. 28, n. 1, p. 87-90, 2010.

SANTOS, M. G. *et al.* Evaluation of the impact of ZnO nanoparticles on the antioxidant system of *Lactuca sativa* L. and their role in the inhibition of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-15914-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-15914-1>. Acesso: 12 jun. 2024.

SANTOS, L.C.M.; SILVA, A.C.A; TEBALDI, N.D. Nanocrystals spraying interval for the control of tomato bacterial spot caused by *Xanthomonas hortorum* pv. *gardneri*. *Plant health, Rev. Ceres* 71 2024. <https://doi.org/10.1590/0034-737X2024710018>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/KZcdWjSPjDzLcKx387YH3Mk/?lang=en#>>. Acesso: 18 set. 2024.

SANTOYO, L. M. *et al.* Antibacterial activity of electrolyzed water on *Pseudomonas syringae* and *Clavibacter michiganensis* and its effect on seed germination. *Cienc. Rural*, v. 54, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220416>. Disponível em: < SciELO - Brasil - Antibacterial activity of electrolyzed water on <i>Pseudomonas syringae</i> and <i>Clavibactermichiganensis</i> and its effect on seed germination Antibacterial activity of electrolyzed water on <i>Pseudomonas syringae</i> and <i>Clavibactermichiganensis</i> and its effect on seed germination>. Acesso:: 12 dez. 2023.

SAVAGE, T.; RAO A.M. Thermal properties of nanomaterials and nanocomposites. In: *Thermal conductivity*. Springer; 2004. p. 261–84. Disponível em :< https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-26017-X_12>. Acesso 11 set. 2024.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. 2016. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae>>. Acesso: 12 jun. 2024.

SEGATTO, C.; TERNUS, R.; JUNGES, M.; MELLO, J.M.M.; LUZ, J.L.; RIELLA, R.G.; SILVA, L.L.; LAJÚS, C.R., FIORI M.A. (2018) Adsorption and incorporation of the zinc oxide nanoparticles in seeds of corn: germination performance and antimicrobial protection. *J IJAERS*. 5: 2456-6495.

SEKHON, B.S. Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnol Sci Appl*. 2014 May 20;7:31-53. doi: 10.2147/NSA.S39406. PMID: 24966671; PMCID:

PMC4038422. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24966671/> >. Acesso: 09 set 2024.

SIDDIQUI, M.H.; AL-WHAIBI, H. (2014) Role of nano-SiO₂ in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* seeds Mill.). Saudi J Biol Sci. 21 (1): 13-17.

SHANER, G.; R. FINNEY. 1975. Inheritance of slow mildewing resistance in wheat. Proc. Am. Phytopathol.Soc. 2:49 (Abstr.). Disponível em:<https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1977Articles/Phyto67n08_1051.PDF>. Acesso:: 02 jul. 2024.

SHARON, M. History of nanotechnology: from prehistoric to modern times. New Jersey: Wiley; 2019. Disponível em:< <https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=eid=fEyMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP2&ots=xQiqLQIFL7&sig=O9qvUvVPnzRsJtQPAIkLPevlZ0#v=onepage&qef=false>>. Acesso: 11 set. 2019.

SHIMA, P.D.; PHILIP J.; RAJ B. Role of microconvection induced by Brownian motion of nanoparticles in the enhanced thermal conductivity of stable nanofluids. Appl Phys Lett. 2009;94(22): 223101. Disponível em:< <https://pubs.aip.org/aip/apl/article-abstract/94/22/223101/337134/Role-of-microconvection-induced-by-Brownian-motion> >. Acesso: 11 set. 2024.

SILVA, V. L. C. *et al.* Nanopartículas de óxido de cobre podem controlar a ferrugem do cafeeiro? In: Congresso de Iniciação Científica da UFLA, 35., 2022, Lavras. Anais do XXXV Congresso de Iniciação Científica da UFLA. Lavras: UFLA, novembro de 2022. Disponível em:<<https://conferencia.ufla.br/ciufilasig/generateResumoPDF.php?id=1874>>. Acesso: 12 dez. 2023.

SILVA, V. N.; KOTTWITZ, D. Cultivo de alface crespa com diferentes fontes de nitrogênio. Revista Ciência Agrícola, v. 22, n. 1, abr. 2024. DOI: 10.28998/rca.22.15815. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/379889873_CULTIVO_DE_ALFACE_CRESPA_COM_DIFERENTES_FONTES_DE_NITROGENIO>. Acesso: 11 jun. 2024.

SILVA, W. et al. Comparative study of the effect of different types of nanoparticles on seed germination and growth. *Nanomaterials*, v. 13, n. 4, p. 238-250, 2023. DOI:

<https://doi.org/10.3390/nano13040238>. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2079-4991/13/4/238>. Acesso: 12 jun. 2024.

SOUZA, E.P.; SILVA, I.F.; FERREIRA, L. E. Mecanismos de tolerância a estresses por metais pesados em plantas. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.17, n.2-4, p.167-173, 2011.

STALL, R.E.; JONES, J.B.; MINSAVAGE, G.V. Durability of resistance in tomato and pepper to *Xanthomonads* causing bacterial spot. *Annu Rev Phytopathol.* 2009;47:265-84. doi:

10.1146/annurev-phyto-080508-081752. PMID: 19400644. Disponível:<

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19400644/>>. Acesso: 16 ago. 2024.

STOCKWELL V.O., DUFFY B. Use of antibiotics in plant agriculture. *Rev Sci Tech.*

2012;31:199–210. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22849276/> >. Acesso:

03 set. 2024.

SUNDIN, G.W.; WANG. N. Antibiotic resistance in plant-pathogenic bacteria. *Annu Rev*

Phytopathol. 2018;56:161–80. Disponível em:< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29856934/>

>. Acesso: 03 set 2024.

SUINAGA, F. A. *et al.* Desempenho produtivo de cultivares de alface crespa / Fábio

Akiyoshi Suinaga. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 15 p. – (Boletim de Pesquisa e

Desenvolvimento / Embrapa Hortaliças ; 89). ISSN 1677-2229. Disponível em:<

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81571/1/bpd-89.pdf>>. Acesso: 11 jul. 2024.

SUINAGA, F. A.; HENZ, G. P. Tipos de Alface Cultivados no Brasil. Embrapa Hortaliças.

ISSN 1414-9850. Brasília, DF. 7 p., nov. 2009. (Comunicado Técnico 75). Disponível em:<

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/783588/1/cot75.pdf>>. Acesso: 11 jul. 2024.

SUTTIPONPARNIT, K. *et al.* Role of surface area, primary particle size, and crystal phase on titanium dioxide nanoparticle dispersion properties. *Nanoscale Res Lett.* 2011;6(1):1–8.

Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s11671-010-9772-1>>. Acesso: 11 set. 2024.

TEBALDI, N. D. et al. Ocorrência de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* em alface, em Minas Gerais. In: Instituto de Ciências Agrárias, 2004. Disponível em

:<<https://www.scielo.br/j/sp/a/Rdf4Ts8mLHzrSWLYspM5zKF/?format=pdfelang=pt>>.

Acesso:: 11 jun. 2024.

TEBALDI, N.D.; MARTINS, O.M.; MOTA, L.C.B. M. Ocorrência de *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* em alface, em Minas Gerais. *Summa Phytopathologica*, Botucatu, v.41, n.4, p.321, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2004>. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/aib/a/XnsXx4DfT6XRYn9yqCCxfLR/>>. Acesso:: 11 jun. 2024.

TÖFOLI, J. G.; DOMINGUES, R. J. Manejo e métodos de controle de doenças fúngicas na cultura da alface. Instituto Biológico, November 2015. DOI: 10.13140/RG.2.2.27154.25280.

Disponível

em:<https://www.researchgate.net/publication/313251276_Manejo_e_metodos_de_controle_de_doencas_fungicas_na_cultura_da_alface>. Acesso:: 11 jun. 2024.

TOUSSAINT, V.; BENOIT, D. L.; CARISSE, O. Potential of weed species to serve as a reservoir for *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, the causal agent of bacterial leaf spot of lettuce. *Crop Protection*, Amsterdam, v. 41, p. 64-70, 2012. Disponível em:<

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219412001603?via%3Dihub>>.

Acesso: 18 set. 2024.

VALLAD, G. E. *et al.* Comparison of Kasugamycin to Traditional Bactericides for the Management of Bacterial Spot on Tomato. *HortScience horts*, 45(12), 1834-1840;

doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1834. Disponível em:<

<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/45/12/article-p1834.xml> >. Acesso: 03 set. 2024.

VAUTERIN, L. *et al.* "Reclassification of *Xanthomonas*." *Int. J. Syst. Bacteriol.* (1995) 45(3):472-489. Disponível em:<

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=83224> >. Acesso: 13 jul. 2024.

VERMA, A.; STELLACCI, F. Effect of surface properties on nanoparticle-cell interactions.

Small. 2010 Jan;6(1):12-21. doi: 10.1002/sml.200901158. PMID: 19844908. Disponível em:

< <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19844908/> >. Acesso: 09 set. 2024.

VILLAMIZAR-GALLARDO, R.; OSMA CRUZ, J. F.; ORTÍZ-RODRIGUEZ, O. O.

Fungicidal effect of silver nanoparticles on toxigenic fungi in cocoa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 12, p. 1929-1936, 2016. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200003>>. Acesso: 11 jun. 2024.

VOCHITA, G. *et al.* Graphene oxide effects in early ontogenetic stages of *Triticum aestivum*

L. seedlings. *Ecotox Environ Safe.* 181: 345-352, 2019.

WANG, L. *et al.* Antibacterial and antifungal activities of ZnO and CuO nanoparticles in soil.

Journal of Nanomaterials, v. 2020, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/1123681>.

Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jnm/2020/1123681/>. Acesso: 12 jun.2024.

WANG, P. *et al.* Fate of ZnO nanoparticles in soils and cowpea (*Vigna unguiculata*).

Environmental Science e Technology, Washington, v. 47, n. 23, p. 13822–13830, 2013.

Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1021/es403466p>>

WANG, J. *et al.* Influence of SiO₂, Al₂O₃ and TiO₂ nanoparticles on okra seed germination

under PEG-6000 simulated water deficit stress. *Journal Of Seed Science*, [S.L.], v. 45, p. 1-

14, ago. 2023. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v45274866>.

WIERZBICKI, R. Identificação de raças de *Xanthomonas* spp. patogênicas a pimentão no

estado de São Paulo. 2004. (Dissertação em Agronomia, Área de Concentração:

Fitopatologia). Escola Superior Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo 72p. Disponível

em:<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11135/tde-28042005-135025/publico/robert.pdf>>. Acesso: 02 jun 2024.

YANG, H. *et al.* Impact of ZnO and CuO nanoparticles on soil microbial community and plant growth. *Journal of Hazardous Materials*, [S.L.], v. 402, n. 1, p. 1-9, 15 dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123123>.

YAZID, S. N. *et al.* Ab. Introgression of bacterial leaf blight (BLB) resistant gene, Xa7 into MARDI elite variety, MR219 by marker assisted backcrossing (MABC) approach. *Brazilian Journal Of Biology*, [S.L.], v. 84, p. 1-10, 2024. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.248359>.

ZANCAN, N.L.B. (2018) Terapia fotodinâmica e nanopartículas no controle de *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in vitro e em sementes de canola naturalmente contaminadas. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia.

ZEBARJADI, M. *et al.* Effect of nanoparticle scattering on thermoelectric power factor. *Appl Phys Lett*. 2009;94(20): 202105. Dissertação:< <https://pubs.aip.org/aip/apl/article-abstract/94/20/202105/118704/Effect-of-nanoparticle-scattering-on?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso 11 set. 2024.

ZHANG, F. *et al.* An Innovative Approach to Alleviate Zinc Oxide Nanoparticle Stress on Wheat through Nanobubble Irrigation. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 25, n. 3, p. 1896, fev. 2024. DOI: 10.3390/ijms25031896. Disponível:<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38339174/>>. Acesso: 11 jun. 2024.

ZOINA, A.; VOLPE, E. Epidemiological aspects of lettuce bacterial spot induced by *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. *Plant Pathogenic Bacteria*, Versailles (France), June 9-12, 1992. Ed. IN RA, Paris 1994 (Les Colloques, nOGG). Disponível em:<<https://core.ac.uk/download/pdf/39856352.pdf#page=797>>. Acesso: 13 jun. 2024

