

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUDYELLEN CRISTINA MEDEIROS SANTOS

INTERVALO DE PULVERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS NO CONTROLE
DA MANCHA BACTERIANA (*Xanthomonas* spp.) DO TOMATEIRO

UBERLÂNDIA - MG

OUTUBRO - 2020

LUDYELLEN CRISTINA MEDEIROS SANTOS

INTERVALO DE PULVERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS NO CONTROLE DA MANCHA
BACTERIANA (*Xanthomonas* spp.) DO TOMATEIRO

Trabalho de conclusão de curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências à
obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Nilvanira Donizete Tebaldi

UBERLÂNDIA - MG

OUTUBRO - 2020

LUDYELLEN CRISTINA MEDEIROS SANTOS

INTERVALO DE APLICAÇÃO DE NANOCRISTAIS NO CONTROLE DA MANCHA
BACTERIANA (*Xanthomonas* spp.) DO TOMATEIRO

Trabalho de conclusão de curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências à
obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Aprovado pela Banca Examinadora em 09 de outubro de 2020.

Prof.^a Dr.^a Nilvanira Donizete Tebaldi

Orientadora

Fabiana Silva Fraga

Membro da banca

Gislaine Nascimento Vieira de Sá

Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me iluminar e abençoar a minha caminhada até aqui e por me ajudar na realização de um dos meus maiores sonhos: me formar na Universidade Federal de Uberlândia.

À minha família, por todo o amor, carinho, paciência, incentivo e compreensão pela minha ausência em muitos momentos. Em especial, à minha mãe, Sandra e à minha avó, Maria, que são os meus maiores exemplos de vida e minhas maiores incentivadoras. Devo tudo a vocês, obrigada por todo o amor, conselhos e puxões de orelha, sempre me mantendo no caminho do bem.

Aos meus amigos por todo o apoio, em especial a minha amiga Millena, que participou desse trabalho me acompanhando na casa de vegetação aos sábados, domingos e feriados. Obrigada pela paciência e companheirismo de sempre.

Ao PET Agronomia por todo o aprendizado. À professora e tutora do PET Agronomia, Larissa Barbosa de Sousa, por sempre me incentivar a dar o meu melhor e por me auxiliar, juntamente com o Daniel Bonifácio na estatística do trabalho, sou muito grata a vocês.

À minha orientadora Nilvanira Donizete Tebaldi, por todos os ensinamentos, paciência e disponibilidade. À técnica do Laboratório de Bacteriologia Vegetal, Lara Caroline Borges Moreira Mota pelo auxílio na execução do trabalho.

Aos membros da banca, Fabiana e Gislaíne, por terem aceitado o convite e pelas correções feitas.

RESUMO

A mancha bacteriana do tomateiro causada por *Xanthomonas* spp. pode provocar perdas significativas na produção da cultura e os nanocristais surgem como uma nova modalidade para a proteção de plantas. Assim, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o intervalo de pulverização de nanocristais no controle de *Xanthomonas* spp. no tomateiro. Plantas de tomate cv. Santa Cruz Kada, com 3 a 4 trifólios foram pulverizadas inicialmente com nanocristais (ZnO:1Mg, ZnOCl e ZnOCl:0,1Cu), hidróxido de cobre e água. Três dias após, as plantas foram inoculadas por aspersão com a suspensão bacteriana (10^9 UFC/mL), e a cada intervalo de 3, 6, 9 ou 12 dias, as plantas foram novamente pulverizadas com os produtos. A severidade da mancha bacteriana foi avaliada, calculando-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). As plantas apresentaram menor quantidade de doença (AACPD) quando pulverizadas no intervalo de três dias, com o nanocristal ZnO:1Mg. Os nanocristais quando pulverizados em intervalos de três e seis dias reduziram a severidade da mancha bacteriana do tomateiro, sendo adequados para o manejo da doença.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicon* Mill., *Xanthomonas euvesicatoria*, *X. vesicatoria*, *X. gardneri* e *X. perforans*, ZnO:Mg.

ABSTRACT

Bacterial spot in tomato plants, caused by *Xanthomonas* spp., may cause significant losses in crop production, and nanoparticles emerge as a new resource for plant protection. Thus, we aimed to evaluate the performance of nanoparticle spraying intervals to control *Xanthomonas* spp. in tomato plants. Tomato plants of the Santa Cruz Kada cultivar featuring 3 to 4 trefoils were initially sprayed with nanoparticles (ZnO:1Mg, ZnOCl and ZnOCl:0.1Cu), copper hydroxide and water. Three days later, the plants were sprinkled with a bacterial suspension (10^9 CFU/mL). Then, after 3, 6, 9 or 12-day intervals, the plants were sprinkled with the products again. The bacterial spots were analyzed in terms of severity, and the area under the disease progress curve (AUDPC). The plants showed less incidence of disease (AUDPC) when sprayed with ZnO:1Mg nanoparticles at the 3-day interval. When sprayed with nanoparticles at 3 and 6-day intervals, tomato plants showed less severe bacterial spots, which makes these intervals adequate to control the disease.

Keywords: *Solanum lycopersicon* Mill., *Xanthomonas euvesicatoria*, *X. vesicatoria*, *X. gardneri* and *X. perforans*, ZnO:Mg.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
MATERIAL E MÉTODOS	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS	16

INTRODUÇÃO

A mancha bacteriana do tomateiro causada por quatro espécies do gênero *Xanthomonas*: *Xanthomonas euvesicatoria*, *X. vesicatoria*, *X. gardneri* e *X. perforans* (Jones et al. 2004) pode ocasionar perdas significativas na produção, principalmente em condições de elevada umidade e temperatura entre 20 e 30 °C (Kurozawa and Pavan 2005).

O controle da doença é difícil, devido a rápida disseminação da bactéria em condições favoráveis, a transmissão do patógeno através das sementes e poucos produtos químicos registrados (Nascimento et al. 2013), como antibióticos, produtos à base de cobre e misturas cuprocarbamatos, que nem sempre são eficazes, podendo selecionar estirpes resistentes (Itako et al. 2012).

Dessa forma, os nanocristais que são substâncias em escala nanométrica surgem como uma inovação na agricultura, no controle de fitopatógenos (Kim et al. 2009; Kim et al. 2012; Rai 2013), pois apresentam baixa genotoxicidade e elevada eficácia biocida, em função do tamanho, da relação superfície/volume e da interação com as membranas dos microrganismos (Morones et al. 2005; Allaker 2010).

A aplicação de nano-formulações de óxido de zinco (ZnO) em citrus reduziu o cancro bacteriano, causado por *Xanthomonas citri* (Graham et al. 2016) e a mancha branca do milho, causada por *Pantoea ananatis* (Mamede 2018; Mota 2019). No tomateiro, o uso de nanopartículas de MgO aumentou a resistência sistêmica de plantas à *Ralstonia solanacearum* (Imada et al. 2016), o uso de nanocomposto Ag-dsDNA-GO (Ocsoy et al. 2013; Strayer et al. 2016), de nanocristais de TiO₂ dopados com Zn (Paret et al. 2013) e de ZnO:0.5Mo (Fraga 2020) reduziu a incidência e a severidade da mancha bacteriana, causada por *Xanthomonas* spp.

O controle de doenças de plantas pode ser assegurado pelo intervalo de pulverização dos produtos, para não haver danos econômicos à cultura. Dessa forma, o objetivo do presente

trabalho foi avaliar o intervalo de pulverização de nanocristais no controle de *Xanthomonas* spp. do tomateiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Bacteriologia Vegetal (LABAC) e em casa de vegetação, do Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), MG, no ano de 2019.

O isolado UFU A35 de *Xanthomonas* spp. pertencente à coleção de trabalho do LABAC foi cultivado em meio de cultura 523 (Kado and Heskett 1970), a 28 °C, por 48 h. A suspensão bacteriana foi preparada em água filtrada esterilizada e ajustada em espectrofotômetro para $OD_{550} = 0,5$ (10^9 UFC/mL) (Marcuzzo et al. 2009).

Em casa de vegetação, plantas de tomate cv. Santa Cruz Kada foram cultivadas em vasos com capacidade de 500 mL, contendo substrato de solo, areia, húmus e vermiculita (4:1:1:1). Após 31 dias da semeadura, as plantas (três a quatro trifólios) foram pulverizadas até o ponto de escorrimento com os nanocristais de ZnO:1Mg, ZnOCl e ZnOCl:0,1Cu na concentração de 2,5 mg/mL, hidróxido de cobre (2 g/L) e água (testemunha). Três dias após, as plantas foram inoculadas por aspersão com a suspensão bacteriana (10^9 UFC/mL), e a cada intervalo de 3, 6, 9 ou 12 dias as plantas foram pulverizadas com os produtos. As plantas foram mantidas em câmara úmida 24 horas antes e após a inoculação. Os nanocristais foram sintetizados no Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores, do Instituto de Física da UFU, de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (2018).

Durante a condução do ensaio foram realizadas 9, 5, 3 e 3 pulverizações, para os intervalos de 3, 6, 9 e 12 dias, respectivamente. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 5x4, composto de cinco produtos, 4 intervalos de pulverizações (3, 6, 9 e 12 dias), com

4 blocos, sendo considerado como unidade experimental, um vaso contendo duas plantas. A severidade da doença foi avaliada, aos 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 27 dias após a inoculação empregando-se uma escala diagramática descrita por Mello et al. (1997).

A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) foi calculada pela fórmula: $AACPD = \sum((Y_i + Y_{i+1})/2)(t_{i+1} - t_i)$, onde: Y representa a intensidade da doença; t o tempo e i representa o número de avaliações no tempo (Campbell and Madden 1990). Para ponderar a severidade foi aplicado o índice de McKinney (1923), calculado pela seguinte fórmula: $ID (\%) = \sum ((f.v)/(n.x)) . 100$, em que: ID = Índice de doença; f = Número de plantas com determinada nota; v = Nota observada; n = Número total de plantas avaliadas; x = Grau máximo de infecção. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5 % de significância no programa SISVAR (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da mancha bacteriana do tomateiro e para o índice de doença (ID) foram semelhantes (Tabela 1 e 2). Nos intervalos de 3 e 6 dias de pulverização, os nanocristais e o hidróxido de cobre diferiram significativamente da água (testemunha) no controle da mancha bacteriana do tomateiro, apresentando menor AACPD. A pulverização do nanocristal de ZnO:1Mg em intervalos de 3 dias teve desempenho semelhante ao hidróxido de cobre, não havendo diferença estatística entre eles (Tabela 1 e 2), apresentando menor severidade de doença.

Tabela 1. Área abaixo da curva de progresso da mancha bacteriana do tomateiro (AACPD), em intervalos de 3, 6, 9 e 12 dias de pulverização, com diferentes nanocristais. Uberlândia, MG, 2019.

Produtos	AACPD			
	3	6	9	12
ZnO:1Mg	17,62 aA	30,00 aB	41,62 aC	41,62 aC
ZnOCl	34,87 bA	39,37 aA	44,62 aB	51,75 aB
ZnOCl:0,1Cu	31,87 bA	37,12 aA	38,62 aA	46,87 aA
Hidróxido de cobre	25,12 aA	33,75 aA	44,25 aB	45,37 aB
Água (testemunha)	52,50 cA	48,37 bA	52,87 aA	54,75 aA
CV (%)	19,4			

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

Tabela 2. Índice de doença da mancha bacteriana do tomateiro, em intervalos de 3, 6, 9 e 12 dias de pulverização, com diferentes nanocristais. Uberlândia, MG, 2019.

Produtos	Índice de doença			
	3	6	9	12
ZnO:1Mg	0,35aA	0,57aA	0,77aB	0,79aB
ZnOCl	0,66bA	0,75aA	0,84aB	0,97aB
ZnOCl:0,1Cu	0,61bA	0,7aA	0,72aA	0,89aA
Hidróxido de cobre	0,49aA	0,64aA	0,84aB	0,85aB
Água (testemunha)	1cA	0,92bA	1aA	1aA
CV (%)	18,13			

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

No intervalo de pulverização de 6 dias não houve diferença estatística entre os nanocristais de ZnO:1Mg, ZnOCl e ZnOCl:0,1Cu e o hidróxido de cobre, os quais diferiram significativamente da testemunha. Já nos intervalos de pulverização de 9 e 12 dias não houve diferença significava entre os produtos e a testemunha para AACPD.

No intervalo de pulverização de 3 dias, com o nanocristal ZnO:1Mg (Figura 1) houve uma redução significativa na AACPD da mancha bacteriana do tomateiro, em relação ao hidróxido de cobre, ZnOCl e ZnOCl:Cu, com resultados semelhantes para os demais intervalos.

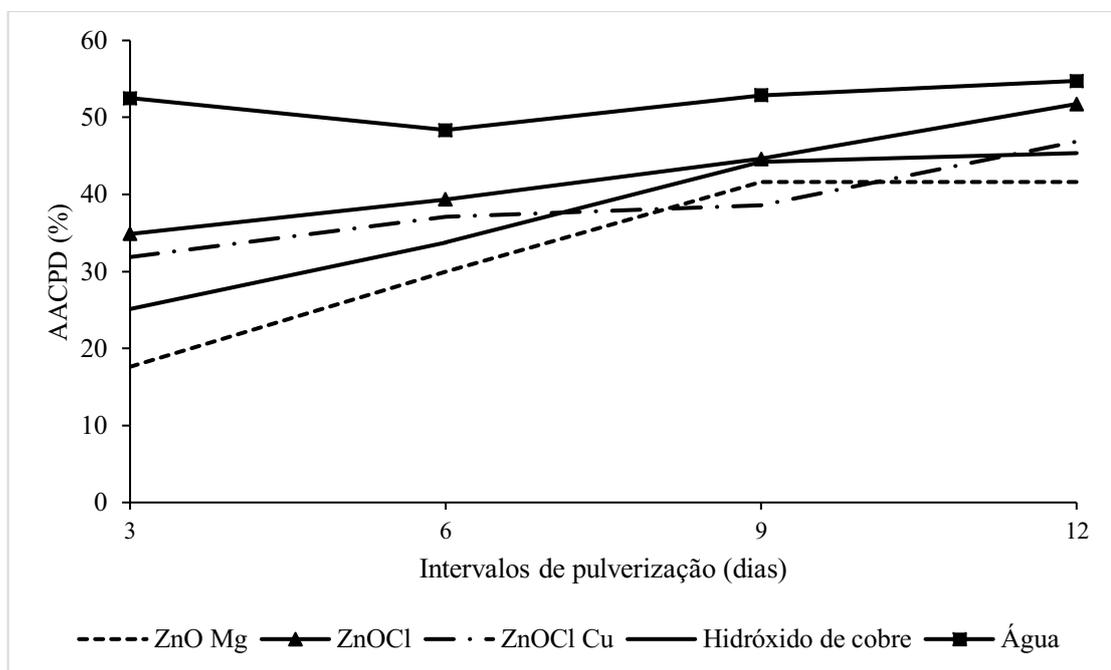


Figura 1. Área abaixo da curva de progresso da mancha bacteriana do tomateiro, em função dos diferentes intervalos (3, 6, 9 e 12 dias) de pulverização com nanocristais.

Aos 15 dias após a inoculação observa-se um incremento na curva de progresso da mancha bacteriana do tomateiro, principalmente para a testemunha e nos diferentes intervalos de pulverização (Figura 2). Nos intervalos de pulverização de 9 e 12 dias, a severidade da doença é semelhante tanto com o uso dos produtos, quanto para a testemunha, indicando que estes intervalos de pulverização não são adequados para o manejo da doença.

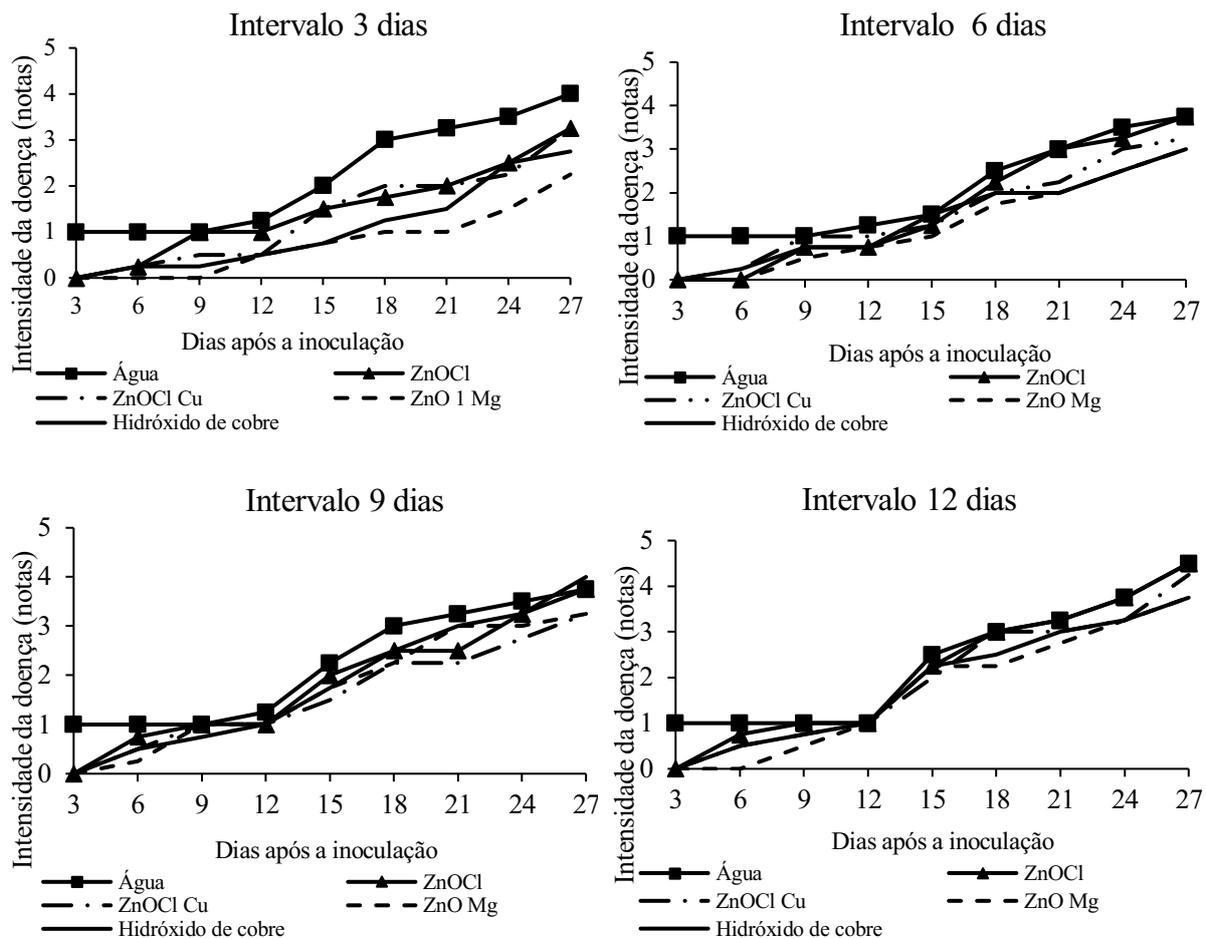


Figura 2. Intensidade da mancha bacteriana do tomateiro, nos intervalos de pulverização de 3, 6, 9 e 12 dias.

Os nanocristais de ZnO podem ser dopados com diferentes elementos, como cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdênio (Mo), nióbio (Nb), vanádio (V), rutênio (Ru), prata (Ag), platina (Pt) e ouro (Au) (Zaleska, 2008), melhorando o seu efeito bactericida. A dopagem é um processo que permite que sejam adicionados novos elementos na estrutura do nanocristal, sendo também uma forma de ajustar as propriedades dos óxidos funcionais, alterando sua estrutura física e eletrônica e modificando suas características químicas (Callister Júnior 2002).

A ação bactericida dos nanocristais de ZnO (Sawai et al. 1996) pode ser influenciada pela sua forma, concentração e tamanho, que quanto menor for, maior será sua penetração nas células bacterianas, causando danos celulares (Yamamoto 2001; Yang et al. 2009).

Os nanocristais ao entrarem em contato com os microrganismos, integram com as membranas celulares, levando a alterações no sistema respiratório da célula, na permeabilidade, no DNA, ocorrendo a morte celular programada (Sperling et al. 2008; Zhang et al. 2013).

O mecanismo de ação dos nanocristais aos microrganismos pode estar relacionado com a perda da capacidade de replicação do DNA da bactéria e a inativação das proteínas celulares (Arab et al. 2017). Além do aumento de espécies reativas de oxigênio no interior celular, ocasionando o rompimento da membrana plasmática e conseqüentemente a morte da bactéria (Wang et al. 2014).

Os nanocristais de ZnO dopados com Cu, Mn, Ni, Au e Ag apresentaram efeito bactericida à *Pantoea ananatis in vitro* (Mamede 2018), e o nanocristal de ZnO dopado com Cu e Mn reduziram a severidade da mancha branca do milho (Mota 2019). Fraga (2020) observou que os nanocristais de ZnO puros e dopados (Ag, Au, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo e Ni) inibiram o crescimento de *Xanthomonas spp. in vitro*, o uso do nanocristal de ZnO:1K reduziu a presença da bactéria nas sementes inoculadas de tomate e o uso de ZnO:0,5Mo foi eficiente no controle preventivo da mancha bacteriana do tomateiro.

O desempenho do nanocristal de ZnO:1Mg semelhante ao hidróxido de cobre, no intervalo de pulverização de 3 dias, indica sua possibilidade de uso, no controle de *Xanthomonas spp.* na cultura do tomate, uma vez que já foi relatado estirpes de *Xanthomonas* resistentes à fungicidas cúpricos e antibióticos (Pereira 2011). No intervalo de pulverização de três dias com nanocristal de ZnO:1Mg, até os 21 dias após a inoculação, a quantidade de doença foi reduzida, conseqüentemente isto pode levar a um retardo na ocorrência de epidemias no

campo, principalmente se as condições ambientais forem favoráveis, devido a menor quantidade de inóculo presente. Além disso, os nanocristais de ZnOCl e ZnOCl 0,1Cu também reduziram a severidade da mancha bacteriana do tomateiro (Figura 1), quando pulverizadas em intervalos de três e seis dias.

Os nanocristais apresentam grande potencial para serem utilizados no controle de doenças de plantas. Entretanto, é necessário conhecer os melhores elementos químicos a serem dopados com ZnO, a dose e os intervalos de pulverização, para que se tenha melhor eficiência no manejo de fitobactérias (Mota 2019). O controle das doenças bacterianas é difícil em campo, e medidas preventivas devem ser adotadas (Lopes 2009).

CONCLUSÃO

Conclui-se que o intervalo de pulverização de três dias, com o nanocristal ZnO:1Mg reduziu a severidade da mancha bacteriana do tomateiro e os nanocristais quando pulverizados em intervalos de três e seis dias podem ser recomendados para o manejo da doença, reduzindo o uso de defensivos agrícolas e conseqüentemente o impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

Allaker RP (2010) The use of nanoparticles to control oral biofilm formation. *Journal of Dental Research* 89:1175–1186 DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034510377794>

Arab FE, Paris EC, Souza CWO, Ferreira MD (2017) Avaliação do efeito antimicrobiano de nanopartículas de óxidos metálicos. *Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio Embrapa* 205-208.

Callister Júnior WD (2002) *Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução*. 5th Ed. Rio de Janeiro, Brasil. LTC.

Campbell CL, Madden LV (1990) *Introduction to plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons.

Ferreira DF (2019) SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria* 37:529-535 DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

Fraga FS (2020) Controle de *Xanthomonas* spp. com nanocristais de ZnO puros e dopados no tomateiro. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

Graham JH, Johnson EG, Myers ME, Young M, Rajasekaran P, Das S, Santra S (2016)

Potential of nano-formulated zinc oxide for control of citrus canker on grapefruit trees. *Plant Disease*. 100:2442–2447 DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-16-0598-RE>.

Imada K, Sakai S, Kajihara H, Tanaka S, Ito S (2016) Magnesium oxide nanoparticles induce systemic resistance in tomato against bacterial wilt disease. *Plant Pathol.* 65:551–560 DOI:

<https://doi.org/10.1111/ppa.12443>

Itako AT, Júnior JBT, Júnior TAFS, Soman JM, Maringoni AC (2012) Efeito de produtos químicos sobre a mancha bacteriana (*Xanthomonas perforans*) e na ativação de proteínas

relacionadas à patogênese em tomateiro. *Idesia* 30:85-92 DOI:
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292012000200011>

Jones JB, Lacy GH, Bouzar H, Stall RE, Schaad NW (2004) Reclassification of the Xanthomonads Associated with Bacterial Spot Disease of Tomato and Pepper. *Systematic and Applied Microbiology* 27:755-762. DOI: <https://doi.org/10.1078/0723202042369884>

Kado CI, Heskett MG (1970) Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. *Phytopathology* 60: 969-976. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-60-969>

Kim SW, Kim KS, Lamsal K, Kim YJ, Kim SB, Jung M, Sim SJ, Kim HS, Chang SJ, Kim JK, Lee YS (2009) An in vitro study of the antifungal effect of silver nanoparticles on oak wilt pathogen *Raffaelea* sp. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 19:760-764 DOI: <https://doi.org/10.4014/JMB.0812.649>

Kim SW, Jung JH, Lamsal K, Kim YS, Min JS, Lee YS (2012) Antifungal effects of silver nanoparticles (AgNPs) against various plant pathogenic fungi. *Mycobiology* 40:53-58 DOI: <https://doi.org/10.5941/myco.2012.40.1.053>

Kurozawa C, Pavan MA (2005) Doenças do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). In: Kimati H, Amorim L, Rezende JAM, Bergamim Filho A, Camargo LEA Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas, 4. ed. São Paulo, SP. Ed. Agronômica Ceres, v. 2, pp. 607-626.

Lopes CA (2009) Murcha bacteriana ou Murchadeira - Uma inimiga do tomateiro em climas quentes. 67 Comunicado técnico Embrapa Hortaliças.

Mamede MC (2018) Detecção de *Pantoea ananatis* em sementes de milho e nanopartículas no controle da bactéria *in vitro*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

Marcuzzo LL, Becker WF, Fernandes JMC (2009) Alguns aspectos epidemiológicos da mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) do tomateiro na região de Caçador/SC. *Summa Phytopathologica*, 35:132-135. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052009000200009>

McKinney HH (1923) Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. *Journal of Agricultural Research* 26:195-217.

Mello SCM, Takatsu A, Lopes CA (1997) Escala diagramática para avaliação da mancha bacteriana do tomateiro. *Fitopatologia Brasileira* 22:447-448.

Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramirez JT, Yaca-Man MJ (2005) The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology* 16:2346–2353. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0957-4484/16/10/059>

Mota, RP (2019) Agressividade, caracterização molecular de isolados de *Pantoea ananatis* e nanopartículas no controle da bactéria na cultura do milho. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

Nascimento AR, Fernandes PM, Borges LC, Moita AW, Quezado-Duval AM (2013) Controle químico da mancha bacteriana do tomate para processamento industrial em campo. *Horticultura Brasileira* 31:15-24.

Ocsoy I, Paret ML, Ocsoy MA, Kunwar S, Chen T, You M, Tan W (2013). Nanotechnology in plant disease management: DNA-directed silver nanoparticles on graphene oxide as an antibacterial against *Xanthomonas perforans*. *ACS Nano* 7:8972–80. DOI: <https://doi.org/10.1021/nn4034794>

Paret ML, Vallad GE, Averett DR, Jones JB, Olson SM (2013) Photocatalysis: effect of light-activated nanoscale formulations of TiO₂ on *Xanthomonas perforans* and control of bacterial spot of tomato. *Phytopathology*, 103:228-236. DOI: <https://doi.org/10.1094/phyto-08-12-0183-r>

Pereira RC (2011) Ocorrência, identificação e caracterização das espécies de *Xanthomonas*, causadoras de mancha bacteriana em tomate para mesa no Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Brasília.

Rai M (2013) Nanobiotecnologia verde: biossínteses de nanopartículas metálicas e suas aplicações como nanoantimicrobianos. *Ciência e Cultura* 65:44-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000300014>

Sawai J, Kawada E, Kanou F, Igarashi H, Hashimoto A, Kokugan T, Shimizu M (1996) Detection of active oxygen generated from ceramic powders having antibacterial activity. *Journal of Chemical Engineering of Japan* 29:627-633. DOI: <https://doi.org/10.1252/jcej.29.627>

Silva ACA, Zóia MAP, Correia LIV, Azevedo FVPV, Paula AT, Maia LP, Carvalho LS, Carvalho LN, Costa MPC, Giaretta LC, Rodrigues RS, Ávila VM, Goulart LR, Dantas NO (2018) Biocompatibility of doped semiconductors nanocrystals and nanocomposites. In: *Cytotoxicity*, InTech. pp.149-161. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77197>

Sperling RA, Gil PR, Zhang F, Zanella M, Parak WJ (2008) Biological applications of gold nanoparticles. *Chemical Society Reviews* 37:1896-1908. DOI: <https://doi.org/10.1039/B712170A>

Strayer A, Ocoy I, Tan W, Jones JB, Paret ML (2016) Low concentrations of a silver-based nanocomposite to manage bacterial spot of tomato in the greenhouse. *Plant Disease* 100:1460-1465. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0580-RE>

Wang B, Zhang Y, Mao Z, Yu D, Gao C (2014) Toxicity of ZnO nanoparticles to macrophages due to cell uptake and intracellular release of zinc ions. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 14:5688-5696. DOI: <https://doi.org/10.1166/jnn.2014.8876>

Yamamoto O (2001) Influence of particle size on the antibacterial activity of zinc oxide.

Internacional Journal of Inorganic Materials 3:643-646. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1466-6049\(01\)00197-0](https://doi.org/10.1016/S1466-6049(01)00197-0)

Yang H, Liu C, Yang D, Zhang H, Xi Z (2009) Comparative study of cytotoxicity, oxidative stress and genotoxicity induced by four typical nanomaterials: the role of particle size, shape and composition. *Journal of Applied Toxicology* 29:6978. DOI: <https://doi.org/10.1002/jat.1385>

Zaleska A (2008) Doped-TiO₂: A Review. *Recent Patents on Engineering* 2:157-164. DOI: <https://doi.org/10.2174/187221208786306289>

Zhang Y, Nayak TR, Hong H, Cai W (2013) Biomedical applications of zinc oxide nanomaterials. *Current Molecular Medicine* 13:1633-1645. DOI: <https://doi.org/10.2174/1566524013666131111130058>