

**HIDRÓXIDO DE COBRE NO CONTROLE DE ANTRACNOSE,
DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO, ÓLEO ESSENCIAL E
QUALIDADE DE FRUTOS DE ATEMOIA (*Annona x atemoya*
Mabb.)**

CAROLINE PARDINE CARDOSO

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências,
Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do
título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em
Biologia Vegetal, Interunidades entre o Instituto de
Biociências do campus de Botucatu e Instituto de
Biociências do campus de Rio Claro.

BOTUCATU -SP

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"Júlio de Mesquita Filho"

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU

**HIDRÓXIDO DE COBRE NO CONTROLE DE ANTRACNOSE,
DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO, ÓLEO ESSENCIAL E
QUALIDADE DE FRUTOS DE ATEMOIA (*Annona x atemoya*
Mabb.)**

CAROLINE PARDINE CARDOSO

ORIENTADOR: PROF^a DR^a CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO

Dissertação apresentada ao Instituto de Biotecnologia,
Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do
título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em
Biologia Vegetal, Interunidades entre o Instituto de
Biotecnologia do campus de Botucatu e Instituto de
Biotecnologia do campus de Rio Claro.

BOTUCATU -SP

2022

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Cardoso, Caroline Pardine.

Hidróxido de cobre no controle de antracnose,
desempenho fotossintético, óleo essencial e qualidade de
frutos de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) / Caroline
Pardine Cardoso. - Botucatu, 2022

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de
Botucatu

Orientador: Carmen Silvia Fernandes Boaro

Capes: 20300000

1. *Annona*. 2. Fruta-de-conde. 3. Antracnose - Controle.
4. Terpenos. 5. Plantas - Parasito. 6. Fungicidas.

Palavras-chave: Carboidratos; Fungicida cúprico; Terpeno;
Trocias gasosas; Índice de maturação.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – Brasil (CAPES).

Ao sr. Valmor Menzen que gentilmente cedeu parte de seu pomar para realização do presente estudo.

À professora Carmen Silvia Fernandes Boaro pela orientação e grande paciência.

Ao Instituto de Biociências de Botucatu da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

À professora Marcia Ortiz Mayo Marques pelo auxílio, perfeita recepção e orientados engajados e simpáticos.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas pelo intercâmbio e possibilidade de uso do CG.

A todos os companheiros de laboratório, em especial Felipe Giroto Campos, Gustavo Ribeiro Barzotto e Lauro Pontes de Campos que foram fundamentais na elaboração deste trabalho.

A minha família que sempre instigou meus estudos, amo vocês!

Ao meu companheiro Gabriel Maluf Napoleão por todo apoio independente do momento.

À todos que me auxiliaram, apoiaram e tiveram paciência comigo.

Nenhuma palavra seria possível para demonstrar toda a minha gratidão.

Meu coração sorri só de pensar na sorte em encontrá-los ao longo deste caminho!

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	6
REFERÊNCIAS	10
CAPÍTULO 1	15
RESUMO	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	20
2.1 Caracterização da área experimental	20
2.2 Tratamentos e delineamento experimental	23
2.3 Variáveis avaliadas	24
2.4 Análise estatística	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1 Incidência de antracnose	25
3.2 Desempenho fotossintético	26
3.3 Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica em folhas	33
3.4 Compostos fenólicos foliares	33
3.5 Óleo essencial foliar	33
4. CONCLUSÃO	35
5. REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO 2	49
RESUMO	49
ABSTRACT	50
1. INTRODUÇÃO	51
2. MATERIAL E MÉTODOS	54
2.1 Caracterização da área experimental	54
2.2 Tratamentos e delineamento experimental	54
2.3 Variáveis avaliadas	54
2.4 Análise estatística	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1 Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica em frutos	57
3.2 Carboidratos	59
3.3 Compostos fenólicos em frutos	62
3.4 Qualidade dos frutos	62
4. CONCLUSÃO	69

5. REFERÊNCIAS 69

INTRODUÇÃO GERAL

A família Annonaceae foi catalogada em 1789 por Jussieu (HUTCHINSON, 1974) e agrupada na classe Magnoliopsida, subclasse Magnoliidae e ordem Magnoliales, possuindo cerca de 2300 espécies (MAAS, et al., 2001; FRANNA; SUFFREDINI, 2002; GONÇALVES, et al., 2017). Sua grande importância econômica procede da ampla utilização de espécies para ornamentação (SILVA-JÚNIOR, 2012), indústria de perfumaria (JUDD et al., 2002), extração de metabólitos secundários (SILVA et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2011) e consumo de frutos ao natural (TOKUNAGA, 2005) e industrializados (SCALOPPI JUNIOR; MARTINS, 2003). Seu principal gênero botânico é *Annona*, que compreende mais de 110 espécies de árvores e arbustos (CHATROU et al., 2012; SÃO JOSÉ et al., 2014). A origem da palavra *Annona* é do latim, significando “colheita anual” (SÃO JOSÉ et al., 2014).

Considerando a família Annonaceae, os principais produtores no mundo de cherimóia são Austrália, Chile, Espanha, Estados Unidos, Nova Zelândia e Israel, de graviola, México, Brasil, Venezuela e Costa Rica, e de pinha, Tailândia, Filipinas, Brasil, Cuba e Índia (PEREIRA et al. 2011; SÃO JOSÉ et al., 2014). No Brasil, a popularidade de anonáceas está frequentemente ligada a pinha (*A. squamosa* L.), compreendendo área de produção em torno de 5.000 hectares, graviola (*A. muricata* L.), com área acima de 2.000 hectares, e atemoia (*Annona x atemoya* Mabb. ou *Annona squamosa x Annona cherimola*), com aproximadamente 2.000 hectares (PEREIRA et al., 2019). A atemoia, resultado do cruzamento da cherimóia (*A. cherimola* Mill.) e fruta do conde (*A. squamosa* L.), originou-se em 1850 na Austrália a partir de hibridação natural (POPENOE, 1974) e de forma artificial, em 1907 nos Estados Unidos com J. P. Webster (LIM, 2012).

A substituição de pomares brasileiros de pinha por atemoia se deve ao maior retorno econômico com a elevada produtividade e aumento no consumo dos frutos de atemoia (SÃO JOSÉ et al., 2014).

As árvores de atemoia são morfologicamente intermediárias, em tamanho e forma, entre a cherimóia e a fruta do conde, sendo abscisão natural da folha ou poda necessárias para produção comercial (SANTOS et al., 2001). As flores das anonáceas são hermafroditas com dicogamia protogínica (SCHAFFER; ANDERSEN, 1994) e besouros da família Nitidulidae são os principais insetos polinizadores das espécies que apresentam frutos com forma variável entre esferóide e ovóide do tipo pseudocarpo, com superfície aureolada em forma de U ou V (SANTOS et al., 2001). As flores e frutos da atemoia apresentam maiores tamanhos e as plantas

maiores vigos vegetativo e produtivo, quando comparadas aos seus genitores (PEREIRA et al., 2001).

Grande parte das cultivares de atemoia apresenta elevada produtividade em temperaturas amenas (PEREIRA et al., 2019), desenvolvendo-se vegetativamente entre 22 °C e 28°C (máxima) e 10° C e 20 °C (mínima) (TOKUNAGA, 2000). A temperatura ideal para maturação dos frutos situa-se entre 20 °C e 26 °C (TOKUNAGA, 2000).

Assim como para outras frutíferas, a enxertia é uma prática comum em atemoia (TOKUNAGA, 2005). No Brasil, mudas de atemoia são enxertadas e produzidas por viveiristas certificados com elevado vigor mesmo quando são enxertadas sobre a pinha em vez de araticum-de-terra-fria [*Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer 'var. terra-fria'] (PEREIRA et al., 2019). Segundo os autores, essas mudas exigem espaçamento maior, solos com elevado teor de matéria orgânica e pH entre 5,5 e 6,5. Em relação aos porta enxertos, o araticum-de-terra-fria comparado ao araticum-mirim [*Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer 'var. mirim'], revelou maior desempenho. Mudas enxertadas em araticum-mirim comparadas às enxertadas em araticum-de-terra-fria apresentam menor longevidade e nanismo da parte enxertada e desenvolvem hipertrofia do tecido enxertado, popularmente conhecido como "pé de elefante" (TOKUNAGA, 2005).

Atemoias apresentam menor quantidade de sementes do que a fruta do conde (MOSCA; LIMA, 2002), facilmente separáveis da polpa, que apresenta coloração esbranquiçada segundo Santos et al., (2001). O amadurecimento dos frutos ocorre em quatro a seis meses a partir do florescimento, apresentando em média 300 g e coloração variável entre esverdeado e amarelo-pálido quando maduros (MANICA et al., 2003; MOSCA et al., 2006). Por serem climatéricos, os frutos de *Annona* apresentam aumentos na atividade respiratória e concentração de etileno após a colheita (ALVES et al., 1997). Frutos de atemoia cultivar African Pride e Gefner tem ponto ideal de consumo entre cinco e sete dias após a colheita, dependendo da temperatura de armazenamento (MANICA et al., 2003).

O consumo de atemoia é crescente (FIRMINO, 2012), com diferenciação de valor por qualidade e tamanho, na venda do atacado para o varejo e no próprio mercado da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP) (OLIVEIRA et al., 2012). Entre 2007 e 2012 a quantidade de fruto comercializado na CEAGESP aumentou quase duas vezes e meia (SIEM, 2013).

Apesar da safra de 2019 envolver Turvolândia – MG (19,08%) e Jaíba – MG (15,37%) (CEAGESP, 2022), mais de 40% dos pomares de atemoia estão localizados no estado de São Paulo, onde o clima é mais ameno, com destaque para cultivares Thompson, Gefner, Pink's Mammoth e African Pride (PEREIRA et al., 2019). Os municípios de São Paulo maiores produtores de atemoia em 2021 foram Pilar do Sul (19,59%), Paranapanema (14,47%), Taquarivaí (9,20%) e São Miguel Arcanjo (7,80%) (SIEM, 2022).

O Entrepasto Terminal São Paulo (ETSP), maior central de abastecimento da América Latina, conta com mais de 60 atacadistas que comercializam atemoia, com registro de 2.655,01 toneladas do fruto em 2019, 2.865,04 toneladas em 2021 e 1.018,62 toneladas até maio de 2022 (CEAGESP, 2022; SIEM 2022). Em 2021 a espécie representou 49% das anonáceas comercializadas na CEAGESP num total de 5.890,35 toneladas de anonáceas (SIEM, 2022). Até maio de 2022 a fruta já representa 45% do total de 2.262,57 toneladas de anonáceas comercializadas (SIEM, 2022).

Durante todo o estágio de desenvolvimento das anonáceas, fungos podem infectar diversas partes da planta (PEREIRA et al., 2011). A umidade relativa do ar favorece a incidência de doenças e pragas em pomares já que a propagação de insetos e fungos se torna favorável e, portanto, em época de maior precipitação, folhas e frutos apresentam antracnose ou podridão negra dos frutos, patógeno do gênero *Colletotrichum* (PEREIRA et al., 2019). Na atemoia, essa doença afeta o desenvolvimento da planta na brotação, na floração e frutificação, atacando o pedúnculo e causando queda de flores e frutos. Nos frutos ocorrem manchas escuras e rachaduras profundas e quando não caem, ficam escuros e mumificados (PLOETZ, 2003; PEREIRA et al., 2019). Em casos severos ocorre desfolha prematura da planta (PLOETZ, 2003) e conseqüentemente diminuição da fotossíntese, podendo agravar os danos à produtividade do pomar, comprometendo a qualidade dos frutos (FIRMINO et al., 2014; CARDOSO et al., 2021). De acordo com Watanabe et al. (2014), os atributos de qualidade mais importantes na diferenciação de valor da atemoia são a homogeneidade visual de tamanho e ausência de defeito de casca. Até o presente momento não foram identificados parâmetros estabelecidos para serem seguidos na atribuição de qualidade de frutos que interfira no valor de mercado.

A ocorrência de antracnose em pomares de atemoia pode causar perdas estimadas em 70% (MANICA et al., 2003) fazendo com que produtores rurais optem pelo controle químico da doença. Atualmente, de acordo com o Agrolink (2022), existem 11 produtos comerciais (fungicidas) registrados para anonáceas. Entre eles, quatro produtos estão registrados para a doença antracnose com ingredientes ativos como Piraclostrobina, Fluxapiróxade,

Difenoconazol e Hidróxido de Cobre. Embora não exista registro de fungicidas com ingrediente ativo oxiclureto de cobre, Pereira et al. (2019) citam como medida de controle, pulverizações intercaladas com Mancozeb[®], em intervalos semanais no período chuvoso e a cada 20 ou 30 dias, no período seco.

O micronutriente cobre (Cu) é componente em formulações de fungicidas e bactericidas por seu elevado espectro de atividade (LATORRE et al, 2018) desempenhado por sua ação redox (YRUELA, 2009). Cobre na planta atua como cofator de enzimas, conhecidas como metaloenzimas, que estão envolvidas em diversos processos, como transporte de elétrons na fotossíntese e síntese de compostos fenólicos, terpenos e antioxidantes, que contribuem para a proteção ao estresse oxidativo (LARCHER, 2006; YRUELA, 2009).

O estudo do elemento torna-se importante uma vez que, em elevada concentração (15 - 20 $\mu\text{g g}^{-1}$ de matéria seca) (YRUELA, 2005) é tóxico na maioria das espécies vegetais, inibindo o crescimento da raiz e interferindo com o funcionamento adequado das enzimas em que atua (SANTOS, 2015). Elevadas doses de metais pesados, como cobre, podem ocasionar desestruturação da vegetação natural e limitações para o desenvolvimento de novas espécies (SILVA et al., 2014).

Além da essencialidade da fotossíntese na produtividade (LAWSON et al., 2012; ZHU et al., 2012), esse processo é de fundamental importância no metabolismo especializado. Idade da planta, estágio de desenvolvimento, incidência de pragas e/ou doenças e fatores abióticos influenciam tanto o metabolismo primário quanto o especializado (LATORRE et al., 2018). Existe, no entanto, ferramenta para combater fatores bióticos, como a antracnose, realizada com a aplicação de defensivos fitossanitários.

O metabolismo vegetal é um conjunto de reações químicas que ocorrem na célula vegetal (BOARO et al., 2019) que pode ser influenciado por atividades agrícolas, como fontes de contaminação por metais pesados quando produtos fitossanitários, por exemplo fungicidas, são utilizados em quantidades inadequadas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Dessa forma, a crescente demanda dos mercados interno e externo da atemoia (PEREIRA et al., 2019) impõe a necessidade de pesquisa para o desenvolvimento de técnicas apropriadas de manejo do pomar e conservação pré e pós-colheita da atemoia, envolvendo boas práticas em relação ao ambiente em relação à aplicação de produtos fitossanitários, incluindo fungicidas a base de cobre.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo estudar a aplicação de diferentes concentrações de hidróxido de cobre em atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson no desempenho fotossintético, aspectos do metabolismo especializado e proteção de plantas e frutos à antracnose.

REFERÊNCIAS

- AGROLINK (org.). **Agrolinkfito**: todos os agrotóxicos do brasil para controlar doenças e pragas em sua lavoura. Todos os agrotóxicos do Brasil para controlar doenças e pragas em sua lavoura. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C. MOSCA, J. L.; Colheita e pós-colheita de Anonáceas. In: SÃO JOSÉ, A.R.; SOUZA, I.V.B.; MORAIS, O.M.. **Anonáceas: produção e mercado (pinha, graviola, atemóia e cherimólia)**. Vitória da Conquista: DFZ/UESB, 1997. p. 240-256.
- BOARO, C. S. F.; VIEIRA, M. A. R.; CAMPOS, F. G.; FERREIRA, G.; DE-LA-CRUZ-CHACÓN, I.; MARQUES, M. O. M.. Factors Influencing the Production and Chemical Composition of Essential Oils in Aromatic Plants from Brazil. In: **ESSENTIAL Oil Research**. [S. l.: s. n.], 2019. cap. 2, p. 19 - 47.
- BRANDÃO FILHO, J.U.T.; GOTO, R.; GUIMARÃES, V.F.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J.D.; CALLEGARI, O.. Influência da enxertia nas trocas gasosas de dois híbridos de berinjela cultivados em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 474-477, 2003.
- CARDOSO, C. P.; CAMPOS, F. G.; BARZOTTO, G. R.; NAPOLEÃO, G. M.; CAMPOS, L. P.; BOARO, C. S. F.. Aplicação foliar de hidróxido de cobre, escurecimento de frutos e °Brix dos frutos de atemoia. **Produção Animal e Vegetal: Inovação e Atualidades**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 209-217, dez. 2021.
- CEAGESP (São Paulo). **Atemoia**. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/atemoia/>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- CHATROU, L.; PIRIE, M. D.; ERKENS, Roy H. J.; COUVREUR, T. L. P.; NEUBIG, K.; ABBOTT, J. R.; MOLS, J.; MAAS, J. W.; SAUNDERS, R. M. K.; CHASE, M.. A new subfamilial and tribal classification of the pantropical flowering plant family Annonaceae informed by molecular phylogenetics. **Botanical Journal Of The Linnean Society**, Londres, v. 169, n. 1, p. 4-40, maio 2012.

FIRMINO, A. C.; JÚNIOR, H. J. T.; COSTA, P. N.; FURTADO, E. L.. Ceratocystis fimbriata causando murcha em atemóia na região de Botucatu-SP. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 38, n. 2, p 171-171, 2012.

FIRMINO, A. C.; JUNIOR, H. J. T.; TAMELINI, B. R.; NOSAKI, D. N.; FURTADO, E. L. Identificação de espécies de Colletotrichum associados à antracnose em plantas de atemóia e colonização do fungo nos frutos. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 40, n. 4, p. 323-328, 18 dez. 2014.

FRANNA, SA; SUFFREDINI, IB. Determinação da atividade citotóxica a artemia de extratos de Annonaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 12, p.15-16, 2002.

GONÇALVES, G. L. P.; DOMINGUES, V. C.; RIBEIRO, L. P. R.; FERNANDES, J. B.; FERNANDES, M. F. G; FORIM, M. R.; VENDRAMIM, J. D. Compounds from *Duguetia lanceolata* St.-Hil. (Annonaceae) bioactive against *Zabrotes subfasciatus*(Boheman) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). **Industrial Crops and Products**, v. 97, p. 360–367, 2017.

HUTCHINSON, J. **The Genera of Flowering Plants**, v. 1, Oxford: University Press, 1974.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J.. **Plant Systematics: a phylogenetic approach**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Ed. Rima Artes e Textos, 2006. 531p.

LATORRE, A.; IOVINO, V.; CARADONIA, F.. Copper in plant protection: current situation and prospects. *Phytopathologia Mediterranea*, [S.L.], v. 57, n. 2, p. 201-236, 17 set. 2018. **Phytopathologia Mediterranea**. http://dx.doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-23407.

LAWSON, T.; KRAMER, D. M.; RAINES, C. A. Improving yield by exploiting mechanisms underlying natural variation of photosynthesis. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 2, p. 215-220, 2012.

LIM, T. K.. **Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants**. Londres: Springer, 2012.

MAAS, P.J., DE KAMER, H.M.V., JUNIKKA, L., DE MELLO-SILVA, R., RAINER, H., 2001. **Annonaceae from central-eastern Brazil**. *Rodriguésia*, 61–94.

MANICA, I.; ICUMA, I.M.; JUNQUEIRA, K.P; OLIVEIRA, M.A.S.; CUNHA, M.M., OLIVEIRA Jr., M.E.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ALVES, R.T. Frutas anonáceas: ata ou pinha,

atemóia, cherimóia e graviola: **Tecnologia de produção, colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco continentes, 2003. 596p.

MORAIS L.A.S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p.4050-4063, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2. ed. Lavras: Ufla, 2002. 729 p.

MOSCA, J.L.; CAVALCANTE, C.E.B.; DANTAS, T.M.D. **Características botânicas das principais anonáceas e aspectos fisiológicos de maturação**. Fortaleza: Embrapa agroindústria tropical, 2006. 28p.

MOSCA, J.L.; LIMA, G.P.P. Desenvolvimento de frutos de atemóia (*Annona cherimola* L. x *Annona squamosa* L) cv. Gefner. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17. Belém, 2002. Anais. Belém: SBF, 2002, CD-ROM.

OLIVEIRA, S.L. et al. Valoração dos atributos de Qualidade fazer tomate de mesa: um estudo com atacadistas da CEAGESP. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 214-219, 2012.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHKE, S.; COSTA, M. R.; CRANE, J. H.; CORSATO, C. D. A.; MIZOBUTSI, E. H.. Anonáceas: pinha, atemoia e graviola. **Informe Agropecuário: Cultivo tropical de fruteiras**, Belo Horizonte, v. 32, n. 264, p. 1-9, set./out. 2001.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHKE, S.; JOSÉ, A. R. S.; LEMOS, E. E. P. de; MIZOBUTSI, E. H.; CORSATO, C. D. A. (org.). **Anonáceas: Pinha (*Annona squamosa* L.), Atemóia (*Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill) e Graviola (*Annona muricata* L.)**. In: TRAZILBO JOSÉ DE PAULA JÚNIOR (Minas Gerais). Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Livro 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. 2. ed. Belo Horizonte: Epamig, 2019. Cap. 14. p. 111-123.

PLOETZ, R. C. (comp.). Diseases of atemoya, cherimoya, soursop, sugar apple and related fruit crops. In: PLOETZ, R. C.. **Diseases of tropical fruit crops**. Flórida: Cabi Publishing, 2003. p. 21-34.

POPENOE, W.. **Manual of tropical and subtropical fruits: the annonaceous fruits: the cherimoya**. Nova Iorque: Hafner Press, 1974.

SANTOS, C. R.; MELO NETO, M. L.; NOGUEIRA, P. S. C.; HAJI, F. N. P.. **Produção de Atemóia no Submédio São Francisco**. 103. ed. Petrolina: Mapa, 2001. 10 p.

SANTOS, L. G.. Micronutriente Cobre. In: PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.. **Micronutrientes no Sistema solo planta**: sintomas de deficiência e toxidez. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2015. p. 16-24.

SÃO JOSÉ, A. R., PIRES, M., FREITAS, A., RIBEIRO, D. P., PEREZ, L. A. A. Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, p.86-93, 2014.

SCALOPPI JUNIOR, E. J.; MARTINS, A. B. G.. CLONAGEM DE QUATRO ESPÉCIES DE ANNONACEAE POTENCIAIS COMO PORTA-ENXERTOS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 286-289, ago. 2003.

SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C.. **Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops: sub-tropical and tropical crops**. Flórida: Crc Press, 1994. 320 p.

SIEM - **Sistema de Informação e Estatística de Mercado da Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo**. São Paulo: CEAGESP, 2013. Não publicado.

SIEM - **Sistema de Informação e Estatística de Mercado da Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo**. São Paulo: CEAGESP, 2022. Não publicado.

SILVA, D. B.; MATOS, M. F. C.; NAKASHITA, S.Y.; MISU, C.K.; YOSHIDA, N.C.; CAROLLO, C. A.; FABRI, J. R.; MIGLIO, H. S.; SIQUEIRA; J. M. Isolamento e avaliação da atividade citotóxica de alguns alcalóides oxaporfínicos obtidos de annonaceae. **Químia Nova**, v. 30, p.1809-1812, 2007

SILVA, R. F.; MISSIO, E. L.; STEFFEN, R. B.; WEIRICH, S. W.; KUSS, C. C.; SCHEID, D. L.. EFEITO DO COBRE SOBRE O CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. E *Cassia multijuga* Rich. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 717-725, jul./set. 2014.

SILVA JÚNIOR, M. C. (org.). **100 Árvores do Cerrado**: sentido restrito. Brasília: Rede de Sementes do Serrado, 2012. 304 p.

SIQUEIRA, C. A. T. et al. Chemical constituents of the volatile oil from leaves of *Annona coriacea* and in vitro antiprotozoal activity. **Brazilian Journal of Pharmacognos**. v. 21, n.1, p. 33-40, 2011.

TOKUNAGA, T.. **A cultura da atemóia**. 233. 1.ed. Campinas: Cati, 2000. 80 p.

TOKUNAGA, T.. **A cultura da atemóia**. 2.ed. Campinas: CATI, 2005. 80 p. (Boletim técnico).

WATANABE, H. S.; OLIVEIRA, S. L.; CAMARA, F. M.; ALMEIDA, G. V. B.; ALVES, A. A.. Perfil de comercialização das Anonáceas nas Ceasas brasileiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.1, p. 65-70. 2014.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, p. 409-430, 2009.

ZHU, X.-G.; SONG, Q.; ORT, D. R.. Elements of a dynamic systems model of canopy photosynthesis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 15, n. 3, p. 237-244, 2012.

CAPÍTULO 1

INCIDÊNCIA DE ANTRACNOSE, DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO E ÓLEO ESSENCIAL EM PLANTAS DE *ANNONA X ATEMOYA* MABB. COM APLICAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE COBRE

RESUMO

A atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.), pertencente à família Annonaceae, apresenta consumo crescente devido a características organolépticas e nutricionais. A antracnose, fungo do gênero *Colletotrichum*, é uma das principais doenças na cultura provocando perdas de até 70 % em pomares comerciais. A aplicação de fungicidas é prática comum, como método preventivo e de controle, e compostos a base de cobre são utilizados. O micronutriente cobre atua na inibição enzimática, resultando na morte do patógeno. Fatores bióticos e abióticos resultam em aumento de radicais livres prejudiciais ao desenvolvimento vegetal. Como resposta ao estresse, vias enzimática e não enzimática podem ser estimuladas. Diante do exposto, o trabalho objetivou estudar a incidência de antracnose, o desempenho fotossintético e a produção de óleo essencial em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson submetidas a aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ em diferentes concentrações e frequência de aplicação. O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições e uma planta por parcela. A maior frequência de aplicações do tratamento 5 resultou em maior controle da doença. A menor frequência de aplicação foliar de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (tratamento 2) reduziu a incidência de antracnose abaixo do nível de ação recomendado, proporcionando óleo essencial com maior concentração de substâncias com atividade antifúngica. Sugere-se, portanto, a menor frequência de aplicação visando economia para o agricultor devido à redução na utilização de maquinário e gastos com o produto fitossanitário, redução no acúmulo de cobre no solo e sem prejuízo fotossintético. A aplicação de hidróxido de cobre foi eficaz contra a antracnose, possibilitou maior concentração de substâncias antifúngicas no óleo essencial e não alterou o desempenho fotossintético de plantas de atemoia.

Palavras-Chave: fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, terpeno, fungicida cúprico, peroxidação lipídica

ABSTRACT

Atemoya (*Annona x atemoya* Mabb.), part of Annonaceae family, has an increasing consumption due to organoleptic and nutritional characteristics. Anthracnose, a fungus of the genus *Colletotrichum*, is one of the main diseases in the crop, causing losses of up to 70% in commercial fruit farm. The application of fungicides is a common practice, as a preventive and control method, and copper-based compounds are used on it. The micronutrient copper acts on enzymatic inhibition, resulting in the death of the pathogen. Biotic and abiotic factors result in an increase of free radicals harmful to plant development. In response to stress, enzymatic and non-enzymatic pathways can be stimulated. Given the above, the work aimed to study the incidence of anthracnose, photosynthetic performance and essential oil production in atemoya plants (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson subjected to applications of $\text{Cu}(\text{OH})_2$ at different concentrations and application frequency. The experiment was carried out in a randomized block design with four replications and one plant per plot. The higher frequency of treatment applications 5 resulted in greater disease control. The lower frequency of foliar application of $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (treatment 2) reduced the incidence of anthracnose below the action level recommended, providing essential oil with a higher concentration of substances with antifungal activity. Therefore, a lower frequency of application is suggested, aiming economy for the farmer due to the reduction in the use of machinery and expenses with the phytosanitary product, reduction in the accumulation of copper in the soil and without photosynthetic damage. The application of copper hydroxide was effective against anthracnose, allowed a higher concentration of antifungal substances in the essential oil and did not alter the photosynthetic performance of atemoya plants.

Keywords: chlorophyll *a* fluorescence, gas exchange, terpene, cupric fungicide, lipid peroxidation

1. INTRODUÇÃO

Pertencente ao grupo eudicotiledôneas, compreendendo mais de 110 gêneros e 2400 espécies pelo mundo (LORENZI, 1998; CHATROU et al., 2012), a família Annonaceae apresenta grande importância na economia devido ao seu amplo espectro de utilização, como consumo de frutos in natura, perfumaria e indústria farmacêutica (LORENZI, 1998; JOHNSON et al., 2000; PIMENTA et al., 2003, CAMPOS et al., 2014). É comum encontrar espécies desta família com grande diversidade de substâncias provenientes do metabolismo especializado, incluindo substâncias aromáticas, ácidos fenólicos, esteroides, alcaloides e óleos essenciais (LEBOEUF et al., 1982; YOLANDA RÍOS et al., 2003; LIMA, 2003).

A atividade fotossintética e fotoassimilação de vegetais constitui mais de 90% da matéria seca da planta. Uma parcela destes assimilados é direcionada ao crescimento (biomassa) e a outra é oxidada na respiração, servindo como fonte de energia para processos biológicos (PLAXTON; PODESTÁ, 2006; CAMPOS et al., 2014). A eficiência da fotossíntese está ligada à produtividade em pomares (LAWSON et al., 2012; ZHU et al., 2012) e, desta forma, o conhecimento sobre a assimilação de CO₂ junto à eficiência do uso da água podem promover aumento de produtividade (ECHER, 2014).

Ao canalizar os produtos da fotossíntese para produtividade e produção final, o equilíbrio entre fonte e dreno é de fundamental importância na agricultura e pode ser influenciado por fatores exógenos e endógenos (DUARTE; PELI, 2010; PARREIRAS, 2017).

Os metabolismos primário e especializado são diretamente influenciados por condições bióticas e abióticas, além da fenologia da planta (SELMAR; KLEINWÄCHTER, 2013; CASER et al., 2018; JAMWAL et al., 2018). Tais fatores podem causar estresse oxidativo nos vegetais por aumentar a síntese de espécies reativas de oxigênio (ERO) como peróxido de hidrogênio (H₂O₂), superóxido (O₂⁻) e radicais hidroxilas (OH⁻), em mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos (APEL; HITCH, 2004; KARIMI et al. 2012; MIOTTO et al., 2014). Formadas a partir do metabolismo aeróbico, todas as ERO são capazes de causar dano oxidativo a proteínas, DNA e lipídios (APEL; HITCH, 2004).

Ao reagirem com ácidos graxos poliinsaturados presentes em lipoproteínas e membranas celulares, as ERO provocam oxidação e iniciam a peroxidação lipídica (lipoperoxidação), uma cascata de eventos bioquímicos na planta (VERMA; DUBEY, 2003). Essa interação entre ERO e lipídios degrada membranas e pode até mesmo resultar em morte celular (BAILLY et al., 2008; MUNNÉ-BOSCH et al., 2011).

Nos vegetais duas vias combatem as ERO, a enzimática e a não enzimática (WU et al., 2017). Em resposta à concentração de ERO e seu efeito tóxico, as enzimas, superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO), atuam como mediadoras do dano oxidativo, protegendo biomoléculas e podem contribuir com a resistência da planta ao ataque de patógenos e variações ambientais (KARIMI et al., 2012). Essas enzimas são consideradas como sistema de desintoxicação de ERO nas células vegetais (CASTRO et al., 2017; PARREIRAS, 2017). A SOD catalisa a dismutação do superóxido em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), enquanto a catalase e a peroxidase neutralizam o H_2O_2 , liberando oxigênio e água (SELMAR; KLEINWÄCHTER, 2013). A superóxido dismutase é a enzima mais abundante em teor de cobre (YRUELA, 2005).

O sistema antioxidante na via não enzimática, envolve síntese ou aumento de substâncias do metabolismo especializado como terpenos e compostos fenólicos, auxiliando no controle de ERO (AMAROWICZ et al., 2004). Fatores bióticos, como incidência de doenças, tem o potencial de alterar a composição química e produção de óleos essenciais já que as moléculas são formadas pela interação entre a planta e o ambiente (HOLOPAINEN; GERSHENZON, 2010; DUDAREVA et al., 2013).

Folhas e sementes podem ser utilizadas para a obtenção de óleo essencial de atemoia, grupos de substâncias aromáticas voláteis proveniente do metabolismo especializado (SPERRY, 2000; VENCESLAU et al., 2021). Os óleos essenciais, constituídos por terpenos, são capazes de atuar em plantas como sistema de defesa contra bactérias, vírus, fungos e até herbívoros dependendo da incidência ou infestação (CAMPOS et al., 2014), ao prevenir danos em lipídios, proteínas, ácidos nucleicos e, conseqüentemente, lesões e morte celular (SELMAR; KLEINWÄCHTER, 2013; YRUELA, 2009).

A capacidade antioxidante de compostos fenólicos está relacionada com as propriedades redutoras do grupo aromático hidroxil e a intensidade da ação antioxidante depende do número e posição de hidroxilas presentes na molécula (MELO et al., 2008). De acordo com Fu et al. (2011), o interesse pela análise de compostos fenólicos é crescente devido a elevada capacidade antioxidante, mediada por mecanismos de inibição das enzimas responsáveis pela produção de ERO.

Na cultura da atemoia, a antracnose, um dos principais fatores bióticos de estresse oxidativo, provocada por fungos do gênero *Colletotrichum*, os esporos são disseminados por vento e/ou chuva e podem provocar desfolha prematura e escurecimento de folhas e frutos (PLOETZ, 2003) causando perdas econômicas.

Fungicidas sintéticos que apresentam cobre (Cu^{2+}) como ingrediente ativo (PEREIRA et al., 2019) são utilizados por agricultores na prevenção e/ou combate à doença, devido a oomicetos e fungos não demonstrarem resistência ao cobre, como reportado pelo Comitê de Ação de Resistência a Fungicidas (FRAC, sigla em inglês) (FRAC, 2018).

O micronutriente em forma de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ em solos ácidos (pH 4,95) é mais absorvido por plantas em comparação a solos mais alcalinos (pH 7,45), além de tornar o pH do solo levemente mais ácido (SCHNEIDER et al., 2019).

Os íons de cobre dissolvidos em água na superfície da planta podem entrar no protoplasma celular de fungos e bactérias (LA TORRE et al., 2018), inibindo enzimas não dependentes do grupo sulfidrílico (catalase, sacarase, arginase, beta-glucosidase etc.) ao inativá-las, levam a desordem geral do metabolismo e rompem a integridade celular (REIS; REIS; CARMONA, 2010; KIMATI, 2011). Neste caso, a atuação do micronutriente altera a permeabilidade seletiva de membrana devido a desnaturação de proteínas estruturais e enzimáticas (LATORRE et al., 2018). Dentre os íons metálicos, o cobre se liga de modo mais forte aos seus ligantes que são abundantes no citosol, em grupos funcionais de aminoácidos de proteínas e em compostos de baixos pesos moleculares, como glutationa (cisteína) (AGUIRRE; PILON, 2016). Íons Cu^{2+} e Cu^+ se ligam fortemente aos átomos de S e N dos ligantes (IRVING; WILLIAMS, 1948; WALDRON et al., 2009).

Genes relacionados à defesa e envolvidos na biossíntese de fitoalexina e lignina apresentaram maior sensibilidade ao cobre (BOUAZIZI, 2010). Esses genes podem ser alvos eficazes para aumentar a tolerância ao micronutriente. Assim, o papel do Cu como agente antifúngico pode atuar induzindo genes de defesa ou inibindo o patógeno (SUDO et al., 2008). O cobre aumenta a biossíntese de lignina (MOURA et al., 2010). A deposição de lignina na parede celular representa uma barreira física contra infecção por patógenos, sendo considerada mecanismo protetivo (BOUDET, 2000). Estudos demonstram a capacidade da lignina de sequestrar radicais livres, estabilizando reações induzidas por ERO (DIZHBITE et al., 2004; UGARTONDO et al., 2009).

O cobre é considerado elemento essencial na maior parte de seres vivos. Em plantas está presente em dois estados redutores, o Cu^{2+} e Cu^+ , e sua função é principalmente relacionada a capacidade de mudar de estado redox no ambiente celular (YRUELA, 2009). A elevada reatividade do cobre nas células vegetais exige atuação de proteínas especializadas (chaperonas) que previnem a interação do cobre com outros componentes celulares (YRUELA, 2005).

Aproximadamente 90% das proteínas de cobre encontradas na natureza funcionam como oxidoredutases (WALDRON et al., 2009). Quatro transportadores do íon são conhecidos em plantas: COPT, ZIP, YSL e HMA (YRUELA, 2009; AGUIRRE; PILON, 2016). O cobre é constituinte da plastocianina, metaloproteína que funciona como carregadora de elétrons entre o complexo citocromo-*b6f* e fotossistema I, sendo essencial para o desenvolvimento vegetal (WEIGEL et al., 2003).

Os fungicidas cúpricos, por exemplo $\text{Cu}(\text{OH})_2$, possuem solubilidade baixa, ficando adsorvidos na superfície de folhas e com a ação de exsudatos secretado, como malato, reagem, permitindo sua absorção por fungos e plantas (MCCALLAN, 1949). A ação deste composto no patógeno pode ser direta, devido aos fungos baixa quantidade do cobre para suas funções fisiológicas e, quando em excesso, inibem enzimas importantes para sua sobrevivência (GRAHAM; WEBB, 1991).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou estudar a incidência de antracnose, o desempenho fotossintético e a produção de óleo essencial em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson submetidas a aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em pomar comercial de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cultivar Thompson (Figura 1) com sintomas de antracnose, no município de Botucatu, interior do estado de São Paulo, situado a 22°59'31,2" S e 48°28'28,2" W, na propriedade Estância Rio Sul.

O experimento iniciou em 22 de novembro de 2020 e finalizou em 05 de julho de 2021.

O clima da região (Figura 2) segundo a classificação de Köppen-Geiger é o temperado quente (mesotérmico) úmido do tipo Cfa, com temperatura média do mês mais quente acima de 22°C e precipitação pluvial média anual igual a 1377 mm (CUNHA; MARTINS, 2009).

Pomar comercial de atemoia cv. Thompson de 17 anos de idade foi utilizado para o estabelecimento da área experimental com 30 plantas em espaçamento de 4,1 metros entre plantas e 3,6 metros entre linhas. As fertilizações foram realizadas tomando-se por base os resultados das análises químicas do solo antes (Tabela 1) e após o experimento (Tabela 2), de acordo com a exigência nutricional de plantas de clima temperado II, segundo Boletim Técnico

100 e Boletim 200 (IAC, 1997; IAC, 2014). Os tratos culturais seguiram os mesmos boletins técnicos.



Figura 1: Planta de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Fonte: Arquivo pessoal (2020)

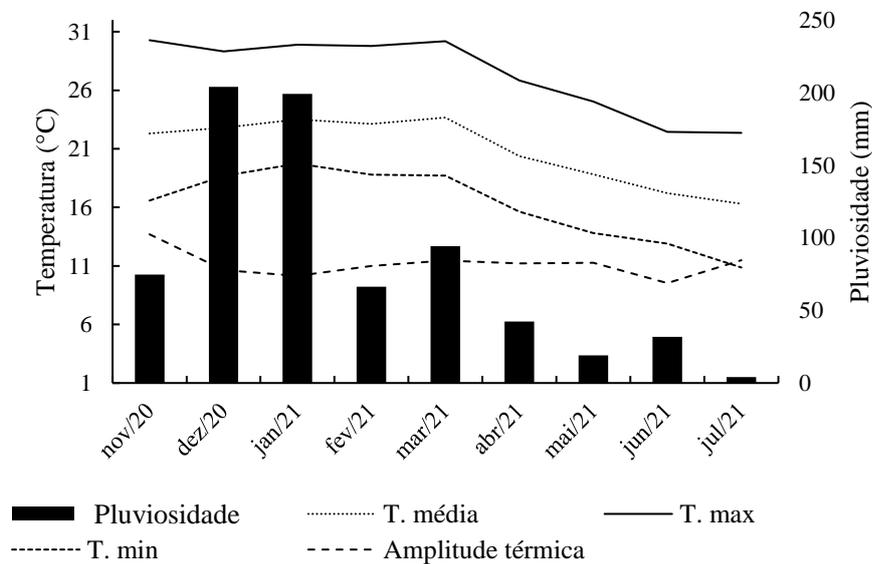


Figura 2: Temperatura máxima, mínima e média, pluviosidade e amplitude térmica do local onde foi instalado o experimento à campo. Botucatu, SP, 2021. Estação meteorológica Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA - UNESP)

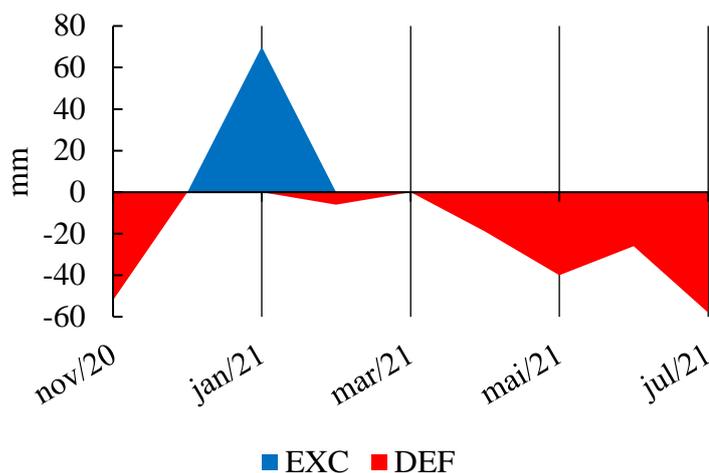


Figura 3: Balanço hídrico do local onde foi instalado o experimento à campo expresso em mm de chuva por mês. EXC = excesso de pluviosidade, DEF = deficiência de pluviosidade. Botucatu, SP, 2021. Estação meteorológica Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA - UNESP)

Tabela 1: Propriedades físicas e químicas de amostras de solo (valores médios) retiradas nas camadas entre 0 – 20 cm e 20 – 40 cm, realizadas pelo Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA - UNESP, Campus Botucatu, novembro de 2020 antes do início do experimento à campo na Estância Rio Sul (22°59'31,2" S e 48°28'28,2" W)

Amostras de solo	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³									mg dm ⁻³					
0-20 cm	4,9	20	15	0	25	-	0,3	25	5	30	55	54	1	0,50	2,1	36	1,7	1,2
20-40 cm	4,5	21	9	1	25	-	0,2	14	2	16	41	39	15	0,58	1,2	26	0,7	0,6

Tabela 2: Propriedades físicas e químicas de amostras de solo (valores médios) retiradas nas camadas entre 0 – 20 cm e 20 – 40 cm, realizadas pelo Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA - UNESP, Campus Botucatu, agosto de 2021 após o término do experimento à campo na Estância Rio Sul (22°59'31,2" S e 48°28'28,2" W)

Amostras de solo	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³									mg dm ⁻³					
0-20 cm	5,4	24	38	0	19	-	1,1	34	7	41	61	68	-	0,51	5,2	32	2,6	1,5
20-40 cm	5,0	17	14	0	22	-	0,8	19	4	24	46	51	-	0,64	2,6	32	1,3	0,9

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições e uma planta por parcela.

A partir da recomendação de produto registrado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (AGROLINK, 2022) para o controle de antracnose em Annonaceae, o estudo avaliou aplicações foliares quinzenais de hidróxido de cobre e/ou água e adjuvante, em diferentes concentrações e número de aplicações, conforme abaixo:

- T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações com adjuvante e água (tratamento controle) (22/10/2020, 06/12/2020, 20/12/2020, 03/01/2021, 17/01/2021, 31/01/2021, 14/02/2021, 28/02/2021, 14/03/2021, 28/03/2021, 11/04/2021, 25/04/2021, 09/05/2021, 23/05/2021, 06/06/2021 e 20/06/2021)
- T2: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ - duas aplicações (tratamento equivalente à metade da frequência de aplicações recomendada pelo MAPA), (17/01/2021 e 14/03/2021) e 14 aplicações com adjuvante e água nas demais datas
- T3: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ - quatro aplicações (tratamento equivalente à concentração e frequência de aplicações recomendada pelo MAPA), (22/10/2020, 17/01/2021, 14/03/2021 e 25/04/2021) e 12 aplicações com adjuvante e água nas demais datas
- T4: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ - oito aplicações (tratamento equivalente a menor concentração e maior frequência de aplicações do produto registrado), (20/12/2020, 17/01/2021, 14/02/2021, 28/02/2021, 14/03/2021, 28/03/2021, 11/04/2021 e 25/04/2021) e oito aplicações com adjuvante e água nas demais datas
- T5: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ - 16 aplicações (tratamento equivalente a menor concentração e maior frequência de aplicações do produto registrado), (22/10/2020, 06/12/2020, 20/12/2020, 03/01/2021, 17/01/2021, 31/01/2021, 14/02/2021, 28/02/2021, 14/03/2021, 28/03/2021, 11/04/2021, 25/04/2021, 09/05/2021, 23/05/2021, 06/06/2021 e 20/06/2021)

A aplicação dos tratamentos foi realizada em toda a copa com auxílio de pulverizador costal (TRATO[®] - TP20), utilizando a mistura (calda) de hidróxido de cobre com adjuvante Haiten[®] (0,01 ml L⁻¹ de água) em pH neutro (Figura 4), de acordo com a tabela 3. O volume de calda utilizado para pulverização de cada planta foi igual a 1,6 L, iniciando-se em 22 de novembro de 2020 em plantas com flores tardias e frutos em estágio de “chumbinho”, finalizando-se em 20 de junho de 2021, 210 dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA).



Figura 4: pH de calda composta por $\text{Cu}(\text{OH})_2$ com adjuvante Haiten[®] aplicada em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Fonte: Arquivo pessoal (2020)

2.3 Variáveis avaliadas

2.3.1 Incidência de antracnose

2.3.2 Desempenho fotossintético

2.3.3 Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica em folhas

2.3.4 Compostos fenólicos foliar

2.3.5 Óleo essencial foliar

2.4 Análise estatística

As variáveis incidência de antracnose (IA), fenóis totais (FTF), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e peroxidação lipídica (MDA) foram avaliadas em esquema fatorial 5x2, cinco tratamentos referentes ao fornecimento de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, avaliados em duas épocas, com quatro repetições, exceto IA, avaliado com três repetições.

As variáveis de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* (exceto F_0 , NPQ e F_v/F_m), foram avaliadas em esquema fatorial 5x5, cinco tratamentos referentes ao fornecimento de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, avaliados em cinco épocas, com quatro repetições.

Rendimento de óleo essencial, concentrações de substâncias majoritárias de óleo essencial, fluorescência mínima adaptada ao escuro (F_0), quenching não fotoquímico (NPQ) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m) foram avaliados após todas as aplicações de $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Foi realizada análise hierárquica de cluster do perfil químico do óleo essencial, apresentada como mapa de calor, a partir da versão online do MetaboAnalyst 4.0 (Chong et al., 2019).

Os dados foram submetidos ao teste de Levene para verificar homogeneidade da variância e ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov. A seguir foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando houve significância ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste Tukey com programa estatístico MiniTab®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Incidência de antracnose

Plantas de atemoia antes da aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (0 DAPA) apresentaram incidência de antracnose com valores entre 5,97 e 9,35 % (Tabela 3). De acordo com Tavares; Costa; Santos (2005), o nível de ação recomendado para plantas que apresentam flores e frutos, ocorre quando $\text{IA} \% \geq 5 \%$ e dessa forma, os resultados obtidos em todos os tratamentos justificavam o controle químico.

Após o término das aplicações de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, aos 225 DAPA, foi observado controle da doença (Tabela 3), demonstrando eficiência das aplicações de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, em especial, de acordo com o tratamento 5 que apresentou menor média de incidência de antracnose em relação ao controle e que propôs manutenção de aplicações de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (16) em menor concentração (1 mL^{-1}) ao longo do período de florescimento e frutificação.

Apesar da possibilidade de a planta superar situações de estresse (SELMAR; KLEINWÄCHTER, 2013), como no caso de doenças, o cobre é utilizado na agricultura com intuito de evitar perda de produtividade em pomares comerciais (HASANUZZANAN et al., 2016, PEREIRA et al., 2019), atuando no controle da infecção. No presente estudo, o resultado observado nas plantas submetidas ao tratamento 1 (controle) demonstra que não houve superação da infecção, havendo necessidade de tratamentos envolvendo o $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Tabela 3: Incidência de antracnose (IA), em %, antes do início das aplicações de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (0 DAPA) e aos 225 DAPA em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

	IA	
	DAPA	
Tratamento	0	225

T1	8,79±0,88 Aa	6,51±0,38 Aa
T2	6,50±0,24 Aa	4,18±0,14 Bb
T3	8,54±1,54 Aa	4,85±0,22 Bb
T4	5,97±0,10 Aa	4,83±0,49 Bb
T5	9,35±1,41 Aa	3,44±0,05 Cb

F	Aplicação	DAPA	Aplicação x DAPA
	11,92**	134,91**	13,40**

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade

3.2 Desempenho fotossintético

3.2.1 Fluorescência da clorofila *a*

Os resultados observados para o quenching não fotoquímico (NPQ) e rendimento quântico máximo (Fv/Fm) não apresentaram diferença entre os tratamentos.

As plantas do tratamento 1 apresentaram maior fluorescência mínima adaptada ao escuro (F_0) quando comparadas às dos tratamentos 2, 3 e 5 (Tabela 4). O valor de F_0 representa a emissão de luz pelas moléculas de clorofila *a* excitadas, antes de ocorrer a dissipação de energia para o centro de reação do PSII (PREISS, 1981). A maior incidência de antracnose em plantas submetidas ao tratamento 1 (controle) pode ter contribuído com a maior dissipação de energia na forma de fluorescência, uma vez que F_0 é suscetível ao ambiente e seu aumento pode indicar comprometimento do fotossistema II devido a estresse (ADAMS; PERKINS, 1993), representado nesse caso pelo ataque do fungo às plantas.

Maiores valores de F_0 foram encontrados em plantas de *Eutерpe oleracea* Mart. inoculadas com *Colletotrichum* sp. quando comparadas a plantas não inoculadas (CASTRO et al., 2016).

Tabela 4: Quenching não fotoquímico (NPQ), fluorescência mínima adaptada ao escuro (F_0) e rendimento quântico máximo (Fv/Fm), avaliados no escuro, aos 225 DAPA em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	225 DAPA		
	NPQ	F_0	Fv/Fm
T1	0,4477±0,007	607,333±15,673 a	0,596±0,011

T2	0,4372±0,026	459,708±8,379 b	0,572±0,018
T3	0,3853±0,108	467,958±6,064 b	0,563±0,009
T4	0,4685±0,058	563,250±22,242 ab	0,549±0,011
T5	0,4842±0,024	509,500±9,169 b	0,596±0,006
F	0,2642^{NS}	17,793^{**}	2,464^{NS}

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ - duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ - quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ - oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ - 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Aos 69 DAPA, plantas do tratamento 2, 3, 4 e 5 haviam recebido, respectivamente, uma, duas, duas e cinco aplicações de Cu(OH)₂. Nessa época, a eficiência quântica efetiva (ΦPSII) dos tratamentos 2 e 5 foi maior em relação ao tratamento 3, que ao longo do tempo manteve baixa a eficiência (Tabela 5). A diminuição da eficiência quântica efetiva provém da menor utilização de elétrons gerados pela radiação incidente, o que aumenta a síntese de ERO pelo fotossistema II e, conseqüentemente, resulta em menor taxa fotossintética (LOTFI et al., 2015; BUCHNER et al., 2016). Aos 180 DAPA, as plantas dos tratamentos 4 e 5 apresentaram ΦPSII e a taxa de transporte de elétrons (ETR) menores em relação ao controle, o que pode manifestar diferença nas trocas gasosas (Tabelas 5 e 6).

Apesar da menor ΦPSII observada no tratamento 4 (Tabela 5), a eficiência da RuBisCO sempre se manteve elevada, o que sugere utilização de parte dos recursos fotoquímicos nessas plantas (Tabela 9).

Tabela 5: Eficiência quântica efetiva (ΦPSII) em cinco avaliações após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (DAPA) em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	ΦPSII				
	DAPA				
	69	153	180	192	225
T1	0,11±0,002 ABa	0,10±0,008 ABa	0,13±0,005 Aa	0,12±0,004 Aa	0,07±0,007 Ab
T2	0,11±0,006 Aa	0,09±0,009 ABa	0,12±0,008 ABa	0,11±0,005 Aa	0,06±0,006 Ab
T3	0,08±0,002 Bbc	0,11±0,021 Aab	0,12±0,004 ABa	0,13±0,004 Aa	0,06±0,009 Ac
T4	0,11±0,006 ABa	0,08±0,005 Bb	0,10±0,003 Bab	0,11±0,003 Aa	0,07±0,002 Ab

T5	0,12±0,011 Aa	0,08±0,011 ABbc	0,10±0,003 Bab	0,11±0,001 Aa	0,06±0,001 Ac
F	Aplicações 2,58*	DAPA 39,56**	Aplicações x DAPA 2,66*		

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

A taxa de transporte de elétrons foi maior e diminuiu ao longo do tempo nos tratamentos 4 e 5 em relação ao 3, aos 69 DAPA (Tabela 6).

Apesar do cobre ser componente principal da plastocianina (WEIGEL et al., 2003), a aplicação foliar do metal não teve grande expressão no transporte de elétrons, provavelmente devido a baixa solubilidade do Cu(OH)₂ em água (MCCALAN, 1949), dificultando a absorção pelas plantas.

Tabela 6: Taxa de transporte de elétrons (ETR) em cinco avaliações após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (DAPA) em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	ETR				
	DAPA				
	69	153	180	192	225
T1	57,23±1,37 ABab	53,56±4,32 ABb	67,53±2,92 Aa	61,92±2,03 Aab	33,85±3,54 Ac
T2	56,33±1,31 ABa	41,38±4,43 BCbc	54,32±1,89 ABab	55,03±2,53 Aab	33,67±2,76 Ac
T3	45,08±1,48 Bbc	56,66±10,33 Aab	67,19±2,02 Aa	66,43±2,05 Aa	33,90±0,47 Ac
T4	59,33±3,44 Aa	46,18±3,15 ABab	48,29±2,09 Bab	54,34±1,16 Aa	37,18±1,70 Ab
T5	61,73±5,29 Aa	35,84±6,02 Ab	51,38±1,85 Ba	59,27±0,89 Aa	34,09±0,807 Ab
F	Aplicações 4,23*	DAPA 44,43**	Aplicações x DAPA 3,56**		

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade

3.2.2 Trocas gasosas

As plantas do tratamento 3, aos 69 DAPA, momento em que haviam recebido duas de quatro aplicações, apresentaram menor assimilação de CO₂ em relação às dos tratamentos 1 e

5 (Tabela 7). O aumento na taxa concentração interna de CO₂ se relacionou a diminuição de assimilação de CO₂, com o fechamento estomático em resposta a estresses hídrico de plantas de *Citrus sinensis* L. Osbeck (GOMES et al., 2004) e a inoculação com antracnose em plantas de *Euterpe oleracea* Mart. (CASTRO et al., 2017), comportamento visto em plantas do tratamento 3 aos 69 DAPA (Tabela 7 e 8). Enquanto plantas do tratamento 5 apresentaram resultados invertidos, com *A* e menor *Ci*.

Uma vez que a taxa de assimilação de CO₂ no presente estudo variou entre 2,76 e 6,55 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, esses resultados confirmam o metabolismo de plantas C3 com taxas fotossintéticas mais baixas, conforme demonstrado em estudo anterior (DOUBNEROVÁ; RYSLAVÁ, 2011).

A assimilação de CO₂ foi semelhante às verificadas por Baron (2014) em atemoias enxertadas em araticum-mirim (*Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer) cv. Mirim e araticum-de-terra-fria (*Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer) cv. Terra-Fria, e às verificadas por Núñez-Elisea et al. (1999), que estudou *Annona x atemoya* Mabb., *A. glabra* L., *A. muricata* L., *A. squamosa* L. e *A. reticulata* L.. Aos 222 DAPA, os tratamentos não apresentaram diferença de assimilação de CO₂.

Por outro lado, deve ser destacado que, de maneira geral, a aplicação de Cu(OH)₂, que controlou a infestação de antracnose, não interferiu com as trocas gasosas, provavelmente devido a baixa solubilidade do Cu(OH)₂ em água (MCCALLAN, 1949).

Tabela 7: Assimilação de CO₂ (*A*), em μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, em cinco avaliações após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (DAPA) em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	<i>A</i>				
	DAPA				
	69	153	180	192	225
T1	5,28 ±0,72 Aab	5,27 ±0,36Aab	4,69 ±0,14 Abc	6,52 ±0,49 Aa	3,48 ±0,349 Ac
T2	4,05 ±0,57 ABbc	4,80 ±0,12 Ab	4,43 ±0,41 Ab	6,50 ±0,23Aa	2,76 ±0,04Ac
T3	3,32 ±0,1 Bb	5,89 ±0,38 Aa	4,77 ±0,68 Aab	5,85 ± 0,51 Aa	4,02 ±0,38 Ab
T4	4,92 ±0,33 ABab	5,32 ±0,39Aab	3,62 ±0,45 Ab	5,74 ±0,22 Aa	3,95 ±0,24 Ab
T5	5,32 ±0,86 Aab	4,57 ±0,27 Ab	4,90 ±0,20 Ab	6,55 ±0,34Aa	3,41 ±0,88 Ab
F	Aplicações 1,34**	DAPA 29,24**		Aplicações x DAPA 2,17**	

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

As plantas pulverizadas oito vezes com $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ (tratamento 4), apresentaram baixo C_i quando comparadas com as do tratamento 2 aos 225 DAPA (Tabela 8), condição que pode ter contribuído com a maior eficiência da RuBisCO (Tabela 9).

O aumento de concentração interna e menor assimilação de carbono do tratamento 3 pode estar relacionada ao acúmulo de ERO por limitação bioquímica devido à baixa atividade da RuBisCO (SILVA et al., 2012; ZHANG et al., 2016). Em baixa quantidade, a RuBisCO compromete a eficiência da fotossíntese (PARRY et al., 2007).

Tabela 8: Concentração interna de CO_2 na folha (C_i), em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	C_i				
	DAPA				
	69	153	180	192	225
T1	216,60±26,3 Aa	160,94±13,36 Aab	98,42±6,75Bc	129,38±6,70 Abc	156,39±13,20 ABab
T2	233,86±19,66Aa	161,00±20,18 Ab	154,02±7,18 Ab	136,40±3,68 Ab	168,91±14,01 Aab
T3	252,35±10,32 Aa	172,19±14,15 Aab	111,93±11,2 ABc	100,69±7,03 Ac	179,72±16,54 Ab
T4	280,14±6,27 Aa	145,39±10,84 Ab	113,74±17,68 ABb	135,59±9,96 Ab	111,42±8,93 Bb
T5	192,65±13,21 Ba	174,12±36,56 Aab	130,65±4,68 ABb	118,06±8,22 Ab	158,07±5,20 ABab
F	Aplicações 2,84*	DAPA 39,806**		Aplicações x DAPA 1,79*	

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 9: Eficiência da RuBisCO (A_{net}/C_i), em $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

A_{net}/C_i

DAPA					
Tratamento	69	153	180	192	225
T1	0,025±0,003 Ac	0,034±0,004 ABbc	0,048±0,003 Aab	0,050±0,003 Aa	0,022±0,002 Bc
T2	0,017±0,003 ABc	0,031±0,004 ABb	0,028±0,001 Bb	0,047±0,003 Aa	0,016±0,001 Bc
T3	0,013±0,0005 Bd	0,032±0,003 ABbc	0,043±0,005 ABab	0,059±0,007 Aa	0,022±0,003 Bcd
T4	0,023±0,001 Ab	0,037±0,003 Aa	0,034±0,008 ABab	0,043±0,003 Aa	0,036±0,003 Aab
T5	0,027±0,003 Abc	0,032±0,010 Bc	0,037±0,001 ABab	0,056±0,006 Aa	0,021±0,001 Bc
F	Aplicações 2,28^{NS}	DAPA 36,96*		Aplicações x DAPA 1,83**	

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade

Na avaliação aos 69 DAPA, as plantas do tratamento 5 apresentaram a maior taxa de transpiração (*E*) (Tabela 10) embora não tenham revelado diferença de eficiência do uso da água, por exemplo em relação ao tratamento 1 (controle) (Tabela 12). Menor taxa de transpiração em situação de estresse sugere armazenamento de água e aumento da eficiência do uso da água, limitando a entrada de o CO₂ e redução na fotossíntese (CHAVES et al., 2009; MANAVALAN et al., 2009). O acesso do CO₂ atmosférico das células fotossintéticas do mesófilo ocorre através da abertura estomática portanto, variações da condutância estomática influenciam diretamente *A* e *E* (ÁLVAREZ et al., 2011), resultados observados no tratamento 3 (Tabelas 7, 10 e 11).

Tabela 10: Taxa de transpiração (*E*), em mmol vapor d’água m⁻² s⁻¹, em cinco avaliações após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (DAPA) em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

<i>E</i>					
DAPA					
Tratamento	69	153	180	192	225
T1	1,41±0,22 Da	0,84±0,06 Ba	0,99±0,01 Aa	1,16±0,11 Aa	0,43±0,01 Aa
T2	3,91±0,55 BCa	4,80±0,12 Aa	1,35±0,17 Ab	0,87±0,03 Ab	0,51±0,04 Ab
T3	3,21±0,21 Cb	5,89±0,38 Aa	1,11±0,10 Ac	0,81±0,03 Ac	0,43±0,01 Ac
T4	4,72±0,43 Ba	5,32±0,39 Aa	0,72±0,03 Ab	0,98±0,07 Ab	0,42±0,03Ab
T5	6,56±1,46 Aa	4,57±0,27 Ab	1,25±0,04 Ac	0,96±0,03 Ac	0,54±0,02 Ac

F	Aplicações 18,61**	DAPA 128,86**	Aplicações x DAPA 10,24**
----------	-------------------------------------	--------------------------------	--

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade

A concentração de 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ aplicada de forma fracionada em oito vezes (tratamento 4) deve ter contribuído com melhor utilização do recurso hídrico em relação ao tratamento 1, aos 225 DAPA (Tabela 12) uma vez que, de modo geral, não foram observadas diferenças na transpiração entre esses tratamentos (Tabela 10).

Aos 225 DAPA, plantas de atemoia apresentaram menor condutância estomática (Tabela 11) e menor concentração interna de carbono (Tabela 8) quando comparadas aos 69 DAPA, indicando redução da fotossíntese (BOSCO et al., 2009) possivelmente pelo período de dormência das gemas vegetativas (BONAVENTURE, 1999) e fechamento de estômatos que diminui a difusão de CO₂ (FLEXAS et al., 2006).

Tabela 11: Condutância estomática (*gs*), em mmol m⁻² s⁻¹, em cinco avaliações após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (DAPA) em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

T	<i>gs</i>				
	DAPA				
Tratamento	69	153	180	192	225
T1	57,58±12,37 Aa	30,92±3,83 Abc	28,20±0,51Acd	43,47±1,71 Aab	21,41±1,27 Ad
T2	38,47±4,17 ABa	39,60±1,69 Aa	32,46±2,91 Aab	41,17±1,74 ABa	24,04±0,71 Ab
T3	32,47±4,00 Ba	41,94±2,31 Aa	29,75±2,47 Aa	29,62±1,06 Ba	19,20±0,68 Ab
T4	41,31±1,97 ABa	29,44±1,49 Aa	20,53±0,96 Bb	33,84±2,74 ABa	19,82±1,40 Ab
T5	50,28±11,42 ABa	37,58±3,25 Aa	32,37±0,78 Aab	40,78±1,71 ABa	25,27±1,15 Ab

F	Aplicações 4,18*	DAPA 22,86**	Aplicações x DAPA 1,96*
----------	-----------------------------------	-------------------------------	--

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade

Tabela 12: Eficiência do uso da água instantânea (iEUA), em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$, em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	iEUA				
	DAPA				
	69	153	180	192	225
T1	4,15±0,46 ABc	5,63±0,57 Bb	4,48±0,15 Abc	7,37±0,38 ABa	6,98±0,44 BCab
T2	4,89±0,13 ABb	6,39±0,20 ABa	4,26±0,21 Ab	6,94±0,59 ABa	7,64±0,53 ABCa
T3	3,57±0,20 Bc	6,48±0,46 ABb	4,50±0,10 Ac	7,77±0,13 Aab	8,28±0,30 ABa
T4	4,71±0,19 ABc	7,18±0,16 Aab	4,95±0,29 Ab	6,25±0,23 Ba	8,89±0,33 Aa
T5	5,31±0,04 Aab	5,24±0,77 Bab	4,30±0,07 Ab	6,41±0,2 ABa	6,12±0,32 Cb
F	Aplicações 5,14**	DAPA 78,81**	Aplicações x DAPA 4,14**		

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade

Os resultados de fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas demonstram que as plantas submetidas aos diferentes tratamentos respondem de maneira diversa, sugerindo interação entre concentração e frequência de pulverização e resposta do vegetal na defesa da antracnose, não resultando impacto no metabolismo fotossintético com prejuízos que impeçam a utilização do $\text{Cu}(\text{OH})_2$ como fungicida.

3.3 Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica em folhas

3.4 Compostos fenólicos foliares

3.5 Óleo essencial foliar

Tabela 18: Concentrações de substâncias majoritárias no óleo essencial de folhas de atemoia (*Annona x atemoya* Mab) cv. Thompson, em %, aos 225 dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA). Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	223 DAPA									
	alfa-pineno	beta-pineno	linalool	beta-elemeno	<i>E</i> -cariofileno	gama-muroleno	germacreno D	biciclogermacreno	espatulenol	óxido de cariofileno
T1	7,04±0,82	14,79±1,32 ab	3,82±0,25 a	2,34±0,03 b	6,17±0,22 b	26,93±9,31 a	22,08±4,93 b	6,13±3,08	2,82±0,12 b	0,96±0,07 b
T2	8,66±1,12	17,93±2,11 a	2,62±0,49 ab	2,44±0,06 ab	6,14±0,17 b	0,001±0,00 b	31,04±0,96 ab	10,84±0,16	3,76±0,26 a	2,50±0,26 a
T3	8,30±0,61	15,14±0,76 ab	2,67±0,07 ab	2,24±0,07 b	6,17±0,05 b	26,56±9,28 a	21,73±5,21 b	5,92±3,00	2,66±0,06 bc	0,37±0,21 b
T4	6,04±0,68	10,41±0,89 b	2,00±0,16 b	2,24±0,05 b	7,77±0,42 a	23,79±3,96 a	40,38±2,89 a	12,67±0,94	1,80±0,13 c	1,05±0,27 b
T5	6,42±1,34	12,19±2,20 ab	3,16±0,10 ab	2,59±0,01 a	6,59±0,04 b	24,02±4,00 a	31,58±1,87 ab	10,84±0,36	2,57±0,20 bc	1,36±0,15 b
F	1,42^{NS}	3,34*	6,61*	7,62*	8,48*	8,09**	4,66*	2,34^{NS}	15,11*	11,21*

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: 3,9 mL L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: 3,9 mL L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: 1 mL L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: 1 mL L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 1 e 5% de probabilidade

A maior frequência de aplicações do tratamento 5 resultou em maior controle da doença. No entanto, a menor frequência de aplicação foliar de Cu(OH)_2 (tratamento 2) reduziu a incidência de antracnose abaixo do nível de ação recomendado, proporcionando óleo essencial com maior concentração de substâncias com atividade antifúngica. Sugere-se, portanto, a menor frequência de aplicação visando economia para o agricultor devido a redução na utilização de maquinário e gastos com o produto fitossanitário, redução no acúmulo de cobre no solo e sem prejuízo fotossintético.

4. CONCLUSÃO

A aplicação de hidróxido de cobre foi eficaz contra a antracnose, possibilitou maior concentração de substâncias antifúngicas no óleo essencial e não alterou o desempenho fotossintético de plantas de atemoia.

5. REFERÊNCIAS

- ABE, L. T.; DAMOTA, R. V.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de cultivares de uvas *Vitis labrusca* L. e *Vitis vinifera* L. **Food Science Technology**, [s. l.], v. 27, ed. 2, p. 394 - 400, 2007.
- Adams, G.T.; Perkins, T.D. **Environment Experimental Botany**. 33: 377, 1993.
- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography mass spectroscopy**. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2007.
- AGUIRRE, G.; PILON, M. Copper Delivery to Chloroplast Proteins and its Regulation. **Front. Plant Sci.**, v. 6, 12 jan. 2016. 1250, p. 1-10.
- ALBA, T. M.; TESSARO, E.; SOBOTTKA, A. M. Seasonal effect on phenolic content and antioxidant activity of young, mature and senescent leaves from *Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis (Basellaceae). **Brazilian Journal of Biology**, [S. l.], v. 54, p. 1-8, 8 dez. 2021.
- ALEXIEVA V., SERGIEV I., MAPELLI S., KARANOV E.. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell & Environment**, v. 24, n. 12, p. 1337–1344, 2001.

ALVAREZ, S.; NAVARRO, A.; NICOLAS, E.; SANCHEZ-BLANCO, M.J. Transpiration, photosynthetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in *Callistemon* plants during drought conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.129, n.2, p.306-312, 2011.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. **Review of Plant Biology**, [s. l.], v. 55, p. 373 - 399, 29 jan. 2022.

BADALAMENTI, N.; BRUNO, M.; FORMISANO, C.; RIGANO, D. Effect of Germacrene-Rich Essential Oil of *Parentucellia latifolia* (L.) Caruel Collected in Central Sicily on the Growth of Microorganisms Inhabiting Historical Textiles. **Natural Product Communications**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 1-6, 1 abr. 2022.

AYDAS, S. B.; OZTURK, S.; ASLIM, B. Phenylalanine ammonia lyase (PAL) enzyme activity and antioxidant properties of some cyanobacteria isolates. **Food Chemistry**, v. 136, p. 164-169, 7 dez. 2012.

BAILLY, C.; EL-MAAROUF-BOUTEAU, H.; CORBINEAU, F. From intercellular signalling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.806-814, 2008.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils - a review. **Food Chem Toxicol**, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 446-475, 2 fev. 2008.

BOARO, C. S. F.; VIEIRA, M. A. R.; CAMPOS, F. G.; FERREIRA, G.; DE-LA-CRUZ-CHACÓN, I.; MARQUES, M. O. M. Factors Influencing the Production and Chemical Composition of Essential Oils in Aromatic Plants from Brazil. *In: ESSENTIAL Oil Research*. [S. l.: s. n.], cap. 2, p. 19 – 47, 2019.

CASSINELLI, A. B.; MACIEL, F. L.; FRONZA, J.; SCHWAMBACH, J. Atividade antifúngica in vitro dos óleos essenciais *Eugenia uniflora* e *Psidium cattleianum* contra o fitopatógeno *Thielaviopsis basicola*. **Rev. Elet. Cient. da UERGS**, v. 5, n. 3, p. 250-256, 5 jun. 2019.

CASTRO, G. L. S.; SILVA JÚNIOR, D. D.; BUENO, A. C. S. O.; SILVA, G. B. Anthracnose in açai palm leaves reduces leaf gas exchange and chlorophyll a fluorescence. **Tropical Plants Pathology**, p. 13-20, 9 nov. 2017.

DIZHBITE, T.; TELYSHEVA, G.; JURKJANE, V.; VIESTURS, U. Characterization of the radical scavenging activity of lignins: natural antioxidants. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 3, p. 309-317, 2004.

ECHER, F. R. (ed.). **O algodoeiro e os estresses abióticos**: Temperatura, luz, água e nutrientes. 1. ed. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão - IMAmt, 2014. 123 p. ISBN 978-85-66457-03-2.

ELOY, Y. R. G.; VASCONCELOS, I. M.; BARRETO, A. L. H.; FREIRE-FILHO, F. R.; OLIVEIRA, J. T. A. H₂O₂ plays an important role in the lifestyle of *Colletotrichum gloeosporioides* during interaction with cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Fungal Biology**, p. 747-757, 14 maio 2015.

FILHO, D. E. S.; NEVES, A. M.; MORAES, S. M.; SOUZA, E. B.; RODRIGUES, T. H. S.; SANTOS, H. S.; MESQUITA, M. C. A.; FONTENELLE, R. O. S. Composição química e atividade antifúngica do óleo essencial de *Zanthoxylum petiolare* A. St. -Hil. & Tul (RUTACEAE). **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 38904 - 38916, 1 abr. 2021.

FERREIRA, O. O.; SILVA, S. H. M.; OLIVEIRA, M. S.; ANDRADE, E. H. A. Chemical Composition and Antifungal Activity of *Myrcia multiflora* and *Eugenia florida* Essential Oils. **Molecules**, [S. l.], v. 26, 30 nov. 2021. 7259, p. 1-13.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Boletim Técnico 100**: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. rev. e atual. Campinas: [s. n.], 1997. 285 p. ISSN 0100-3100.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (org.). **Boletim 200**: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 7. ed. rev. e atual. Campinas: [s. n.], 2014. 452 p. ISBN 0375-1538.

BOUAZIZI, H.; JOUILI, H.; GEITMANN, A.; EL FERJANI, E. Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. **Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: antioxidant enzyme response and nutrient element uptake**, [S. l.], p. 1304-1308, 18 jun. 2010.

BOUDET, A. M. A new view of lignification. **Trends in plants perspective**, [S. l.], v. 3, p. 67-71, 1 fev. 1998.

BRADFORD, M. M.. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical Biochemistry**, Estados Unidos, v. 0, n. 72, p. 248-254, 26 jan. 1976.

CAMPOS, F. G.; MARQUES, M. O. M.; BARON, D.; FERREIRA, G. Characterization of the chemical composition of the essential oils from *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer 'terra-fria' AND *Annona squamosa* L. **V Congresso Internacional & Encontro Brasileiro sobre Annonaceae: do gene à exportação**, Botucatu, v. 36, p. 202-208, 2014.

CASER M., D'ANGIOLILLO F., CHITARRA W., LOVISOLO C., RUFFONI B., PISTELLI L., SCARIOT V.. Ecophysiological and phytochemical responses of *Salvia sinaloensis* Fern. to drought stress. **Plant Growth Regulation**, v. 84, n. 2, p. 383-394, 2018.

CHATROU, L.; ERKENS, R. H. J.; RICHARDSON, J. E.; SAUNDERS, R. M. K.; FAY, M. F. The natural history of Annonaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, [s. l.], p. 1-4, 2012.

CLERICI, M. T. P. S.; CARVALHO-SILVA, L. B.. Nutritional bioactive compounds and technological aspects of minor fruits grown in Brazil. **Food Research International**, 44(7), 1658–1670, 2011.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação Climática para os municípios de Botucatu e São Manuel – SP. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11. 2009

DUARTE, T.S.; PEIL, R.M.N.. Relações fonte: dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, 2010.

DUDAREVA, N.; KLEMPIEN, A.; MUHLEMANN, J. K.; KAPLAN, I. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. **New Phytologist**, v. 198, n. 1, p. 16-32, 1 abr. 2013.

FLACH, A.; GREGEL, B.; SIMIONATTO, E.; SILVA, U. F.; ZANATTA, N.; MOREL, A. F.; LINARES, C. E. Chemical analysis and antifungal activity of the essential oil of *Calea clematidea*. **Planta Med.**, p. 836-838, 2 set. 2002.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; CIFRE, J.; MARIANO ESCALONA, J.; GALMES, J.; GULIAS, J.; LEFI, K. F.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS S.; TERESA-MORENO, M.; RIBASCARBO, M.; RIERA, D.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. **Annals of Applied Biology**, v. 144, n.3, p. 273–283. 2004.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced

by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **The New Phytologist**, v. 172, n. 1, p. 73–82. 2006.

FRAC (org.). **Publication of the FRAC Code List.**, 26 fev. 2018. Disponível em: <https://www.frac.info/home/news/2018/02/26/publication-of-the-frac-code-list-2018>. Acesso em: 17 jun. 2022.

FU, L.; XU, B.; XU, X. GAN, R.; ZHANG, Y.; XIA, E.; LI, H. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. **Food Chemistry**, v.129, p.345–350, 2011.

GARCIA, I. S.; SOUZA, A.; BARBEDO, C. J.; DIETRICH, S. M. C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L. Changes in soluble carbohydrates during storage of *Caesalpinia echinata* Lam. (Brazilwood) seeds, an endangered leguminous tree from the brazilian atlantic forest. **Brazilian Journal Biology**, v.66, n.2, p.739-745, 2006.

GIANNOPOLITIS C.N., RIES, S.K.. Purification and Quantitative Relationship with Water-Soluble Protein in Seedlings. **Plant Physiology**, v. 59, p. 315-318, 1977.

GOMES, M. M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; MACHADO, M. A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Braz. J. Plant Physiol.**, v. 16, p. 155-161, 20 nov. 2004.

GOREN, A. C.; PIOZZI, F.; ACKCICEK, E.; KILIÇ, T.; ÇARIKÇI, S.; MOZIOĞLU, E.; SETZER, W. N. Essential oil composition of twenty-two *Stachys* species (mountain tea) and their biological activities. **Phytochemistry Letters**, [S. l.], v. 4, n. 4, p. 448-453, 1 dez. 2011.

GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J. J. et al. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: SSSA, p. 329-370, 1991.

GYESI, J. N.; OPOKU, R.; BORQUAYE, L. S. Chemical Composition, Total Phenolic Content, and Antioxidant Activities of the Essential Oils of the Leaves and Fruit Pulp of *Annona muricata* L. (Soursop) from Ghana. **Hindawi - Biochemistry Research International**, v. 2019, p. 1 - 9, 2 set. 2019. DOI <https://doi.org/10.1155/2019/4164576>. Disponível em: <https://downloads.hindawi.com/journals/bri/2019/4164576.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

HEATH R.L., PACKER L.. Photoperoxidation in Isolated Chloroplasts I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, p. 189-198, 1968.

HELLER, J.; TUDZYNSKI, P. Reactive Oxygen Species in Phytopathogenic Fungi: Signaling, Development, and Disease. **Annual Review of Phytopathology**, p. 369-390, 1 set. 2011.

HOLOPAINEN, J.; GERSHENZON, J. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 176-184, 1 mar. 2010.

IRVING, H.; WILLIAMS, R. J. P. Order of Stability of Metal Complexes. **Nature**, [S. l.], v. 162, p. 746-747, 6 nov. 1948.

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. RELAÇÕES HÍDRICAS E FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DEPIMENTÃO AO LONGO DE UM DIA. **Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 11-19, 1 jun. 2005.

JAMWAL, K.; BHATTACHARYA, S.; PURI, S.. Plant growth regulator mediated consequences of secondary metabolites in medicinal plants. **Journal of applied research on medicinal and aromatic plants**, v. 9, p. 26-38, 2018.

JASSAL, K.; KAUSHAL, S.; RANI, R. R. Antifungal potential of guava (*Psidium guajava*) leaves essential oil, major compounds: beta-caryophyllene and caryophyllene oxide. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, [S. l.], v. 54, p. 2034-2050, 25 ago. 2021.

JOHNSON H.A., ORBELIES N.H., ALALI F.Q., MCLAUGHLIN J.L.. Thwarting resistance: annonaceous acetogenins as new pesticidal and antitumor agents. In: CUTLER S.J., CUTLER H. G.. (Eds.). **Biologically active natural products: pharmaceuticals**. Washington: CRC Press, 2000. pp.173-184.

KARIMI, P.; KHAVARI-NEJAD, R. A.; NIKNAM, V.; GHAREMANINEJAD, F.; NAJAFI, F.. The Effects of Excess Copper on Antioxidative Enzymes, Lipid Peroxidation, Proline, Chlorophyll, and Concentration of Mn, Fe, and Cu in *Astragalus neo-mobayenii*. **The Scientific World Journal**, [S. l.], v. 2012, p. 1-6, 14 out. 2012.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN-FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. 1997. v. 2. ISBN 85-318-0008-0.

KUMAR, M.; CHANGAN, S.; TOMAR, M.; PRAJAPATI, U.; SAURABH, V.; HASAN, M.; SASI, M.; MAHESHWARI, C.; SINGH, S.; DHUMAL, S.; THAKUR, M.; PUNIA, S.; SATANKAR, V.; AMAROWICZ, R.; MEKHEMAR, M. Custard Apple (*Annona squamosa*L.) Leaves: Nutritional Composition, Phytochemical Profile, and Health-Promoting Biological Activities. **Biomolecules**, [S. l.], v. 11, n. 5, 21 abr. 2021. 614, p. 1-22. DOI

<https://doi.org/10.3390/biom11050614>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/5/614>. Acesso em: 20 jun. 2022.

LAFMEJANI, Z. N.; JAFARI, A. A.; MORADI, P.; MOGHADAM, A. L. Impact of foliar application of copper sulphate and copper nanoparticles on some morpho-physiological traits and essential oil composition of peppermint (*Mentha piperita* L.). **Herba Polonica**, [S. l.], v. 64, n. 2, p. 13-24, 20 jun. 2018.

LAI, P.; RAO, H.; GAO, Y. Chemical Composition, Cytotoxic, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Essential oil from *Anthriscus caucalis* M. Bieb Grown in China. **Records of Natural Products**, [S. l.], v. 12, p. 290-294, 1 maio 2018.

LAJAYER, H. A.; SAVAGHEBI, G.; HADIAN, J.; HATAMI, M.; PEZHMANMEHR, M. Comparison of copper and zinc effects on growth, micro and macronutrients status and essential oil constituents in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). **Braz. J. Bot**, [S. l.], v. 40, p. 379–388, 30 dez. 2016.

LA TORRE, Anna; IOVINO, Valeria; CARADONIA, Federica. Copper in plant protection: current situation and prospects. *Phytopathologia Mediterranea*, [S.L.], v. 57, n. 2, p. 201-236, 17 set. 2018. **Phytopathologia Mediterranea**.
http://dx.doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-23407.

LAWSON, T.; KRAMER, D. M.; RAINES, C. A. Improving yield by exploiting mechanisms underlying natural variation of photosynthesis. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 2, p. 215-220, 2012.

LEBOEUF M., CAVÉ A., BHAUMIK P. K., MUKHERJEE B. M., MUKHERJEE R.. The Phytochemistry of the Annonaceae. **Phyto**. v. 21, n. 12, p. 2783-2813, 1982.

LEHMANN, S.; SERRANO, M.; L'HARIDON, F.; TJAMOS, S. E.; METRAUX, J.P. Reactive oxygen species and plant resistance to fungal pathogens. **Phytochemistry**, [S. l.], p. 54-62, 1 abr. 2015.

LEITE, A. M.; LIMA, E. O.; SOUZA, E. L.; DINIZ, M. F. F. M.; TRAJANO, V. N.; MEDEIROS, I. A. Inhibitory effect of β -pinene, α -pinene and eugenol on the growth of potential infectious endocarditis causing Gram-positive bacteria. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, [S. l.], v. 43, n. 1, p. 121-126, 2 mar. 2007.

LIANG, Y., CHEN, Q. I. N., LIU, Q., ZHANG, W., DING, R. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of plant physiology**, v. 160, n. 10, p. 1157-1164, 2003.

LIM, T. K.. **Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants**. Londres: Springer, 2012.

LIMA, J.A.S., MENEGUELLI N.A., FILHO A.B.G., PÉREZ D.V.. Agrupamento de espécies arbóreas de uma floresta tropical por características de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p. 109-116, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 2. Ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1998.

MCCALLAN, S. E. A. The nature of the fungicidal action of copper and sulfur. **Botanical Review**, ano 9, v. 15, p. 629-643, 1 nov. 1949.

MAZEPA, L. **Análise do perfil físico-químico, atividade antioxidante e atividades biológicas da espécie vegetal *Annona x atemoya* Mabb**. Orientador: Cláudia Carneiro Hecke Kruger. 2014. 117 p. Dissertação (Mestre em Segurança Alimentar e Nutricional) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MELO E. A.; MACIEL M. I. S.; LIMA V. L. G.; NASCIMENTO R. J. Capacidade antioxidante das frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, n. 2, p. 193-201, 2008.

MENEZES, I. A.; SANTOS, M. G. S.; COSTA, M. I. a.; RODRIGUES, M. A.; COSTA, R. R.; ALMEIDA, A. S.; SILVA, D. J.; CUNHA, A. L.; SANTOS, A. F. Fenóis totais e potencial antioxidante da espécie *Annona crassiflora* MART. **70ª Reunião Anual da SBPC**, [s. l.], p. 1 - 3, 2018.

MIOTTO, A.; CERETTA; C. A.; BRUNETTO, G.; NICOLOSO, F. T.; GIROTTO, E.; FARIAS, J. G.; TRENTIN, G.. Copper uptake, accumulation and physiological changes in adult grapevines in response to excess copper in soil. **Plant and Soil**, 374(1-2), 593–610, 2013.

MONTAG, J.; SCHREIBER, L.; SCHÖNHERR, J. An In Vitro Study of the Nature of Protective Activities of Copper Sulphate, Copper Hydroxide and Copper Oxide Against Conidia of *Venturia inaequalis*. **Journal of Phytopathology**, [S. l.], v. 154, n. 7-8, p. 474-481, 20 jul. 2006.

MORAIS, D. R.; ROTTA, E. M.; SARGI, S. C.; SCHMIDT, E. M.; BONAFEE, E. G.; EBERLIN, M. N.; SAWAYA, A. C. H. F.; VISENTAINER, J. V. Antioxidant activity,

phenolics and UPLC–ESI(–)–MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. **Food Research International**, [S. l.], v. 77, p. 392-399, 1 set. 2015.

MORRIS, D.L.. Quantitative determination os carbohydrates with Derwood's anthrone reagent. **Science**, Washington, v. 107, p.254-255, 1948.

MOURA, J.C.M. S.; BONINE, C. A. V.; VIANA, J. O. F.; DORNELAS, M. C.; MAZZAFERA, P. Abiotic and Biotic Stresses and Changes in the Lignin Content and Composition in Plants. **Journal of Integrative Plant Biology** , [S. l.], v. 52, n. 4, p. 360-376, 1 abr. 2010.

MUNNÉ-BOSCH, S.; OÑATE, M.; OLIVEIRA, P.G.; GARCIA, Q.S. Changes in phytohormones and oxidative stress markers in buried seeds of *Vellozia alata*. **Flora**, v.206, p704-711, 2011.

NJOKU, I. S.; ICHIDE, M. U.; RAHMAN, N. U.; KHAN, A. M.; OTUNOMO, I.; ASEKUN, O. T.; FAMILONI, O. B. Variation in the sesquiterpenoid composition of the volatile oils of *Annona muricata* Linn. from South-Western Nigeria, caused by different drying methods. **Journal of Chemical Society of Nigeria**, [S. l.], v. 46, n. 4, p. 0765–0771, 16 set. 2021. DOI <https://doi.org/10.46602/jcsn.v46i4.656>. Disponível em: <https://www.journals.chemsociety.org.ng/index.php/jcsn/article/view/656>. Acesso em: 16 jun. 2022.

PARREIRAS, N. S.. **Aplicação de cálcio em pré-colheita de atemoia ‘Thompson’: trocas gasosas, óleo essencial de folhas e características físico-químicas dos frutos**. 2017. 73 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Horticultura, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2017.

PARRY M. A. J.; MADGWICK P.J.; CARVAHLO J.F.C.; ANDRALOJC, P.J.. Prospects for increasing photosynthesis by overcoming the limitations of Rubisco. **Journal of Agricultural Science**, v. 145, p. 31–43. 2007.

PASSOS, L.P.. **Métodos Analíticos e Laboratoriais em Fisiologia Vegetal**. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1996. 44p.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHKE, S.; COSTA, M. R.; CRANE, J. H.; CORSATO, C. D. A.; MIZOBUTSI, E. H.. Anonáceas: pinha, atemoia e graviola. **Cultivo tropical de fruteiras**, [s. l.], v. 32, p. 1 - 9, 2011.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHKE, S.; JOSÉ, A. R. S.; LEMOS, E. E. P. de; MIZOBUTSI, E. H.; CORSATO, C. D. A. (org.). **Anonáceas: Pinha (*Annona squamosa* L.), Atemóia (*Annonasquamosa* L. x *Annona cherimola* Mill) e Graviola (*Annonamuricata* L.)**. In: TRAZILBO JOSÉ DE PAULA JÚNIOR (Minas Gerais). Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Livro 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. 2. ed. Belo Horizonte: Epamig, 2019. Cap. 14. p. 111-123.

PIMENTA L.P.S., PINTO G.B., TAKAHASHI J.A.S., BOAVENTURA M.A.D.. Biological screening of annonaceous brasilian medicinal plants using *Artemia salina* (Brine shrimp test.) Phytomedicine. **Internation Journal of Phytotherapy & Phytopharmacology**, v.4, n.2-3, p.209-209, 2003.

PLAXTON, W. C.; PODESTÁ, F. E. The Functional Organization and Control of Plant Respiration. **Critical Reviews in Plant Sciences**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 159–198, 1 jan. 2006.

PLOETZ, R. C. (comp.). Diseases of atemoya, cherimoya, soursop, sugar apple and related fruit crops. In: PLOETZ, R. C.. **Diseases of tropical fruit crops**. Flórida: Cabi Publishing, 2003. p. 21-34.

POPENOE, W.. **Manual of tropical and subtropical fruits: the annonaceous fruits: the cherimoya**. Nova Iorque: Hafner Press, 1974.

PREISS, J. (ed.). **The Biochemistry of Plants**. [S. l.]: Academic Press, 1988. ISBN 978-0-08-092615-5.

REIS, A. C.; FORCELINI, C. A.; REIS, E. M. **Manual de fungicidas: guia para o controle químico de doenças de plantas**. 5. ed. rev. e atual. 2007. 153 p. ISBN 978-85-7515-406-9.

RÍOS, M. Y.; CASTREJÓN, F.; ROBLEDO, N.; LEÓN, I.; ROJAS, G.; NAVARRO, V. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oils from *Annona cherimola* (Annonaceae). **Revista de la Sociedad Química de México**, [S. l.], v. 47, n. 2, p. 139-142, 23 maio 2003.

RUNYORO, D.; NGASSAPA, O.; VAGIONAS, K.; ALIGIANNIS, N.; GRAIKOU, K.; CHINOU, I. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of four *Ocimum* species growing in Tanzania. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 1, n. 119, p. 311-316, 1 mar. 2010.

SANTOS W. N. L., SAUTHIER M. C. S., CAVALCANTE D. D., BENEVIDES C. M. J., DIAS F. S., SANTOS D. C. M. B.. Mineral composition, nutritional properties, total phenolics

and flavonoids compounds of the atemoya fruit (*Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill.) and evaluation using multivariate analysis techniques. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], p. 1243-1252, 27 maio 2016.

SCHNEIDER, M.; KEIBLINGER, K. M.; PAUMANN, M.; SOJA, G.; MENTLER, A.; GOLESTANI-FARD, A.; RETZMANN, A.; PROHASKA, T.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; WENZEL, W.; ZEHETNER, F. Fungicide application increased copper-bioavailability and impaired nitrogen fixation through reduced root nodule formation on alfalfa. **Ecotoxicology**, v. 28, p. 599-911, 28 maio 2019.

SELMAR, D.; KLEINWÄCHTER, M. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. **Industrial Crops and Products**, v. 42, n. 1, p. 558–566, 2013.

SILVA, J. G.; SILVA, L. P.; SOUZA, J. R.; CASTRO, C. S. P. Interação entre a enzima catalase e os íons Cu(II): sítios de ligação, estequiometria, kd e e 0' por cv, dpv e ferramentas teórica. **Sociedade Brasileira de Química**, [S. l.], p. 1, 1 jan. 2008.

SILVA, L.; ONIKI, G. H.; AGRIPINO, D. G.; MORENO, P. R. H.; YOUNG, M. C. M.; MAYWORM, M. A. S.; LADEIRA, A. M. **Biciclogermacreno, resveratrol e atividade antifúngica em extratos de folhas de Cissus verticillata (L.) Nicolson & Jarvis (Vitaceae)**. Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 17, n. 3, p. 361-367, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbfar/v17n3/09.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SILVA, F. D. A.; VASCONCELOS, I. M.; SARAIVA, K. D. C.; COSTA, J. H.; FERNANDES, C. F.; OLIVEIRA, J. T. A. The expression of the genes involved in redox metabolism and hydrogen peroxide balance is associated with the resistance of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] to the hemibiotrophic fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. **Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 233, p. 73-83, 2 jan. 2019.

SINGLETON V.L., ROSSI J.A.. Colorimetry of Total Phenolics with Phospho-molybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **Am J Enol Vitic** v. 16, p. 144-158, 1965.

SIQUEIRA, C. A. T.; OLIANI, J.; SARTORATTO, A.; QUEIROGA, C. L.; MORENO, P. R. H.; REIMÃO, J. Q.; TEMPONE, A. G.; FISCHER, D. C. H. Chemical constituents of the volatile oil from leaves of *Annona coriacea* and in vitro antiprotozoal activity. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Brasil, v. 21, p. 33 - 40, 24 jan. 2011. DOI 10.1590/S0102-695X2011005000004. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbfar/a/tKQGFqpn6THSrZjL4WhWgF/?format=pdf&lang=en>.

Acesso em: 16 jun. 2022.

SOUZA, T. J. T.; ZANETTI, G. D.; APEL, M. A.; HENRIQUES, A. T.; MANFRON, M. P. Characterization of seasonal and chemotypical variability in the essential oil from leaves of *Annona neosalicifolia* H. Rainer (Annonaceae). **NVEO – Natural Volatiles & Essential Oils**, v. 8, n. 3, p. 81 - 91, 13 set. 2021. DOI 10.37929/nveo.946559. Disponível em: <https://www.nveo.org/index.php/journal/issue/view/28>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SPERRY, J. S. Hydraulic constraints on plants gas Exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 13-23, 2000.

SUDO, E.; ITOUGA, M.; YOSHIDA-HATANAKA, K.; ONO, Y.; SAKAKIBARA, H. Gene expression and sensitivity in response to copper stress in rice leaves. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], p. 3465–3474, 1 ago. 2008.

TAVARES, S. C. C. H.; COSTA, V. S. O; SANTOS, V. F. C. **Instruções Técnicas da Embrapa Semi-Árido**. 65. ed. Petrolina: [s. n.], 2005. 4 p. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/INT65ID-3pc5eFUSGX.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2020.

TEISSEIRE, H., GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant science**, v. 153, n.1, p. 65–72, 2000.

UGARTONDO, V.; MITJANS, M.; VINARDELL, M. P. Applicability of lignins from different sources as antioxidants based on the protective effects on lipid peroxidation induced by oxygen radicals. **Industrial Crops and Products**, v. 30, n. 2, p. 184-187, 2009. DOI: 10.1016/j.indcrop.2009.03.001.

VALAREZO, E.; LUDEÑA, J.; ECHEVERRIA-CORONE, E.; CARTUCHE, L.; MENESES, M. A.; CALVA, J.; MOROCHO, V. Enantiomeric Composition, Antioxidant Capacity and Anticholinesterase Activity of Essential Oil from Leaves of Chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). **Plants**, [S. l.], v. 11, n. 367, p. 1-13, 28 jan. 2022.

VANDENDOOL, H.; KRATZ, P. D. Generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of chromatography**, v. 11, n. 3, p. 463–71, 1963.

VENCESLAU, A. F. A.; MENDONÇA, A. C.; BENEDICK, L. A. Z.; THOMASI, S. S.; NUNES, C. A.; PINTO, L. M. A. Analysis of the chemical constituents of Thompson atemoya seed oil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 6, p. 1-23, 8 set. 2021.

VERMA, S.; DUBEY, R. S. Lead Toxicity Induces Lipid Peroxidation and Alters the Activities of Antioxidant Enzymes in Senescing Soybean Leaves. **Plant Science**, v. 164, p. 453-461, 8 jan. 2003.

VIEIRA, G. H. M. **Tratamentos físicos em pós-colheita de atemoia 'Thompson'**. Orientador: Rogério Lopes Vieites. 2018. 153 p. Tese (Doutor em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2018.

VINUTHA, M.; SUCHETHA, M.; SAWASWATHI, K. J. T. Effect of different abiotic stress on essential oil yield from aerial part of *Cymbopogon flexuosus* (nees ex steud) Wats. **International Journal of Advanced Research**, [S. l.], p. 1490-1504, 1 dez. 2016.

WALDRON, K. J.; RUTHERFORD, J. C.; FORD, D.; ROBINSON, N. J. Metalloproteins and metal sensing. **Nature**, v. 460, p. 823-30, 13 ago. 2009.

WANG, Y. F.; OWEN, S. M.; LI, Q. J.; PEÑUELAS, J. Monoterpene emissions from rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in a changing landscape and climate: chemical speciation and environmental control. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 13, p. 2270-2282, 12 jun. 2007.

WALDRON, K. J.; RUTHERFORD, J. C.; FORD, D.; ROBINSON, N. J. Metalloproteins and metal sensing. **NATURE**, [S. l.], v. 460, p. 823-830, 13 ago. 2009.

WATANABE, H. S.; OLIVEIRA, S. L.; CAMARA, F. M.; ALMEIDA, G. V. B.; ALVES, A. A.. Perfil de comercialização das Anonáceas nas Ceasas brasileiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.1, p. 65-70. 2014.

WEIGEL, M.; VAROTTO, C.; PESARESI, P.; FINAZZI, G.; RAPPAPORT, F.; SALAMINI, F.; LEISTER, D. Plastocyanin is indispensable for photosynthetic electron flow in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Biological Chemistry**, v. 278, p. 31286-31289, 15 ago. 2003.

WU, Z.; LIUA, S.; ZHAOA, J.; WANGA, F.; DUA, Y.; ZOUA, S.; LIA, H.; WENA, D.; HUANGA, Y. Comparative responses to silicon and selenium in relation to antioxidant enzyme system and the glutathione-ascorbate cycle in flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis*) under cadmium stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 133, p. 1-11, 2017.

XU, H.; WANG, G.; ZHANG, J.; ZHANG, M.; FU, M.; XIANG, K.; ZHANG, M.; CHEN, X.
Identification of phenolic compounds and active antifungal ingredients of walnut in response
to anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). **Postharvest Biology and Technology**, p. 1-
11, 27 jun. 2022.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone.
Biochemical Journal. v. 57, p. 508-514, 1954.

YOLANDA RÍOS M., CASTREJÓN F., ROBLEDO N., LEÓN I., ROJAS G., NAVARRO V..
Chemical Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oils from *Annona*
cherimola (Annonaceae). **Revista de la Sociedad Química de México**, v. 47, n. 2, p. 139-142,
2003.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant**
Biology, v. 36, p. 409-430, 2009.

ZHU, X.-G.; SONG, Q.; ORT, D. R.. Elements of a dynamic systems model of canopy
photosynthesis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 15, n. 3, p. 237-244, 2012.

CAPÍTULO 2

HIDRÓXIDO DE COBRE AUMENTA SACAROSE, TREALOSE E VIDA DE PRATELEIRA EM ANNONA X ATEMOYA MABB.

RESUMO

A atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.), pertencente a família Annonaceae, apresenta consumo crescente devido às características organolépticas e nutricionais. Seu fruto é climatérico e dependendo das condições de armazenamento, pode apresentar curta vida pós-colheita. Seu valor comercial é baseado em atributos de qualidade, como a homogeneidade visual de tamanho e ausência de defeito de casca. A antracnose, fungo do gênero *Colletotrichum*, é uma das principais doenças na cultura provocando, quando não controlada, desfolha prematura da planta, frutos escuros e mumificados. O ataque do patógeno pode estressar as plantas, aumentando a concentração de radicais livres que causam danos ao metabolismo. A aplicação de produtos fitossanitários é prática comum entre agricultores como métodos preventivo e de controle. Compostos a base de cobre compõem fungicidas pois atuam na inibição enzimática, resultando na morte do patógeno. Na planta, o micronutriente pode influenciar a síntese de lignina, auxiliando na proteção por meio de espessamento de parede celular e da atividade da catalase, reduzindo H_2O_2 a O_2 . Como resposta ao estresse, vegetais podem acumular açúcares em folhas e frutos. Diante do exposto, o presente estudo objetivou investigar os efeitos da aplicação de $Cu(OH)_2$ em plantas de atemoia cv. Thompson na qualidade pós-colheita dos frutos. O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições e uma planta por parcela. O estudo avaliou aplicações foliares quinzenais de hidróxido de cobre e/ou água e adjuvante, em diferentes concentrações e número de aplicações. As maiores frequências de aplicação com menores concentrações de fungicidas contendo $Cu(OH)_2$ controlaram o escurecimento da casca de frutos de atemoia, aumentaram os açúcares trealose e sacarose e a vida de prateleira.

Palavras-Chave: carboidratos, escurecimento de casca, fungicida cúprico, índice de maturação

ABSTRACT

Atemoya (*Annona x atemoya* Mabb.), belonging to Annonaceae family, is increasingly consumed due to its organoleptic and nutritional characteristics. The fruit is climacteric and designed for storage conditions, it may have a short post-harvest life. The commercial value is based on quality attributes such as visual homogeneity of size and absence of cascading defects. Anthracnose, a fungus of the genus *Colletotrichum*, is one of the main diseases in fruit farm that, when uncontrolled, cause premature plant defoliation, dark and mummified fruits. The pathogen's attack can stress plants, increasing the concentration of radicals that damage metabolism. The application of phytosanitary products is a common practice between preventive and control methods. Copper based fungicidal compounds in the concentration of pathogens, resulting pathogen's death. In the plant, the micronutrient can influence lignin synthesis, helping to protect the medium from wall thickening and catalase activity, including H_2O_2 and O_2 . In response to stress, vegetables can accumulate sugars in leaves and fruits. Given the above, the present study aims to investigate the effects of the application of $Cu(OH)_2$ in atemoya plants cv. Thompson on the post-harvest quality of the fruits. The experiment was programmed in a block experimental design with four and one plant per plot. The study aimed to observe foliar applications of copper hydroxide and/or water and adjuvant, in different amounts and number of applications. Higher application frequencies with lower amounts of fungicides containing $Cu(OH)_2$ controlled the browning of atemoya fruit peel, increasing sucrose sugars and shelf life.

Keywords: carbohydrates, husk browning, cupric fungicide, maturation index

1. INTRODUÇÃO

A atemoia é o resultado do cruzamento da fruta do conde ou ata ou pinha (*A. squamosa* L.), espécie doadora de pólen, e cherimóia (*A. cherimola* Mill.), espécie receptora. O nome popular, atemoia, é constituído do prefixo “ata” de um dos nomes populares da *Annona squamosa* e sufixo “moia”, provindo do nome popular da *Annona cherimola* (SANEWSKI, 1991; PARREIRAS, 2017). O consumo do fruto é crescente desde 2012 (WATANABE et al., 2014) devido à sua ampla utilização, propriedades nutricionais, benefícios à saúde (JUDD et al., 2002; SCALOPPI JUNIOR; MARTINS, 2003; TOKUNAGA, 2005; SILVA et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2011; JÚNIOR, 2012; QUÍLEZ et al., 2018; BHAVANI et al., 2021) e adaptabilidade às exigências do consumidor, como, por exemplo, o menor número de sementes, tamanho e doçura de polpa comparada à fruta do conde (MOSCA; LIMA, 2003).

Dentro do gênero *Annona*, atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.), naturalmente originária da Austrália em 1850 e artificialmente dos Estados Unidos da América em 1907 (LIM, 2012), apresenta interesse e consumo mundial crescentes (CHATROU et al., 2012; WATANABE et al., 2014; PEREIRA et al., 2019). Pereira et al. (2011) referiram a cultivar Thompson como uma das mais produzidas no Brasil. Em termos nutricionais, Santos et al. (2016), referem para fruto de atemoia 137,87 calorias, 22.39 ± 1.68 mg 100g^{-1} de vitamina C, $32.50 \pm 0.03^\circ$ Brix de sólidos solúveis, pH de 4,6, 346.03 ± 2.32 mg 100g^{-1} de compostos fenólicos, 11.56 ± 1.36 mg 100g^{-1} de flavonoides e, concentrações, em $\mu\text{g g}^{-1}$, iguais a 0,97 Al, 0,03 Ba, 4,19 Ca, 0,56 Co, 0,61 Cr, 0,09 Cu, 0,15 Fe, 3,73 K, 1,36 Mg, 0,13 Mn, 2,70 Na, 0,05 Ni, 3,43 P e 0,45 Zn.

Além de sua composição físico-química, atemoias são caracterizadas como árvores de porte pequeno com altura entre cinco e 11 m, elevado desenvolvimento vegetativo e plantas que requerem manejo de poda para produção ideal (PEREIRA et al., 2011; CHATROU et al., 2012; PEREIRA et al., 2019).

A atemoia é um fruto climatérico que pode apresentar curta vida pós-colheita dependendo das condições de armazenamento (OLIVEIRA, 2014; LUNDGREN, 2017). Devido à alta perecibilidade são necessários cuidados durante toda a cadeia produtiva (TORRES, 2008; SANTOS, 2009). O aumento da atividade respiratória após a colheita resulta em perda de firmeza na polpa, o que compromete a qualidade e aparência (ALVES et al., 1997).

Pomares de atemoia são comumente atacados por antracnose ou podridão negra dos frutos, patógeno do gênero *Colletotrichum* que afeta o seu desenvolvimento e produtividade, além de depreciar o fruto pelo surgimento de manchas escuras nas cascas (PLOETZ, 2003; PEREIRA et al., 2019). A doença apresenta maior incidência em clima com elevada umidade

relativa, chegando a provocar 53 a 70 % de perda de frutos quando ocorrem chuvas prolongadas durante a floração e formação de frutos (JUNQUEIRA; JUNQUEIRA, 2014).

Segundo Watanabe et al. (2014), o valor comercial da atemoia ocorre com base em atributos de qualidade, como a homogeneidade visual de tamanho e ausência de defeito de casca. O tamanho é caracterizado pela massa média dos frutos na caixa, com tolerância de variação máxima de 10% entre as menores e maiores massas na caixa (CQH, 2013). Além da atenção ao tamanho, de acordo com a cartilha de anonáceas de São Paulo, manchas na casca do fruto são consideradas defeito grave caindo automaticamente para um nível abaixo do extra, ou seja, para a categoria I com até 3% de defeito no lote (caixa), ou II quando o defeito ocorre acima de 3% (CQH, 2013). As categorias I e II apresentam valor de mercado inferior e proporcional aos defeitos encontrados. Entretanto, até o presente momento, não há metodologia para determinação da severidade de mancha na casca em frutos que estão aptos para consumo.

Para garantir a produção de frutos sem sinais de doenças e, portanto, com elevados padrão e valor agregado, o agricultor tende a utilizar produtos fitossanitários como manejo de controle. Atualmente, de acordo com o Agrolink (2022), existem 11 produtos comerciais (fungicidas) registrados para anonáceas. Entre eles, quatro produtos estão registrados para a doença antracnose com ingredientes ativos como Piraclostrobina, Fluxapiraxade, Difenconazol e Hidróxido de Cobre. No Brasil, o cobre está presente como ingrediente ativo em fungicidas registrados para a cultura de anonáceas (AGROLINK, 2022).

O cobre é um micronutriente essencial presente no ecossistema, encontrado em diferentes quantidades em solos agrícolas (LA TORRE et al, 2018) e em insumos agrícolas como nos produtos fitossanitários (MANTOVI, 2003). A utilização do micronutriente na fitossanidade iniciou em 1880 com Pierre-Marie-Alexis Millardet, formulador da mistura Bordeaux, composta de cal e cobre, amplamente utilizada até os dias atuais (MCBRIDE et al., 1981; BORKOW; GABBAY, 2005).

Segundo La Torre et al. (2018), o espectro de atividade dos compostos de cobre envolve diversos microrganismos fitopatogênicos, tornando o metal principal componente na formulação de fungicidas e bactericidas para o mundo, o que traz preocupação e necessidade de conscientização da poluição por este nutriente (DUCIC; POLLE, 2005). O micronutriente é considerado metal pesado por apresentar densidade acima de 5 g cm^{-3} (DUCIC; POLLE, 2005) e muitas aplicações foliares de produtos de contato contendo o íon podem contaminar o solo, por resultar em elevada concentração.

Os fungicidas cúpricos, por exemplo $\text{Cu}(\text{OH})_2$, possuem solubilidade baixa, ficando adsorvidos na superfície de folhas e com a ação de exsudatos secretados, como malato, reagem, permitindo sua absorção por fungos e plantas (MCCALLAN, 1949). A ação direta deste composto no patógeno ocorre devido a necessidade de baixa quantidade de cobre para suas funções fisiológicas que, quando em excesso, inibem enzimas importantes para sua sobrevivência (GRAHAM; WEBB, 1991).

Em condições fisiológicas o cobre existe como Cu^{2+} e Cu^+ (YRUELA, 2009) e na presença de água ou outro fator abiótico que facilite seu contato com o microorganismo, como oomicetos, fungos e bactérias, ocorre a entrada do cobre no citoplasma devido à dissolução dos íons, sendo, portanto, necessário o contato com a superfície do microorganismo para a prevenção da doença (LATORRE et al., 2018). Os íons de cobre permanecem na superfície da planta podendo entrar no citoplasma de fungos e bactérias (LA TORRE et al., 2018), inibindo enzimas não dependentes do grupo sulfidrilico, como catalase, sacarase, arginase e beta-glucosidase e ao inativá-las, levam a desordem geral do metabolismo e ruptura da integridade celular (REIS et al., 2010; KIMATI, 2011). Devido aos íons de cobre atuarem de forma não específica à nível da membrana celular, dificilmente ocorrerá resistência patogênica ao nutriente, havendo desnaturação de proteínas estruturais e enzimáticas com alteração da permeabilidade seletiva (LATORRE et al., 2018).

Apesar de seus benefícios na prevenção e controle de doenças, o micronutriente é muitas vezes utilizado de modo inadequado na agricultura convencional e orgânica, esta última apresentando muitas vezes índices elevados de cobre no solo (BENI; ROSSI, 2009), onde o elemento está presente em diferentes formas (iônica, complexada e precipitada) de acordo com textura, pH e matéria orgânica (LATORRE et al., 2018). A variação desses fatores resulta na modulação de disponibilidade de cobre e possível deficiência ou toxicidade em vegetais (FLEMMING; TREVORS, 1989).

Na planta, o cobre atua como elemento estrutural em algumas metaloproteínas que estão envolvidas com transporte de elétrons (plastocianina) em cloroplastos e mitocôndrias, assim como na resposta ao estresse oxidativo (YRUELA, 2009) e, sua elevada reatividade em células vegetais exige atuação de proteínas especializadas (chaperonas) que previnem a interação do cobre com outros componentes celulares (YRUELA, 2005).

Durante a maturação de frutos na planta, há o desenvolvimento de sementes, síntese proteica, modificação da permeabilidade das membranas celulares e alteração na pigmentação (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O amadurecimento de frutos climatéricos está relacionado

com processos fisiológicos que alteram suas características organolépticas (HULME, 1971), além de apresentar elevada taxa respiratória e produção de etileno (AMARANTE et al., 2008). De acordo com Kays e Wilson (1977) a respiração de frutos climatéricos está atrelada a reações de oxirredução, em que oxigênio é absorvido da atmosfera e reage com a glicose para formação de água e CO₂. A mobilização dos carboidratos de reserva na forma de amido, ácidos orgânicos ou na própria forma de sacarose translocados da planta para o fruto, leva ao acúmulo de açúcares e é um dos principais eventos bioquímicos que ocorre durante esta fase (SEYMOUR, 1996; SEYMOUR et al., 2013). A degradação do amido ocorre através de um complexo mecanismo enzimático, onde as enzimas envolvidas podem coexistir em múltiplas formas e estar localizadas fora do plastídeo, o que dificulta o estabelecimento da via metabólica predominante (STEUP, 1988). As amilases, as fosforilases e as glicosidasas atuam no amido, produzindo uma mistura de oligossacarídeos, dissacarídeos e monossacarídeos.

Os compostos fenólicos atuam na qualidade organoléptica e nutricional dos vegetais, presentes na fisiologia e bioquímica dos frutos. Crescimento, escurecimento por ação enzimática, proteção a patógenos, proteção contra radiação ultravioleta e outras condições, levam a planta ao estresse e interferem na pós-colheita (TUCK; HAYBALL, 2002). Radicais livres em elevadas concentrações podem gerar estresse oxidativo no metabolismo dos frutos e a ação dos antioxidantes pode inibir sua oxidação (OETTERER; 2006), protegendo as células contra os efeitos danosos dos radicais livres oxigenados e nitrogenados formados nos processos oxidativos que podem levar ao escurecimento enzimático dos frutos (SOARES et al., 2005; GAVA, 2009).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou investigar os efeitos da aplicação de Cu(OH)₂ em plantas de atemoia cv. Thompson na qualidade pós-colheita dos frutos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

2.3 Variáveis avaliadas

Aos 175 dias após a primeira aplicação dos tratamentos com hidróxido de cobre (DAPA) foram coletados cinco frutos de atemoia no ponto de colheita de cada repetição, totalizando 100 frutos. As avaliações ocorreram no Laboratório de Crescimento do setor de Biologia Vegetal, do Instituto de Biociências/Unesp, Câmpus de Botucatu.

2.3.1 Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica em frutos

Para paralisar todas as reações, frutos foram macerados com nitrogênio líquido em cadinho e armazenadas em tubos falcon para avaliação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica.

Determinou-se o conteúdo de H_2O_2 com extração em ácido tricloroacético (TCA) e leitura a 390 nm, conforme Alexieva et al. (2001) e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ g}^{-1}$ matéria fresca.

A peroxidação lipídica foi realizada de acordo com Teisseiree, Guy (2000), utilizando-se ácido tiobarbitúrico (TBA) e ácido tricloroacético (TCA) e leitura a 560 e 600 nm. Os resultados foram expressos em $\text{nmol malondialdeído g}^{-1}$ matéria fresca.

2.3.2 Carboidratos

Para paralisar todas as reações, frutos foram macerados com nitrogênio líquido em cadinho e armazenadas em tubos falcon.

Açúcares solúveis totais de 100 mg de frutos moídos foram extraídos com etanol 80% e sobrenadantes resultantes de três extrações (GARCIA et al., 2006). Para quantificação total, o perfil dos açúcares solúveis foi determinado por cromatografia iônica de alta eficiência (Dionex ICS-5000⁺). As 20 amostras de açúcares solúveis e os padrões foram filtrados em filtro de 0,22 μm e analisados em sistema de cromatografia, equipado com bomba quaternária, amostrador automático, detector eletroquímico DCS-5000 (Thermo[®]), coluna P-100 (Carbopack[®]), eletrodo de trabalho de ouro e o de referência Ag/AgCl. As fases eluentes A, B e C foram, respectivamente, hidróxido de sódio 640 mM, acetato de sódio 0,5M e água ultrapura, com vazão de 0,7 mL/min por 35 minutos. Não foram feitas repetições nas injeções das amostras.

A identificação dos açúcares solúveis foi realizada pela comparação do tempo de retenção do pico das 20 amostras com o tempo de retenção das misturas de padrões (trealose, manose, arabinose, glicose, frutose e sacarose; Sigma Aldrich grau HPLC, 99,9% de pureza) e com a co-injeção da solução dos padrões com a amostra. Utilizou-se curva de calibração para quantificar os açúcares com sete pontos cujas diluições foram 0.01, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1 e 2 ppm (Tabela 3). A curva para manose não apresentou dados detectáveis nas concentrações de 0.01 e 0.1 ppm e foi excluída da equação. A seguir, as áreas dos picos foram plotadas contra as concentrações de cada padrão.

As equações (Tabela 3) foram utilizadas para quantificação dos açúcares em frutos, expressos em mg g⁻¹ massa fresca de fruto.

Tabela 3: Equações para cálculo da concentração de açúcar de frutos de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson

Substâncias	Equação	Valor de R ²
Arabinose	$y = 0,814x - 0,0036$	1
Frutose	$y = 0,0765x + 0,0033$	1
Glicose	$y = 0,6074x + 0,0001$	1
Manose	$y = 0,0541x + 0,0094$	1
Sacarose	$y = 0,9305x + 0,1282$	1
Trealose	$y = 0,3909x - 0,0000007$	1

2.3.3 Compostos fenólicos

A quantificação de fenóis totais foi realizada de acordo com metodologia proposta por Singleton, Rossi (1965). Para tanto, foram pesados 100 mg de material fresco congelado e moído com nitrogênio líquido, adicionando-se 5 mL de acetona 50% e, em tubos falcon, as amostras foram colocadas em banho de ultrassom por 20 minutos. A seguir, as amostras foram centrifugadas a 5.000 rpm por 10 minutos em centrífuga marca ExceLSA[®] modelo 206 MP e o sobrenadante foi armazenado. Ao material centrifugado restante foram adicionados 5 mL de acetona 50% com nova centrifugação das amostras por 20 minutos. O segundo sobrenadante foi armazenado junto com o primeiro para realização da seguinte reação. Em tubos falcon foram adicionados 0,1 mL de sobrenadante, 0,9 mL de H₂O deionizada, 0,5 mL de Folin[®] diluído na proporção 1:10 em água deionizada, 2,5 mL de Na₂CO₃ a 20% (20g de carbonato para 100 mL de H₂O). Os tubos foram agitados e após uma hora de reação protegida da luz, as amostras foram lidas em espectrofotômetro, em 725 nm. Os resultados foram expressos em mg ácido gálico g⁻¹ matéria fresca.

2.3.4 Qualidade dos frutos

Após colheita os frutos foram mantidos por 15 dias em temperatura ambiente e avaliações destrutivas foram realizadas a cada três dias.

A qualidade dos frutos foi determinada pelas seguintes variáveis:

Massa fresca dos frutos (g), obtida em balança de precisão (0,0001 g). O diâmetro longitudinal e equatorial dos frutos (cm) foi avaliado com paquímetro digital.

Sólidos solúveis (°Brix) foram determinados por meio de leitura do índice refratométrico de três gotas de extrato do fruto, utilizando-se refratômetro digital tipo Pallette PR – 32, com compensação de temperatura automática (AOAC, 2005).

A acidez titulável foi determinada de acordo com AOAC (1995), utilizando 5 g de extrato do fruto diluído em 50 mL de água deionizada, titulada com solução padrão de NaOH 0,1 M, tendo como indicador fenolftaleína. O resultado foi expresso em gramas de ácido cítrico por 100 g massa fresca⁻¹.

O índice de maturação foi determinado pela relação entre sólidos solúveis e acidez titulável.

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado em frutos com pHmetro, segundo técnica AOAC (1992).

O escurecimento da casca dos frutos foi determinado conforme escala para *Annona x atemoya* Mabb. desenvolvida por Baten (1990). Atribuiu-se notas entre 1 e 5, sendo: 1 - muito ruim, casca > 70% escurecida, 2 ≤70%; 3 =50%; 4 ≤25%; 5 = muito bom, casca sem escurecimento. Notas < 3 indicam frutos impróprios para comercialização.

2.4 Análise estatística

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica em frutos

Frutos de atemoia pulverizados com diferentes concentrações de Cu(OH)₂, aos 175 DAPA, apresentaram maior concentração de peróxido de hidrogênio em relação ao tratamento 1 (controle) (Tabela 4). Nos tratamentos 2 e 4, os frutos revelaram maior peroxidação lipídica em relação aos demais tratamentos (Tabela 5) com maior acúmulo de malondialdeído (MDA), processo bem estudado, que reflete o grau de dano celular por radicais livres (LIANG et al., 2003).

Em condições de estresse, carboidratos, como trealose e sacarose, podem ser acumulados devido ação oxidativa (FOTOPOULOS, 2005; EVELAND; JACKSON, 2012; LUNN et al., 2014). Maior concentração de peróxido de hidrogênio pode ter induzido acúmulo de trealose, glicose e frutose em frutos dos tratamentos 2, 4 (Tabelas 4 e 6). O acúmulo de sacarose em frutos do tratamento 5 pode estar relacionado a inibição da enzima sacarase (invertase ácida) pela maior frequência de aplicação de cobre, resultados que concordam com as observações realizadas para raízes de *Elsholtzia haichowensis* em que o aumento de cobre inibiu a enzima invertase (MIN-JING et al., 2016). Os autores ainda observaram maiores atividades das enzimas sacarose fosfato-sintase e sacarose sintase e acúmulo de sacarose nas folhas. Dessa forma, sugere-se maior doçura de frutos nessas condições, o que já foi relatado por produtor de atemoia com aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ nas mesmas condições do tratamento 5.

O cobre em forma de Cu^{2+} pode inibir a catalase, resultando em alta concentração de H_2O_2 em tecido de plantas (SILVA et al., 2008). A concentração de H_2O_2 altera a estratégia de infecção de *C. gloeosporioides* (ELOY et al., 2015). Ao inibir a catalase, o cobre pode ter auxiliado na concentração de peróxido de hidrogênio, promovendo estresse a planta e desnaturando a parede celular do fungo.

Tabela 4: Peróxido de hidrogênio (H_2O_2), em $\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca, em frutos de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson aos 175 dias após a primeira aplicação (DAPA). Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	175 DAPA
	H_2O_2
T1	0,09±0,001 d
T2	0,13±0,002 a
T3	0,10±0,001 c
T4	0,11±0,003 b
T5	0,11±0,001 ab
F	44,36**

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – 13 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

Tabela 5: Peroxidação lipídica (MDA), em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa fresca, em frutos de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson aos 175 dias após a primeira aplicação (DAPA). Valores médios. Botucatu, SP, 2021

175 DAPA	
Tratamento	MDA
T1	127,32±1,158 b
T2	180,89±3,817 a
T3	127,82±2,627 b
T4	183,62±4,667 a
T5	132,48±3,990 b
F	70,66**

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

3.2 Carboidratos

Açúcares redutores, como glicose, são carboidratos de baixo peso molecular com carbono livre, capazes de se oxidar na presença de agentes oxidantes em solução alcalina (SANTOS et al, 2007). A concentração desses carboidratos varia em relação a espécie estudada, estágio de maturação dos frutos e fatores abióticos do pomar (MASSA et al., 2014; CUNHA; MENDES COSTA, 2022). No presente estudo os carboidratos foram quantificados nos frutos imaturos, logo após a colheita.

Frutos de atemoia do tratamento 4 revelaram maior concentração de trealose em relação aos dos tratamentos 1, 3 e 5 (Tabela 6). Trealose (açúcar dissacarídeo, não redutor) pode manter a qualidade de frutos ao modular o metabolismo de açúcares solúveis liberando duas moléculas de glicose para suprir a demanda de energia (VILLANUEVA et al., 2019; VICHAIYA et al., 2022). No entanto, seus níveis endógenos são tipicamente baixos e insuficientes para proteger plantas estressadas (FENG et al., 2019). A aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ realizada no tratamento 4 pode ter contribuído para o aumento de trealose em frutos, auxiliando sua qualidade. O açúcar em frutos pode aumentar os sólidos solúveis, firmeza da casca, catalase e inibir a atividade da glicose fosfato isomerase e citocromo oxidase (APALIYA et al., 2017; LI et al., 2022), o que pode explicar o aumento de vida de prateleira observado nos frutos do tratamento 4 (Tabela 14).

Frutos de atemoia do tratamento 4 revelaram maior concentração de glicose e frutose em relação ao tratamento 1 (controle) (Tabela 6), indicando maior ação de enzimas invertases para hidrolisar sacarose (WINTER; HUBER, 2000). Frutos do tratamento 5 apresentaram concentração de sacarose bem superior aos demais frutos. A alteração da distribuição de

assimilados resulta em mudanças no desenvolvimento de frutos e, a sacarose, principal carboidrato transportado da planta para os frutos, pode atuar na sinalização e metabolismo dos açúcares (BRUTON et al., 1998), apresentando papel crucial na manutenção da qualidade dos frutos carnosos (LI et al. 2018).

Arabinose em frutos de atemoia não apresentou diferença entre tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6: Carboidratos, em mg g^{-1} massa seca⁻¹, em frutos de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson aos 175 dias após a primeira aplicação (DAPA). Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	175 DAPA					
	Trealose	Arabinose	Manose	Glicose	Frutose	Sacarose
T1	0,000261±3,47×10 ⁻⁶ b	0,000674±2,21×10 ⁻⁴	0,9195±2,28×10 ⁻² ab	0,08133±2,03×10 ⁻³ b	0,2135±4,31×10 ⁻³ b	0,0019±1,55×10 ⁻⁴ b
T2	0,000299±1,89×10 ⁻⁵ ab	0,000233±7,43×10 ⁻⁵	0,7688±7,30×10 ⁻³ c	0,0950±2,09×10 ⁻³ ab	0,2385±4,50×10 ⁻³ b	0,0013±3,99×10 ⁻⁴ b
T3	0,000263±2,57×10 ⁻⁵ b	0,000799±1,05×10 ⁻⁴	0,9498±1,64×10 ⁻² a	0,08732±4,18×10 ⁻³ ab	0,2482±3,07×10 ⁻² ab	0,008±1,47×10 ⁻⁴ b
T4	0,000398±2,78×10 ⁻⁵ a	0,000963±3,22×10 ⁻⁴	0,7851±3,11×10 ⁻² c	0,1188±1,03×10 ⁻² a	0,3112±2,99×10 ⁻² a	0,008±1,18×10 ⁻⁴ b
T5	0,0002±1,33×10 ⁻⁵ b	0,001172±2,57×10 ⁻⁴	0,8102±1,16×10 ⁻² bc	0,0978±1,17×10 ⁻² ab	0,2104±1,57×10 ⁻² b	0,0282±1,60×10 ⁻² a
F	13,37**	2,64^{NS}	17,40**	3,77*	3,88*	4,12**

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)_2 (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de Cu(OH)_2 , T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)_2 – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)_2 – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)_2 – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)_2 – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 e 5% de probabilidade

3.3 Compostos fenólicos em frutos

A avaliação dos compostos fenólicos em frutos de atemoia não revelou diferença entre os tratamentos (Tabela 1). Esses resultados discordam dos de Silvia; Yerenna; Necha (2021), que observaram maior concentração de fenólicos em frutos de *Pimenta dioica* (L.) em resposta à *Colletotrichum gloeosporioides*.

Tabela 7: Fenóis totais (FT) em frutos de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson, em mg ácido gálico g⁻¹ matéria fresca, aos 175 dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (DAPA). Valores médios. Botucatu, SP, 2021

	175 DAPA
Tratamento	FT
T1	4,46
T2	4,32
T3	4,60
T4	4,57
T5	4,48
F	0,84^{NS}

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

3.4 Qualidade dos frutos

A massa de frutos do tratamento 3 de maneira geral, revelou-se maior (Tabela 8), no entanto, não apresentou maior concentração de açúcares, com exceção da manose (Tabela 6). Uma vez que esses resultados concordam com a massa dos frutos de estudos conduzidos por outros pesquisadores em frutos de atemoia sem sinais de antracnose (CRUZ et al., 2010; SOUZA et al., 2013; MAZEPA, 2014; VIEIRA, 2018), sugere-se que a concentração de 3,9 mL L⁻¹ e maior frequência (4) pode ter evitado perda de massa por incidência da doença.

Tabela 8: Massa dos frutos (M), em g, em cinco avaliações após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (DAPA) em frutos de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

M
DAPA

Tratamento	175	178	181	184	187
T1	357,54±11,013 Ba	393,25±7,439 Ba	282,01±16,65 BCb	369,41±32,174 Ba	218,38±11,343 BCb
T2	356,09±24,797 Ba	386,29±21,298 Ba	382,97±14,888 Aa	287,78±11,486 Cb	232,19±32,563 BCb
T3	462,60±10,433 Aa	517,19±18,378 Aa	349,05±14,035 ABb	495,29±5,553 Aa	321,91±10,972 Ab
T4	376,29±15,238 Ba	345,95±12,111 Bab	312,10±3,58 BCabc	299,47±18,24 Cbc	273,95±12,049 ABc
T5	348,97±24,765 Ba	374,90±20,664 Ba	260,59±8,506 Cbc	309,21±6,54 BCab	196,96±18,106 Cc
F	Aplicações 44,84**	DAPA 62,92**	Aplicações x DAPA 5,10**		

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: 3,9 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: 1 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: 1 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 13 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

Maior diâmetro longitudinal foi observado nos frutos do tratamento 3 em relação aos dos 1 e 5, aos 184 e 187 DAPA (Tabela 9) e maior diâmetro equatorial em comparação ao tratamento 1 (controle) durante grande parte do período de avaliação (Tabela 10). De maneira geral, aos 187 DAPA os diâmetros longitudinais e equatoriais dos frutos foram menores em relação às avaliações iniciais (Tabelas 9 e 10). Esses resultados são esperados, ao longo do tempo de vida de prateleira. A cultivar Thompson apresentou frutos com maiores diâmetros do que os observados nas cultivares African Pride (Mazepa, 2014) e Gefner (CRUZ et al., 2010; SOUZA et al., 2013).

Deve ser ressaltado que frutos do tratamento 3 que revelaram maiores massa e diâmetros cumprem os requisitos de classificação extra estabelecidos pela CEAGESP com maior valor comercial.

Tabela 9: Diâmetro longitudinal (DL), em cm, em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em frutos de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	DL				
	DAPA				
	175	178	181	184	187
T1	96,50±2,104 Aab	95,67±1,074 Aa	84,49±0,606 Abc	92,17±1,163 Bab	75,92±1,754 ABc
T2	89,49±0,837 Aa	89,30±0,384 Aa	92,18±3,097 Aab	82,37±0,329 Cb	75,07±3,681 ABab
T3	106,65±3,043 Aab	95,49±1,259 Aa	83,96±0,582 Abc	104,39±0,889 Aa	81,51±0,746 Ac
T4	91,00±2,516 Aa	86,44±1,696 Aa	82,93±0,607 Aa	90,17±4,0 ABCa	77,22±1,239 ABa
T5	95,62±2,712 Aab	87,04±3,17 Aab	84,62±1,166 Aa	85,69±0,320 Ba	72,36±0,625 Bb
F	Aplicações	DAPA		Aplicações x DAPA	

19,80**

46,91**

12,99**

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: 3,9 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: 1 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: 1 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 13 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

Tabela 10: Diâmetro equatorial (DE), em cm, em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em frutos de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	DE				
	DAPA				
	175	178	181	184	187
T1	87,33±0,722 Bab	93,36±1,973 BCa	83,78±2,231 Bbc	79,18±2,236 Bc	64,13±0,475 Cd
T2	77,53±1,810 Cb	96,46±1,931 Ba	92,33±2,759 Aa	76,01±0,389 Bbc	68,42±4,495 Cc
T3	98,73±1,851 Aab	104,14±3,363 Aa	93,11±0,590 Abc	90,30±1,931 Ac	72,06±1,458 BCd
T4	90,88±1,388 Ba	87,02±1,095 Cab	86,06±0,99 ABab	88,76±1,872 Aab	81,07±2,660 Ab
T5	83,85±1,32 BCab	89,72±1,317 BCa	83,60±1,703 Bab	77,52±2,174 Bb	77,73±1,376 ABb
F	Aplicações 24,21**	DAPA 80,72**	Aplicações x DAPA 8,11**		

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: 3,9 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: 1 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: 1 ml L^{-1} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 13 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

De modo geral, aumento de sólidos solúveis ocorreu até os 181 DAPA (Tabela 11) provavelmente devido ao aumento de açúcares solúveis provenientes da transformação de amido em glicose, frutose e sacarose durante o período de maturação (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A estabilização dos sólidos solúveis provavelmente esteja ligada ao limite de transformação do amido em açúcares solúveis. Aplicações de hidróxido de cobre não alteraram os sólidos solúveis, de maneira geral. Sugere-se que esse fungicida não influenciou processos metabólicos do amadurecimento que elevem o teor de polissacarídeos (carboidratos) em frutos (NEVES; YUHARA, 2003; SOUZA et al., 2013; MAZEPA, 2014; VIEIRA, 2018).

Os sólidos solúveis dos frutos submetidos aos diferentes tratamentos a partir de 181 DAPA (frutos prontos para consumo), no presente estudo, foram semelhantes (Orsi et al., 2012;

Sousa et al.; 2013) ou maiores (NEVES; YUHARA, 2003) do que os observados por outros pesquisadores.

Tabela 11: Sólidos solúveis (SS), em °Brix, em cinco avaliações após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (DAPA) em frutos de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	SS				
	DAPA				
	175	178	181	184	187
T1	5,50±0,17 Ac	11,31±0,39 Ab	26,063±0,49 Aa	25,41±0,50 Aa	22,99±0,23 Aa
T2	5,29±0,23 Ac	11,35±0,35 Ab	25,55±0,38 Aa	24,07±0,71 ABa	26,36±1,22 Aa
T3	5,02±0,20 Ac	10,17±0,06 Ab	23,00±1,22 Aa	21,47±0,24 Ba	21,53±0,53 Aa
T4	5,51±0,61 Ab	9,63±0,11 Ab	26,19±1,31 Aa	24,37±0,96 ABa	23,35±0,96 Aa
T5	6,57±0,64 Ab	5,70±0,67 Ab	27,16±0,84 Aa	24,82±0,26 Aa	22,57±0,45 Aa
F	Aplicações 10,10**	DAPA 1078,3**	Aplicações x DAPA 5,89**		

DAPA: Dias após a primeira aplicação de Cu(OH)₂ (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de Cu(OH)₂, T2: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ Cu(OH)₂ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

Os valores médios de pH de frutos dos diferentes tratamentos apresentaram-se levemente maiores em relação àqueles verificados por MARCELLINI et al. (2003), indicando menor acidez. Frutos do tratamento 5 aos 175 DAPA apresentaram pH mais ácido (Tabela 12). Esses frutos, de maneira geral, apresentaram pH mais baixo ao longo das avaliações, condição observada em outros estudos envolvendo frutos de atemoia (MELO et al., 2002; MOSCA, 2002; TESSER et al., 2007) e na *Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener (SILVA et al., 2005). Os estudos realizados com atemoia revelam pH de frutos semelhantes aos verificados no presente estudo.

Tabela 12: pH em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em frutos de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	pH				
	DAPA				
	175	178	181	184	187
T1	6,54±0,03 Aa	5,76±0,02 Ab	5,03±0,03 Ac	5,06±0,02 ABd	5,15±0,19 Ac
T2	6,64±0,11 Aa	5,72±0,05 Ab	5,13±0,03 Ac	5,03±0,02 ABc	5,16±0,04 Ac
T3	6,22±0,16 Ba	5,66±0,02 Ab	5,05±0,08 Ad	5,13±0,01 Acd	5,22±0,10 Ac
T4	6,47±0,13 ABa	5,66±0,01 Ab	5,01±0,02 Acd	4,95±0,04 Bd	5,13±0,11 Ac
T5	5,69±0,08 Ca	5,65±0,01 Aa	5,13±0,01 Ab	5,09±0,04 ABb	5,07±0,08 Ab
F	Aplicações 4,99**	DAPA 193,19**	Aplicações x DAPA 3,02**		

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: 3,9 ml L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 13 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

A acidez titulável de um fruto é determinada pela presença de ácidos orgânicos que servirão de substrato para respiração (ARKHAVAN; WROLSTAD, 1980; CHITARRA; CHITARRA, 1990). A oxidação de ácidos tricarbóxicos resulta na diminuição do teor dos ácidos orgânicos por meio da respiração ou conversão em açúcares (CHITARRA; CHITARRA, 1990). A determinação de ácidos orgânicos em frutos é importante pois influencia suas características organolépticas e sua estabilidade para consumo, variando entre 0,2 e 0,3 % em frutas de baixa acidez (CECCHI, 2003). Produtos mais ácidos são naturalmente mais estáveis quando à deterioração (CECCHI, 2003).

Frutos dos tratamentos 4 e 5 apresentaram ao longo das avaliações maior acidez titulável (Tabela 13) e menor índice de maturação, o que sugere maior vida de prateleira. De modo geral, a acidez titulável no presente estudo foi maior do que revelam as observações de Neves; Yuhara, 2003; Torres, 2008; Souza et al., 2013; Mazepa, 2014; Vieira, 2018. Orsi et al., 2012) observaram em seu estudo 0,54% de acidez titulável para frutos de atemoia o que se aproxima dos resultados do presente estudo. Em frutos de graviola, o valor médio de acidez titulável é mais elevado, atingindo 0,72% (SOUZA et al., 2012).

Sugere-se que aplicações mais frequentes e em menor concentração de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (tratamentos 4 e 5) diminua o índice de maturação de frutos de atemoia, atrasando maturação e prolongando a vida de prateleira. Cobre pode interferir inibir a respiração quando acima do nível ótimo para as espécies vegetais (YRUELA, 2005), o que pode explicar as maiores concentrações de ácidos orgânicos.

Tabela 13: Acidez titulável (AT), em % de ácido cítrico, em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em frutos de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

AT					
DAPA					
Tratamento	175	178	181	184	187
T1	0,35±0,018 Db	0,41±0,018 Db	0,37±0,017 Db	0,50±0,002 Ba	0,40±0,030 Cb
T2	0,67±0,016 Ba	0,52±0,017 Cb	0,58±0,020 Cab	0,53±0,015 Bb	0,56±0,030 Bb
T3	0,54±0,041 Ca	0,41±0,069 CDb	0,51±0,026 Cab	0,44±0,026 Bab	0,49±0,015 Bab
T4	1,84±0,048 Aa	1,52±0,073 Bbc	1,49±0,015 Bc	1,73±0,10 Aab	1,96±0,119 Aa
T5	1,77±0,070 Ab	2,00±0,048 Aab	1,82±0,041 Aab	1,80±0,062 Ab	2,06±0,040 Aa
F	Aplicações 333,75**		DAPA 5,57**		Aplicações x DAPA 6,74**

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: 3,9 ml L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: 3,9 ml L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: 1 ml L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: 1 ml L⁻¹ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

Tabela 14: Índice de maturação (IM) em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em frutos de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

IM					
DAPA					
Tratamento	175	178	181	184	187
T1	15,16±0,589 Ad	26,31±1,166 Ac	68,03±2,005 Aa	48,99±0,364 Ab	55,19±1,885 Ab
T2	8,19±0,275 Bc	21,10±0,558 Bb	45,56±1,129 Bb	46,66±1,669 Aa	44,88±1,914 Ba
T3	8,04±0,315 Bc	26,24±2,068 Ab	48,29±2,774 Ba	46,45±1,236 Aa	42,01±0,693 Ba
T4	2,60±0,220 Dd	6,18±0,236 Cc	18,10±0,293 Ca	13,37±0,594 Bb	11,80±0,508 Cb
T5	3,89±0,161 Cc	2,68±0,197 Dd	14,59±0,367 Da	13,53±0,273 Ba	10,68±0,198 Cb
F	Aplicações		DAPA		Aplicações x DAPA

1941,0**
1607,2**
29,12**

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos "chumbinhos"). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

Na avaliação de escurecimento de cascas, os frutos de atemoia de todos os tratamentos obtiveram nota 3, indicando frutos aptos para comercialização, o que se verificou até os 181 DAPA (Tabela 15). A aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ em menor concentração e maior frequência (tratamento 4) revelou frutos com escurecimento da casca menor do que 25% até os 184 DAPA. Além disso, frutas visualmente homogêneas por tempo prolongado diminuí a necessidade de escolha, evitando manuseio na comercialização.

Apesar do padrão estabelecido pela nota três representar frutos aptos para comercialização (BATTEN,1990), a exigência do consumidor é maior (WATANABE et al., 2014) e para ser atendida requer menor porcentagem da casca escurecida. Dessa forma, fruto apto para comercialização pode ser desperdiçado sendo necessária reeducação do consumidor para aparência do fruto, que pode apresentar maior sabor.

Aos 181 DAPA, momento em que as frutas de atemoia apresentaram maior índice de maturação (Tabela 14), cascas escurecidas com menos de 25 % de sua superfície foram encontradas no tratamento 4.

Tabela 15: Notas das cascas (NC) em cinco avaliações após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (DAPA) em frutos de plantas de atemoia (*Annona x atemoya* Mabb.) cv. Thompson. Valores médios. Botucatu, SP, 2021

Tratamento	NC				
	DAPA				
	175	178	181	184	187
T1	3,50±0,28 BCa	4,25±0,25 ABa	3,75±0,25 BCa	2,00±0,40 Bb	1,75±0,25 Ab
T2	3,25±0,25 Cb	4,50±0,28 Aa	3,00±0,00 Cb	2,25±0,25 Bbc	1,75±0,25 Ac
T3	4,00±0,40 ABCa	4,25±0,25 ABa	3,66±0,47 BCab	2,37±0,23 Bbc	2,12±0,12 Ac
T4	4,75±0,25 Aa	4,75±0,25 Aa	4,75±0,25 Aa	4,00±0,25 Aa	2,75±0,25 Ab
T5	5,00±0,50 ABa	3,25±0,25 Bb	4,00±0,00 ABab	2,95±0,05 ABbc	2,05±0,20 Ac
F	Aplicações		DAPA		Aplicações x DAPA

8,88**

77,06**

3,33**

DAPA: Dias após a primeira aplicação de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (plantas com flores e frutos “chumbinhos”). T1: ausência de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, T2: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – duas aplicações, T3: $3,9 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – quatro aplicações; T4: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – oito aplicações; T5: $1 \text{ ml L}^{-1} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ – 16 aplicações, realizadas a cada 15 dias. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 1 % de probabilidade

4. CONCLUSÃO

As maiores frequências de aplicação com menores concentrações de fungicidas contendo $\text{Cu}(\text{OH})_2$ controlaram o escurecimento da casca de frutos de atemoia, aumentaram os açúcares trealose e sacarose e a vida de prateleira.

5. REFERÊNCIAS

AGROLINK (org.). **Agrolinkfito**: todos os agrotóxicos do brasil para controlar doenças e pragas em sua lavoura. Todos os agrotóxicos do Brasil para controlar doenças e pragas em sua lavoura. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; DUCROQUET, J.P.H.J.; SASSO, A. Qualidade de goiaba serrana em resposta à temperatura de armazenamento e ao tratamento com 1-metilciclopropeno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p.1683-1689, 2008.

AMAROWICZ, PEGG, R. B.; RAHIMI-MOGHADDAM, P.; BARL, B.; WEIL, J. A.. Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. **Food Chemistry**, 2004. v. 84, p. 551–562.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry International**. 13th ed. Washington, 1015 p., 1992.

APALIYA, M.T.; ZHANG, H.Y.; YANG, Q.Y.; ZHENG, X.F.; ZHAO, L.N.; KWAW, E.; MAHUNU, G.K.. *Hanseniaspora uvarum* enhanced with trehalose induced defense-related enzyme activities and relative genes expression levels against *Aspergillus tubingensis* in table grapes. **Postharvest Biol. Technol.** v. 132, p. 162–170, 2017.

ARKHAVAN, I.; WROLSTAD, R. E.. Variation of sugars and acids during ripening of pears and in the production and storage of pear concentrate **J. Food Sci.** 45: 499, 1980. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**

of the association of official analytical chemistry international. v. 2, chapter 37, p. 1-29, 1995.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemistry international**. 18th ed. Gaithersburg: AOAC, 2005. 1015 p.

BARON, D.; FERREIRA, G.; RODRIGUES, J. D.; MACEDO, A. C.; AMARO, A. C. E.. Gas exchanges in annonaceae species under different crop protections. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, p. 243-250, 2014.

BATTEN, D. J.. Effect of temperature on ripening and postharvest life of fruit of atemoya (*Annona cherimola* Mill x *A. squamosa* L.) cv. "African Pride". **Scie.Horticu**, v. 45, p129-136, 1990.

BENI, C.; ROSSI, G.. Conventional and organic farming: estimation of some effects on soil, copper accumulation and wine in Central Italy vineyard. **Agrochimica**, Pisa, v. 3, n. 53, p. 145-159, maio 2009.

BHAVANI, K.; JAHAN, A.; YADAV, K. S.. Knowing all about Custard Apple. **Health Action**. Secuderabad, p. 27-28. jun. 21.

BONAVENTURE, L. **A cultura da cherimóia e de seu híbrido a atemóia**. São Paulo: Nobel, 1999.182p.

BORKOW, G.; GABBAY J.. Copper as a Biocidal Tool. **Current Medicinal Chemistry** p.2163–2175. 05.

BOSCO, M. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 3, p. 296 - 302, abr. 2009

BÚFALO, J. **Efeito alelopático de extrato de Leonurus sibiricus L. em Mentha piperita L. Desenvolvimento, trocas gasosas e metabólitos secundários**. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Horticultura) –Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

BRUTON, B.; RUSSO, V.; GARCIA-JIMENEZ, J.; MILLER, M. Carbohydrate partitioning, cultural practices, and vine decline diseases of Cucurbits. **Cucurbitaceae '98**, p. 189-200, 20 ago. 1998.

CAMPOS, F. G.; BARON, D.; MARQUES, M.O.M.; FERREIRA, G.; BOARO, C.S.F.. Characterization of the chemical composition of the essential oils from *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer 'terra-fria' and *Annona squamosa* L. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, p. 202-208, 2014.

CARDOSO, C. P.; CAMPOS, F. G.; BARZOTTO, G. R.; NAPOLEÃO, G. M.; CAMPOS, L. P.; BOARO, C. S. F.. Aplicação foliar de hidróxido de cobre, escurecimento de frutos e °Brix dos frutos de atemoia. **Produção Animal e Vegetal: Inovação e Atualidades**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 209-217, dez. 2021.

CENTRO DE QUALIDADE EM HORTICULTURA - CEAGESP. ISSN 2237-6666: Anonáceas. 1 ed. São Paulo: Programa Brasileiro Para A Modernização da Horticultura, 2013. 7 p. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/anonaceas.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2022.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.

CHATROU, L.; ERKENS, R. H. J.; RICHARDSON, J. E.; SAUNDERS, R. M. K.; FAY, M. F. The natural history of Annonaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, [s. l.], p. 1 - 4, 2012.

CHITARRA M. I. F.; CHITARRA A. B.. **Pós-colheita de frutos e hortaliças - Fisiologia e Manuseio**. Lavras: UFLA. 785p, 2005.

CRUZ, L.S.; PINTO, L.A.M.; LIMA, R.A.Z.; CORRÊA, A.D.; GUEDES, M.N.S. Análise física e química das frações da fruta atemoia. In: **XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA**. Lavras, 2010.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D.. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

CUNHA, K. T.; MENDES, T. S. R.; COSTA, C. L. S. Detecção de carboidratos de baixo peso molecular em diferentes variedades de manga, em dois estágios de maturação. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 1-10, 25 jan. 2022.

DOUBNEROVÁ, V.; RYŠLAVÁ. What can enzymes of C4 photosynthesis do for C3 plants under stress? **Plant Science**, v.180, p.575, 2011.

DUARTE, T.S.; PEIL, R.M.N.. Relações fonte: dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, 2010.

DUCIC, T.; POLLE, A.. Toxic Metals in Plants: transport and detoxification of manganese and copper in plants. **Brazilian Journal Of Plant Physiology**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 103-112, 2005.

ELOY, Y. R. G.; VASCONCELOS, I. M.; BARRETO, A. L. H.; FREIRE-FILHO, F. R.; OLIVEIRA, J. T. A. H₂O₂ plays an important role in the lifestyle of *Colletotrichum gloeosporioides* during interaction with cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Fungal Biology**, p. 747-757, 14 maio 2015.

FENG, Y., CHEN, X., HE, Y., KOU, X., XUE, Z.. Effects of exogenous trehalose on the metabolism of sugar and abscisic acid in tomato seedlings under salt stress. **Trans. Tianjin Univ.** v. 25 (5), p. 451–471, 2019.

FLEMMING, C. A.; TREVORS, J. T.. Copper Toxicity and Chemistry in the Environment: a review. **Water, Air, Soil & Pollution**, [s. l], v. 1, n. 44, p. 143-158, jan. 1989.

GARCIA, I. S.; SOUZA, A.; BARBEDO, C. J.; DIETRICH, S. M. C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L. Changes in soluble carbohydrates during storage of *Caesalpinia echinata* Lam. (Brazilwood) seeds, an endangered leguminous tree from the brazilian atlantic forest. **Brazilian Journal Biology**, v.66, n.2, p.739-745, 2006.

GAVA, Altanir Jaime; SILVA, Carlos Alberto Bento da; FRIAS, Jenifer Ribeiro Gava. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Nobel, p. 511, 2009.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R.. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, v. 990, n. n. 1, p. 87–92, 1989.

GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J. J. et al. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: SSSA, p. 329-370, 1991.

HARLEY, P. C; SHARKEY, T. D. An improved model of C₃ photosynthesis at high CO₂: Reversed O₂ sensitivity explained by lack of glycerate reentry into the chloroplast. **Photosynthesis Research**, v. 27 p.169-178, 1991.

HULME, A. C. The biochemistry of fruits and their products. London: **Academic Press**, 1971.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J.. **Plant Systematics: a phylogenetic approach**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002.

JUNQUEIRA, N.T.V.; JUNQUEIRA, K.P. Principais doenças de anonáceas no Brasil: descrição e controle. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.36, p.55-64, 2014.

KARIMI, P.; KHAVARI-NEJAD, R. A.; NIKNAM, V.; GHAREMANINEJAD, F.; NAJAFI, F.. The Effects of Excess Copper on Antioxidative Enzymes, Lipid Peroxidation, Proline, Chlorophyll, and Concentration of Mn, Fe, and Cu in *Astragalus neo-mobayenii*. **The Scientific World Journal**, [S. l.], v. 2012, p. 1-6, 14 out. 2012.

KAYS, S. J.; WILSON, D. M. Alteration of Pecan kernel color. **Journal of Food Science**, [S. l.], v. 42, n. 4, p. 982-984, 1 jul. 1977.

KITAJIMA, M. B. W. L.; BUTLER, W. L.. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 376, n. 1, p. 105–115, 1975.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S.. **Water relations of plants and Soils**. San Diego: Academic Press, 1995, 495p.

LA TORRE, Anna; IOVINO, Valeria; CARADONIA, Federica. Copper in plant protection: current situation and prospects. *Phytopathologia Mediterranea*, [S.L.], v. 57, n. 2, p. 201-236, 17 set. 2018. **Phytopathologia Mediterranea**.
http://dx.doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-23407.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G.. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 275–294, fev. 2002.

LI, M.; SALA, V.; DE SANTIS, M. C.; CIMINO, J.; CAPPELLO, P.; PIANCA, N.; MARTINI, M.; LAZZARINI, E.; PIROZZI, F.; TOCCHETTI, C. G.; SANDRI, M.; AMERI, P.; SCIARRETTA, S.; MONGILLO, M.; ZAGLIA, T.; MORELLO, F.; NOVELLI, F.; HIRSCH, E.; GHIGO, A. PI3K γ inhibition protects from anthracycline-induced heart failure and reduces tumor growth. **Vascular Pharmacology**, [S. l.], v. 103-105, p. 60, 1 abr. 2018.

LIM, T. K.. **Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants**. Londres: Springer, 2012.

MANTOVI, P.. **Rischi di accumulo del rame nei terreni**. 42. ed. Verona: L'informatore Agrario, 2003. 4 p.

MARCELLINI, P. S.; CORDEIRO, C. E.; FARAONI, A. S.; BATISTA, R. A.; RAMOS, A. L. D.; LIMA, A. S. Comparação físico-química e sensorial da atemóia com a pinha e a graviola produzidas e comercializadas no estado de Sergipe. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 14, ed. 2, p. 187 - 189, 2003.

MCBRIDE M.; TILLER K.; MERRY R.. **Copper in Soils and Plants**. Academic Press, Sydney, 1981.

MONTAG, J.; SCHREIBER, L.; SCHÖNHERR, J. An In Vitro Study of the Nature of Protective Activities of Copper Sulphate, Copper Hydroxide and Copper Oxide Against *Conidia* of *Venturia inaequalis*. **Journal of Phytopathology**, [S. l.], v. 154, n. 7-8, p. 474-481, 20 jul. 2006.

MOSCA, J. L.; LIMA, G. P. P. Atividade respiratória de atemóia (*Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L.) cv. Gefner, durante o amadurecimento. In: **Interamerican Society For Tropical Horticulture**, Fortaleza. Proceedings... Fortaleza: ISTH, p. 109-110, 2003.

NEVES C. S. V. J.; YUHARA E.N. Caracterização dos frutos de cultivares de atemóia produzidos no norte do Paraná. **Semina Ciência Agrárias**, v. 24, n. 2, p. 311-314, 2003.

NÚÑEZ-ELISEA, R.; SCHAFFER, B.; FISHER J. B.; COLLS A. M.; CRANE, J. H.. Influence of flooding on net CO₂ assimilation, growth, and stem anatomy of *Annona* species. **Annals of Botany**, London, v. 84, n. 6, p. 771-780, 1999.

OETTERER, M.; DÁRCE, M.; SPOTO, M. Antioxidantes. In: OETTERER, Marília ; DÁRCE, Marisa; SPOTO, Marta. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri-SP: Manole, 2006.

OLIVEIRA, Z. L.. **Armazenamento refrigerado de atemoia „Gefner“ em atmosfera modificada**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Limoeiro do Norte, 2014.

PARREIRAS, N. S.. **Aplicação de cálcio em pré-colheita de atemoia ‘Thompson’: trocas gasosas, óleo essencial de folhas e características físico-químicas dos frutos**. 2017. 73 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Horticultura, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2017.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHE, S.; JOSÉ, A. R. S.; LEMOS, E. E. P.; MIZOBUTSI, E. H.; CORSATO, C. D. A. (org.). **Anonáceas: Pinha (*Annona squamosa* L.), Atemóia (*Annonasquamosa* L. x *Annona cherimola* Mill) e Graviola (*Annonamuricata* L.)**. In:

TRAZILBO JOSÉ DE PAULA JÚNIOR (Minas Gerais). Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Livro 101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas. 2. ed. Belo Horizonte: Epamig, 2019. Cap. 14. p. 111-123.

PLAXTON, W.C.; PODESTÁ, F.E. The Functional Organization and Control of Plant Respiration. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, p. 159-198, 2006.

PLOETZ, R. C. (comp.). Diseases of atemoya, cherimoya, soursop, sugar apple and related fruit crops. In: PLOETZ, R. C.. **Diseases of tropical fruit crops**. Flórida: Cabi Publishing, 2003. p. 21-34.

QUÍLEZ, A.M.; FERNÁNDEZ-ARCH, M.A.; GARCÍA-GIMÉNEZ, M.D.; LAPUERTA, R. de. Potential therapeutic applications of the genus *Annona*: Local and traditional uses and pharmacology. **Journal Of Ethnopharmacology**, [s. l], v. 225, n. 1, p. 244-270, 19 jun. 2018.

REICHMAN, S. M.. **The Responses of Plants to Metal Toxicity**: a review focusing on copper, manganese and zinc. Melbourne: Australian Minerals & Energy Environment Foundation, 2002. 55 p.

SANEWSKI, G.M. **Custard apples: cultivation and crop protection**. Brisbane: Queensland Department of Primary Industries, 1991. 103p.

SANTOS, I. R. C. **Escurecimento enzimático em frutos: polifenoloxidasas de atemoia (*A. cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.)**. 120f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara-FCAR/UNESP. Araraquara, SP, 2009.

SANTOS, L. G.. Micronutriente Cobre. In: PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.. **Micronutrientes no Sistema solo planta**: sintomas de deficiência e toxidez. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2015. p. 16-24.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; OLIVEIRA, R. F. de; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C.. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mildwater deficit. **Plant Science**, v.170, n.3, p.659–664, 2006.

SCALOPPI JUNIOR, E. J.; MARTINS, A. B. G.. CLONAGEM DE QUATRO ESPÉCIES DE ANNONACEAE POTENCIAIS COMO PORTA-ENXERTOS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 286-289, ago. 2003.

SCHNEIDER, M.; KEIBLINGER, K. M.; PAUMANN, M.; SOJA, G.; MENTLER, A.; GOLESTANI-FARD, A.; RETZMANN, A.; PROHASKA, T.; ZECHMEISTER-

BOLTENSTERN, S.; WENZEL, W.; ZEHETNER, F. Fungicide application increased copper-bioavailability and impaired nitrogen fixation through reduced root nodule formation on alfalfa. **Ecotoxicology**, v. 28, p. 599-911, 28 maio 2019.

SCHREIBER, U.; SCHLIWA, U.; BILGER, W. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. **Photosynthesis Research**, 1986.

SELMAR, D.; KLEINWÄCHTER, M. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], p. 558 - 566, 14 jun. 2013.

SEYMOUR G. B. Banana. In Seymour G. B., Taylor J. E., Tucker G. A., **Biochemistry of Fruit Ripening**, Ed 2, Chapman & Hall, London, 1996.

SEYMOUR, G. B.; ØSTERGAARD, L.; CHAPMAN, N. H.; KNAPP, S.; MARTIN, C. Fruit Development and Ripening. **Annual Review of Plant Biology**, [S. l.], v. 64, p. 219-241, 1 abr. 2013.

SHARKEY, M. J.. Phylogeny and classification of Hymenoptera. **Zootaxa**, Bogotá, v. 1668, p. 521-548, 2007.

SHI, Q.; BAO, Z.; ZHU, Z.; YING, Q.; QIAN, Q. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. **Plant Growth Regul**, v.48, p.127–135, 2006.

SILVA, J. G.; SILVA, L. P.; SOUZA, J. R.; CASTRO, C. S. P. Interação entre a enzima catalase e os íons Cu(ii): sítios de ligação, estequiometria, kd e e 0' por cv, dpv e ferramentas teórica. **Sociedade Brasileira de Química**, [S. l.], p. 1, 1 jan. 2008.

SILVA, A. V.; YERENA, L. R.; NECHA, L. L. B. Chemical profile and antifungal activity of plant extracts on *Colletotrichum* spp. isolated from fruits of *Pimenta dioica* (L.) Merr. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 179, p. 1-10, 16 ago. 2021.

SOARES, D.G.; ANDREAZZA, A.C.; SALVADOR, M. Avaliação de compostos com atividade antioxidante em células da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Araraquara v. 41, n.1, p. 95-100, 2005.

SOUSA, F.C.; SOUSA, E.P.; CRUZ, C.S.A.; GOMES, J.P.; ALMEIDA, F.A.C. parâmetros físicos e físico-químicos da atemoia ‘gefner’ em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.5, n.4, p.329-334, 2013.

STEUP, M. Starch degradation. In: Sumpf, P. K and Conn E. E. (eds). Carbohydrates, in The biochemistry of plants. a comprehensive treatise., San Diego: **Academic Press**. v.14, p. 255-296, 1988.

TORRES, L. M. A. R. **Conservação Pós-colheita de atemóia cv. Thompson**. 2008. Tese (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Araraquara, São Paulo, Brasil, 146 p., 2008.

TUCK, K.L.; HAYBALL, P.J.. Major Phenolic Compounds in Olive Oil: Metabolism and Health Effects. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 13, p. 636-644, 2002.

VICHAIYA, T.; FAIYUNE, B.; ROTARAYANONT, S.; UTHAIBUTRA, J.; SAENGNIL, K. Exogenous trehalose alleviates chilling injury of ‘Kim Ju’ guava by modulating soluble sugar and energy metabolisms. **Scientia Horticulturae**, p. 1-12, 11 abr. 2022.

VILLANUEVA, E.; FUJIBAYASHI-YOSHII, N.; MATSUZAKI, S.; YAMAZAKI, K.; BURANA, C.; YAMANE, K.. Effects of trehalose and sucrose on the vase life and physiology of cut astilbe (*Astilbe × arendsii* Arends) flowers. **Hortic. J.** v. 88 (2), p. 276–283, 2019.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D.. Ome Relationship between the Biochemistry of Photosynthesis and the Gas Exchange of Leaves. **Planta**, [s. l], v. 1, n. 153, p. 376-387, jan. 1981.

WATANABE, H.S.; OLIVEIRA, S.L.; CAMARA, F.M.; ALMEIDA, G.V.B.; ALVES, A.A. Perfil de comercialização das Anonáceas nas Ceasas brasileiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.1, p. 65-70. 2014.

WINTER, H.; HUBER, S. C. Regulation of sucrose metabolism in higher plants: Localization and regulation of activity of key enzymes. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 19, n. 1, p. 31-67, 1 jan. 2000.

WONG, M.; STANTON, D. W. Nonenzimic browning in kiwi fruit juice concentrate system during storage. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 03, p. 669-678, 1989.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, p. 409-430, 2009.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K; CHEN, L.. Temperature-dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday high irradiance. **Photosynthetica**, v.39, p.383-388, 2001.