

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

OZÔNIO NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MAMÃO

OSVALDO PEREIRA DA SILVA NETO

MANAUS - AM
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

OZÔNIO NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MAMÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

OSVALDO PEREIRA DA SILVA NETO

Orientadora: Aline Ellen Duarte de Sousa
Co-orientadora: Jânia Lília da Silva Bentes Lima

MANAUS - AM
2019

Ficha Catalográfica

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

S586o Silva Neto, Osvaldo Pereira da
Ozônio na conservação pós-colheita de mamão / Osvaldo Pereira da Silva Neto. 2019
52 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Aline Ellen Duarte de Sousa
Coorientadora: Jânia Lilia da Silva Bentes Lima
Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Carica papaya L. 2. Tratamento alternativo. 3. Antracnose. 4. Pós-colheita. I. Sousa, Aline Ellen Duarte de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

OSVALDO PEREIRA DA SILVA NETO

OZÔNIO NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE
MAMÃO

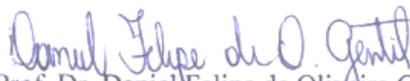
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovada em 8 fevereiro de 2019

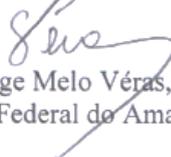
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Aline Ellen Duarte de Sousa - Presidente
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Daniel Felipe de Oliveira Gentil, Membro
Universidade Federal do Amazonas



Profa. Dra. Solange Melo Vêras, Membro
Universidade Federal do Amazonas

DEDICO
A Deus.
Aos meus pais Orlando Mendes da Silva e Filomena Azevedo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me conduzido até aqui, me sustentando e me capacitando, e por me fazer compreender que tudo ocorre no seu tempo e a seu modo.

Aos meus pais, Orlando e Filomena, minha irmã Karol, meu sobrinho Gabriel, minha Lolinha e todos os familiares e amigos por todo incentivo, apoio, amor e compreensão nessa fase da minha vida.

À Professora Aline Ellen Duarte de Sousa, pela oportunidade de ser o seu primeiro orientado de mestrado, a qual me permitiu admirá-la e respeitá-la por todas as orientações, ensinamentos, paciência, dedicação em transmitir os conhecimentos, incentivos e por sempre confiar em mim para realização deste trabalho.

À minha co-orientadora professora Jânia Lilian pela colaboração, paciência e apoio na realização deste trabalho.

Ao professor Joel por ceder o gerador de ozônio e por todos os ensinamentos transmitidos.

À Universidade Federal do Amazonas pela minha formação acadêmica, em especial ao Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical, por possibilitar a oportunidade de obter conhecimento e qualidade profissional através da realização desse trabalho, bem como a obtenção do título de Mestre.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

À banca avaliadora pela disponibilização de tempo para leitura e avaliação, e pelas contribuições.

E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Os tratamentos fitossanitários devem minimizar o risco de doenças pós-colheita e, ao mesmo tempo, retardar os processos fisiológicos de senescência e maturação. As melhores alternativas recaem sobre os tratamentos alternativos, com destaque para o ozônio que, além de controlar o fungo, aumenta a vida útil, sem depreciar a qualidade dos frutos. Assim, objetivou-se, com esse trabalho, estudar o efeito do ozônio na conservação pós-colheita de mamão, visando o controle da antracnose e o aumento da vida útil dos frutos. O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Produto, da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM. Os tratamentos foram constituídos por: aplicação de ozônio nas concentrações de 0 (controle); 0,6; 1,5 e 3,3 ppm; e aplicação pós-colheita de fungicida comercial. Em seguida, os frutos foram conservados em temperatura ambiente (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR). Determinou-se a ação fitossanitária do ozônio, por meio da incidência, severidade, número e tamanho das lesões da antracnose; e a qualidade pós-colheita dos frutos, por meio da avaliação da vida útil; perda de massa fresca acumulada e diária (%), cor da casca, extravasamento de eletrólitos (%), sólidos solúveis (%), acidez titulável ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), relação SS/AT, pH e vitamina C ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com dez (incidência, severidade, número e tamanho das lesões da antracnose e vida útil dos frutos) e cinco repetições (demais análises de qualidade pós-colheita). Para a vida útil se utilizou o teste Log-Rank ($p < 0,01$), pelo estimador de Kaplan-Meier. Realizou-se análise de regressão considerando o tempo de armazenamento para as variáveis incidência, severidade, número e tamanho das lesões e perda de massa acumulada. Os dados extraídos das demais análises foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Estimou-se o coeficiente de correlação de Pearson para todas as variáveis ao nível de significância de 1 e 5% pelo teste t-Student. O ozônio reduziu a severidade da antracnose a curto (3,3 ppm) e a longo prazo (1,5 ppm), tornando-se efetivo tanto quanto o fungicida comercial. O ozônio aumentou em sete dias a vida útil e manteve a qualidade pós-colheita dos frutos de mamão. Desse modo, o ozônio torna-se uma tecnologia potencial para uso em pós-colheita, como alternativa segura ao uso de agrotóxicos na redução da antracnose e no aumento da conservação dos frutos de mamão.

Palavras-chave: *Carica papaya* L., tratamento alternativo, antracnose, pós-colheita.

Abstract

Phytopathological treatments should minimize the risk of post-harvest diseases and delay the physiological processes of maturation and senescence. The best alternatives are alternative treatments, especially ozone that, in addition to controlling the fungus, increases the shelf life of papaya, without depreciating the quality of the fruits. Thus, the objective of this work was to study the effect of ozone on post-harvest conservation, aiming the control of the anthracnose and the increase the shelf life of papaya fruits. The experiment was conducted at Product Technology Laboratory, Federal University of Amazonas (UFAM), Manaus-AM. The treatments were constituted by application of ozone at concentrations of 0 (control); 0.6; 1.5 and 3.3 ppm; and post-harvest application of commercial fungicide. The fruits were stored at room temperature (27 ± 2 ° C and $85 \pm 5\%$ RH). Phytopathological action of ozone was determined by the incidence, severity, number and size of the anthracnose lesions; and the post-harvest quality of the fruits, through the shelf life evaluation; accumulated and daily mass loss (%), fruit peel color; electrolyte leakage (%); soluble solids (%); titratable acidity ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$); SS/AT ratio; pH and vitamin C ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$). A completely randomized design was used with ten (incidence, severity, number and size of anthracnose lesions and fruit shelf life) and five replicates (other post-harvest quality analyzes). For the shelf life analysis, the Log-Rank test ($p < 0.01$) was used by the Kaplan-Meier estimator. Regression analysis was performed considering the time of storage for the incidence, severity, number and size of lesions and accumulated mass loss. Other quality data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test ($p < 0.05$). The Pearson correlation coefficient was estimated for all variables at the level of significance of 1 and 5% by the t-Student test. Ozone reduced the severity of anthracnose to short (3.3 ppm) and long term (1.5 ppm), making it as effective as the commercial fungicide. Ozone increased the shelf life by seven days and maintained the post-harvest quality of papaya fruits. Thus, ozone becomes a potential technology for post-harvest use as a safe alternative to the use of pesticides in reducing anthracnose and increasing the conservation of papaya fruits.

Keywords: *Carica papaya* L., alternative treatment, anthracnose, post-harvest.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Incidência (A), severidade (B), número (C) e tamanho das lesões (D) causados pela antracnose em frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, durante o período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019 21
- Figura 2.** Vida útil de frutos de mamão submetidos aos tratamentos com ozônio e fungicida (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019..... 23
- Figura 3.** Perda de massa acumulada (PMA) dos frutos de mamão tratados com ozônio e com fungicida durante o período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019. 25
- Figura 4.** Cor da casca dos frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019 28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Escala de notas para quantificação da severidade da antracnose em frutos de mamão	13
Tabela 2. Escala visual para avaliação de aparência externa dos frutos de mamão.	14
Tabela 3. Estádios de maturação dos frutos de mamão	15
Tabela 4. Equação de regressão para as variáveis incidência, severidade, número e tamanho das lesões de antracnose em frutos de mamão, durante a conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), após o tratamento com ozônio e fungicida, Manaus-AM, 2019	19
Tabela 5. Severidade, número e tamanho de lesões da antracnose em frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019	22
Tabela 6. Equação de regressão para a variável perda de massa acumulada (PMA) em frutos de mamão, durante o período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), após o tratamento com ozônio e fungicida, Manaus-AM, 2019	24
Tabela 7. Perda de massa acumulada (PMA), perda de massa diária (PMD), cor da casca, extravasamento de eletrólitos (EE), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, pH e vitamina C de frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019.	27
Tabela 8. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis severidade, número e tamanho das lesões, perda de massa diária (PMD), cor da casca, extravasamento de eletrólitos (EE), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, pH, vitamina C e vida útil dos frutos de mamão, Manaus-AM, 2019	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1.	Importância econômica e características gerais dos frutos de mamão.....	4
3.2	Doenças pós-colheita do mamão: antracnose.....	6
3.3	Ozônio como método alternativo ao uso de agrotóxicos: aspectos gerais.....	7
3.4	Ozônio no controle de doenças pós-colheita de frutas e hortaliças.....	8
3.5	Ozônio na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças.....	10
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1	Material vegetal.....	12
4.2	Aplicação dos tratamentos.....	12
4.3	Avaliações.....	12
4.3.1	Fitossanidade.....	12
4.3.2	Qualidade pós-colheita.....	14
4.4	Delineamento experimental e análise estatística.....	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6	CONCLUSÃO.....	31
7	REFERÊNCIAS.....	32
8	ANEXO.....	40

1 INTRODUÇÃO

O mamão (*Carica papaya* L.) é uma fruta popular e saborosa, pertencente à família Caricaceae, que se enquadra nas mais importantes frutas tropicais e subtropicais atualmente cultivadas no mundo (AKTARUZZAMAN et al., 2018). No cenário global, o Brasil ocupa posição de destaque, com produção de aproximadamente 1,06 milhões de toneladas em 2017 (FAOSTAT, 2018) (IBGE, 2018). O seu cultivo ocorre em quase todo território nacional, sendo os estados da Bahia, Espírito Santo e Ceará responsáveis por 75% da produção (IBGE, 2018), o que faz com que o Brasil esteja entre os maiores exportadores do mundo, tendo o mercado europeu como o seu principal destino. Contudo, grande parte dos frutos de mamão produzidos são descartados em virtude, principalmente, de sua alta perecibilidade, o que está relacionado ao seu metabolismo climatérico, isto é, apresentam, após colhidos, pico de elevação respiratória e de produção de etileno.

O etileno é um hormônio gasoso responsável por inúmeros processos fisiológicos em plantas. Nos frutos, o efeito deste hormônio está relacionado ao amadurecimento. Trata-se de alterações físico-químicas e bioquímicas desejáveis pois tornam os frutos atrativos ao consumidor, como: degradação e/ou síntese de pigmentos, que resulta em mudança na cor da casca; acúmulo de açúcares e ácidos orgânicos, modificando o sabor da polpa; além da degradação das pectinas, causando o amaciamento dos tecidos (MORAIS et al., 2006; FANTE et al., 2013).

Entretanto, elevadas taxas de produção de etileno antecipam o amadurecimento e a consequente senescência, reduzindo a vida útil dos frutos. Além disso, é nessa fase que ocorre a manifestação dos sintomas de muitas doenças pós-colheita, destacando a antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) como a principal doença pós-colheita causadora de perdas por deterioração microbiológica em frutos de mamão e observada em todas as regiões produtoras do mundo, que a torna um dos principais fatores limitantes à exportação desta fruta (LIBERATO e TATAGIBA, 2001).

Métodos para evitar ou diminuir a severidade de microrganismos fitopatogênicos causadores de podridão em frutas têm se baseado em aplicações de agrotóxicos. Os frutos de mamão são geralmente tratados com fungicidas como o imazalil (Imidazol, registro MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - N° 3498) e o tiabendazol (Benzimidazol, registro MAPA N° 8396). No entanto, o uso persistente destes fungicidas

resultou no surgimento de cepas resistentes de *Colletotrichum* sp. (JINASENA et al., 2011), o que leva o produtor a aumentar as frequências de aplicação dos fungicidas. Além disso, o não cumprimento do tempo de carência, ocasiona a presença de resíduos químicos acima dos limites máximos permitidos pela legislação, o que gera uma preocupação com riscos à saúde humana. Em 2015, uma pesquisa revelou que mais de 50% dos vegetais, oferecidos no varejo da cidade de Manaus-AM, encontravam-se impróprios para o consumo humano por conter níveis de resíduos de agrotóxicos acima do limite máximo permitido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (SOUZA, 2016).

Portanto, para obter frutas e hortaliças *in natura* com boa qualidade e, até mesmo, com padrões de exportações, técnicas e métodos de manejo de pós-colheita para frutos de mamão tem sido utilizada, com o intuito de estender a vida útil e assegurar a qualidade dos frutos.

Entre os métodos que vêm sendo utilizados no controle de doenças pós-colheita, o ozônio (O₃), a forma triatômica do oxigênio, tem se mostrado promissor, por se tratar de um forte oxidante e possuir baixo tempo de meia vida. Outra vantagem atribuída ao uso do ozônio é que o mesmo oxida o etileno liberado pelos frutos, reduzindo o amadurecimento e aumentando o período de conservação. Desse modo, o ozônio surge como uma alternativa em substituição aos produtos sintéticos, como um provável inibidor do crescimento de microrganismos fitopatogênicos quanto um retardador do amadurecimento dos frutos.

Baseado no exposto formulou-se a hipótese central desse estudo: o ozônio controla o crescimento de microrganismos, aumentando a vida útil e mantendo a qualidade pós-colheita dos frutos de mamão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar o efeito do ozônio na conservação pós-colheita de mamão, visando o controle da antracnose (*Colletotrichum sp.*) e o aumento da vida útil dos frutos.

2.2 Objetivos específicos

- i. Verificar o efeito do ozônio no controle da antracnose em mamão.
- ii. Avaliar a vida útil e qualidade pós-colheita de frutos de mamão tratados com ozônio em diferentes concentrações.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Importância econômica e características gerais dos frutos de mamão

O mamão pertence à família Caricaceae, a qual abriga seis gêneros botânicos; contudo, a grande importância econômica em termos de produção de frutos, é atribuída à espécie *Carica papaya* L., a qual é amplamente cultivada em regiões da América do Sul, África, Ásia e Oceania, caracterizando-se como uma planta de clima tropical e subtropical (HEYWOOD, 1985).

O Brasil produziu aproximadamente 1,06 milhões de toneladas em 2017, o que corresponde a 16,7% da produção mundial. Esse valor enquadra o Brasil em segundo maior produtor de mamão sendo superado apenas pela Índia. Os maiores produtores nacionais são a Bahia (368,9 mil toneladas), Espírito Santo (311,1 mil toneladas) e Ceará (115,5 mil toneladas) (IBGE, 2018). Destes, o Espírito Santo se destaca no ranking das exportações da fruta. De acordo com a Associação Brasileira dos Exportadores de Papaya (BRAPEX, 2015), em 2014, o Brasil exportou cerca de 33 mil toneladas, gerando uma receita de US\$ 47 milhões.

As cultivares mais exploradas no Brasil pertencem a dois grupos: as do grupo Formosa e as do grupo Solo; este último é também conhecido como Havaí ou Papaia. Antes, os mamões do grupo Formosa eram destinados principalmente para o mercado interno (RAGONHA, 2005); porém nos últimos anos as suas exportações têm aumentado. Já os do grupo Solo são comercializados no mercado interno e externo.

Os frutos do mamão são do tipo bacóide, carnoso, com peso entre 0,1 a 7,8 Kg, sendo encontrados de diversas formas, como: arredondado, alongado, cilíndrico, elipsóide, esférico, piriforme, oblongo, ovóide ou sulcado. A sua coloração quando maduro varia do amarelo ao alaranjado, e sua polpa tem consistência suave com coloração variando do amarelo ao vermelho. As sementes estão localizadas na sarcotesta dentro cavidade interna do fruto (TOKUHISA, 2007).

A composição nutricional do mamão varia de acordo com a cultivar, estágio de maturação, condições climáticas, entre outros. No geral, os frutos apresentam-se como uma rica fonte de vitaminas e minerais, tendo destaque para o ácido ascórbico e a pró-vitamina A; ainda, apresenta baixas quantidades de sódio, gordura e calorias, e carecem de amido (HEWAJULIGE e DHEKNEY, 2016).

O entendimento das fases de desenvolvimento do fruto é essencial para determinação da época ideal de colheita, e isso influencia fortemente na sua conservação pós-colheita. As fases de desenvolvimento dos frutos têm início com a fertilização da flor e, posteriormente, as etapas de crescimento, maturação, amadurecimento e senescência, sendo difícil a diferenciação precisa das fases (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Em diversos frutos, o estágio de maturação, o ponto de colheita e de consumo são definidos pela mudança na cor da casca. No caso do mamão, o ponto de colheita é determinado, principalmente, pela cor da casca, pois é considerado um índice de maturidade bastante confiável. Frutos colhidos no estágio 2 (duas pintas amarelas) de maturação apresentam melhor associação entre qualidade e manejo pós-colheita (SOUZA, 1998).

De um modo geral, o amadurecimento do mamão é caracterizado por alterações físico-químicas e bioquímicas desejáveis, pois tornam os frutos atrativos ao consumidor; como, mudança na cor da casca, resultado da degradação e/ou síntese de pigmentos; acúmulo de açúcares e ácidos orgânicos, modificando o sabor dos frutos; além da degradação das pectinas, causando o amaciamento dos tecidos (MORAIS et al., 2006; FANTE et al., 2013). Essas mudanças é que definem a qualidade pós-colheita dos frutos e estão associadas ao climatério, etapa do desenvolvimento caracterizado por elevação na taxa respiratória e de produção de etileno, o que caracteriza o mamão como um fruto climatérico.

Aparência, cor, aroma, sabor e textura são características sensoriais chave que contribuem para a avaliação da qualidade de um fruto. Essas características podem ser avaliadas por um grupo de testadores que treinaram suas faculdades sensoriais e podem descrever produtos com base em visão, olfato, paladar ou toque. Mas também podem ser avaliados por métodos analíticos, como firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis, pH, açúcares totais e redutores, entre outros (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Os valores dos parâmetros usados para determinar a qualidade do mamão são bem variáveis e são resultado da variabilidade genética e condições edafoclimáticas das áreas de cultivo, além dos tratos culturais realizados. De um modo geral a firmeza do mamão no estágio 2 varia de 34 a 98N (SILVA, 1995; FREITAS et al., 2018). Também, a literatura mostra valores de SS entre 5 e 19% (PAULL, et al., 1999; SOUZA et al., 2014; FREITAS et al., 2018). O mamão é um fruto com baixa acidez, apresentando valores geralmente menores que 0,2% de ácido cítrico (BRON et al., 2006; SOUZA et al., 2014). A relação SS/AT ou “ratio” permite melhor avaliação do sabor dos frutos que a avaliação isolada dos teores de açúcares e acidez. Essa variável expressa o equilíbrio entre doce e ácido, o que define a

sensação agradável no paladar do consumidor (DIAS et al., 2011). Para o mamão, dados na literatura mostram alta variação, SS/AT entre de 32 a 250 (SOUZA et al., 2009; FONTES et al., 2012; SOUZA et al., 2014).

3.2 Doenças pós-colheita do mamão: antracnose

As doenças pós-colheita são as responsáveis por grande parte das perdas dos frutos, podendo chegar até 75% (VENTURA, 2016). No caso do mamão, a principal doença pós-colheita causadora de prejuízos na comercialização dos frutos é a antracnose (DANTAS, 2018).

O fungo *Colletotrichum gloeosporioides* L., agente causal primário desta doença, tem limitado o rendimento da produtividade de frutos, sendo encontrado nas regiões tropicais e subtropicais, ou seja, em todas as regiões produtoras de mamão do mundo (SNOWDON, 1990; FILHO, 2003).

A manifestação de sintomas de ataque do *C. gloeosporioides* pode ocorrer em todas as fases do desenvolvimento dos frutos, desde o florescimento até a pós-colheita. Porém, o fungo é capaz de permanecer presente no fruto em estado latente, sem a manifestação dos sintomas da doença, até presenciarem condições favoráveis para realizarem a infecção (NERYSILVA et al., 2001). Desse modo, pode ocorrer a infecção em todas as fases de desenvolvimento, sendo que o alto nível de severidade é encontrado em frutos maduros, chegando a ter incidência de 70 a 100%, quando não são previamente tratados (CARNELOSSI, 2009).

A doença é caracterizada tipicamente por apresentar lesões necróticas com bordos levemente elevados, com o centro apresentando tecidos deprimidos, de coloração marrom-escuro a preta, arredondadas com círculos concêntricos, tornando-se irregulares. Com o desenvolvimento da lesão, o micélio do fungo pode vir a cobrir a área necrosada e posteriormente dar início a formação de massas de esporos, que levará a uma coloração rosácea a alaranjada da área. Portanto, com a evolução da lesão, as necroses atingem a polpa do fruto causando o escurecimento, podendo necrosar apenas uma parte ou completamente o fruto (BAILEY et al., 1992; FERRARI et al., 2011).

O patógeno é pertencente à classe dos Deuteromycetes, ordem Melanconiales e família Melanconiaceae. Este age colonizando os tecidos e formando acérvulos subepidérmicos, que são distribuídos em círculos, e resultam na liberação dos conidióforos com conídios hialinos e gutulados, unicelulares, numerosos, arredondados nas extremidades, levemente curvos, com

12-19 µm de comprimento, por 1,0-6,0 µm de largura, e liberados por meio de uma mucilagem de coloração alaranjada, facilmente identificada em superfícies apodrecidas. E o estágio sexual ou perfeito do fungo (Teleomorfo) corresponde a *Glomerella cingulata* (Ston) Spaul & Schr, que possui peritécios de coloração marrom, ostilados, isolados ou em grupos, incrustados em estroma preto e sem paráfises. Os ascos são quase claviformes, oblongos e no seu interior contêm 8 ascósporos hialinos, unicelulares, cilíndricos e dispostos em tamanho crescente (REZENDE e MARTINS, 2005).

O controle de *C. gloeosporioides* requer importantes implicações na compreensão dos padrões complexos do ciclo de vida do fungo e de suas interações com os seus hospedeiros, pois o controle e a detecção podem ser dificultados devido a mudanças em estágios sucessivos do ciclo de vida do patógeno (GASPAROTO et al., 2017).

A doença é comumente controlada por tratamento hidrotérmico, que consiste na imersão do fruto em água com temperatura de 49 °C por 20 min, e posterior resfriamento (AKAMINE e ARISUMI, 1953) e por meio de aplicação de fungicidas sintéticos, que devido a diversos fatores vêm apresentando efeitos nocivos para a saúde dos seres humanos e também para o ambiente (OLIVEIRA, 2016).

No decorrer dos anos 80, os ingredientes ativos Captan e Benomyl, que tinham destaques no mercado, dentre outros fungicidas tiveram sua fabricação e o uso proibidos pela U.S. Environmental Protection Agency (WISNIEWSKI, 1992). No entanto, atualmente ainda existe uma ampla variedade de fungicidas específicos para a antracnose registrados no Brasil, de grupos químicos como os ditiocarbamatos, triazóis, benzimidazóis, estrobilurinas, imidazóis e carboxiamidas (BRASIL, 2018).

A busca por produtos naturais disponíveis como métodos de controle alternativos para substituir os tradicionais vem sendo investigados, com o objetivo de diminuir os danos ocasionados ao ambiente e aos seres vivos, e sem ocasionar danos à fisiologia dos vegetais, melhorando a qualidade do produto oferecido à população brasileira e atendendo as exigências para que o fruto alcance mercados externos ao Brasil, onde são vetados os tratamentos pós-colheita com a utilização de agrotóxicos.

3.3 Ozônio como método alternativo ao uso de agrotóxicos: aspectos gerais

O oxigênio triatômico ou ozônio (O_3 , $O_2 + O$) existe no estado gasoso em temperatura ambiente e refrigeração e é parcialmente solúvel em água. O ozônio é relativamente estável no ar, mas altamente instável em água. Na fase gasosa, sua meia-vida é de aproximadamente 12h. Já, em solução aquosa apresenta meia-vida que varia de 20 a 30 min; porém, alguns autores já verificaram uma meia-vida de 165 min (KHADRE, YOUSEF e KIM, 2001; VIDAL, 2003; DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

O ozônio não pode ser armazenado e deve ser gerado continuamente. O produto da decomposição do ozônio é o oxigênio; então, produtos alimentícios tratados com ozônio estão livres de resíduos desinfetantes. O ozônio é facilmente detectável a 0,01-0,05 ppm (MILLER et al., 2013). Tem um odor característico e pungente. É um gás azul quando gerado a partir de ar seco, mas incolor quando gerado a partir de alta pureza oxigênio (PRABHA et al., 2015).

O ozônio é produzido de forma natural na estratosfera em pequenas quantidades ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$) por relâmpagos e radiação ultravioleta (KIM et al., 1999), e na troposfera como resultado das reações fotoquímicas entre hidrocarbonetos, oxigênio e nitrogênio que são lançados por automóveis, indústrias, florestas e ação vulcânica (HORVATH et al., 1985 *apud* PRESTES, 2007). O ozônio pode ser sintetizado para uso comercial, por um gerador de ozônio, por meio de descargas elétricas, também chamado de processo corona. Para tal, dois eletrodos são submetidos a uma elevada diferença de potencial (aproximadamente 1000 V). O ozônio é gerado pela passagem de ar ou oxigênio puro entre os dois eletrodos. As colisões geradas pela energia dos elétrons causam a dissociação do oxigênio e a consequente formação do ozônio (USEPA, 1999).

Por se tratar de um forte oxidante, atribuiu-se ao ozônio atividade antimicrobiana, agindo como fungicida, bactericida e germicida. Essas características conferem ao ozônio potencial uso na indústria alimentícia (KIM et al., 1999; KIM et al., 2003), bem como na higienização das superfícies dos alimentos, limpeza de equipamentos usados na agroindústria, na reutilização de águas residuais, entre outros usos. Outra ação do ozônio é o seu poder de reduzir o gás etileno (C_2H_4) em câmeras frigoríficas e, com isso, prolongar o período de vida útil de frutas e legumes (AGUAYO et al., 2006).

3.4 Ozônio no controle de doenças pós-colheita de frutas e hortaliças

Dentre as tecnologias para controle alternativo de doenças pós-colheita, o uso de ozônio tem se mostrado promissor e com isso tem despertado o interesse comercial de

indústrias alimentícias e agroindústrias, principalmente após 2001, quando a Food and Drug Administration (FDA) aprovou a aplicação de ozônio como um aditivo alimentar para o tratamento, armazenamento e processamento de alimentos em fase gasosa e aquosa (FDA, 2001).

A partir desta aprovação, vários estudos foram realizados para avaliar a eficácia do ozônio em frutas e hortaliças, sendo utilizadas principalmente duas formas de aplicação de tratamentos de ozônio: (1) a exposição do produto a uma atmosfera com adição de gás ozônio, ou (2) a imersão ou lavagem do produto em água contendo ozônio (MILLER et al., 2013).

O uso do ozônio tem aumentado, pois se apresenta como uma potencial tecnologia que pode vir a substituir os saneantes a base de cloro (ALI et al., 2014) e agrotóxicos (ONG et al., 2013). Tratamentos com ozônio em concentrações variando de 0,15 a 5 mg L⁻¹ têm inibido o crescimento de microrganismos em alface (TRINETTA et al., 2011), aspargo (QIANG et al., 2005), cenoura (SHARPE et al., 2009), laranja (PATIL et al., 2009), maçã (SHARPE et al., 2009), mamão (ALI et al., 2014), melão (TRINETTA et al., 2011); morango (ADAY e CANER, 2014) e tangerina (BOONKORN et al., 2012).

O poder microbicida do ozônio é complexo, pois o ozônio ataca diversos constituintes celulares dos microrganismos, incluindo proteínas, lipídios insaturados e enzimas respiratórias ligadas às membranas, além de enzimas e ácidos nucleicos presentes no citoplasma (KHADRE, 2001).

Alguns estudos confirmam a eficácia dos tratamentos com ozônio na inibição de crescimento micelial e também na produção de esporos, como descrito por Tzortzakis et al. (2007) em frutos de tomates e por Ozkan et al. (2011) em uvas de mesa. Nesses estudos, a inibição foi diretamente relacionada à concentração e o tempo de exposição ao ozônio (ONG et al., 2013). De acordo com Ozkan et al. (2011) os melhores resultados de inibição ocorreram em concentrações maiores do ozônio.

Em contrapartida aos resultados obtidos por Ong et al. (2013), Ribeiro et al. (2017) mostrou que a relação entre concentração de ozônio e tempo de exposição não ocorreu; pois, a maior dose do ozônio reduziu a resistência do fruto a antracnose. Nesse mesmo trabalho, os autores verificaram que a concentração de 1,6 ppm de ozônio aplicado por 96h reduziu a incidência da doença em mamão. Do mesmo modo, Rice (2005), obteve resultados satisfatórios para cebola e batatas, onde preveniu a disseminação de várias doenças fúngicas.

3.5 Ozônio na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças

A conservação dos frutos, principalmente os climatéricos, como no caso do mamão, é fortemente influenciada pela taxa respiratória e de produção de etileno. Na maioria dos trabalhos publicados, o ozônio não apresenta efeito nas taxas respiratórias e de produção de etileno (ZHANG et al., 2005). Contudo, há publicações com resultados contraditórios (MINAS et al., 2012). Essa ambiguidade de resultados deve-se, provavelmente, as diferentes condições aplicadas. De modo geral, as baixas concentrações de ozônio não têm efeito significativo nesses parâmetros e as altas podem induzir o estresse oxidativo (FORNEY et al., 2003; ZHANG et al., 2005). Verificou-se que o ozônio quando aplicado de forma gasosa (0,2 ppm) não afetou a respiração e a produção de etileno de brócolis, mas na maior concentração do gás (0,7 ppm) a produção de etileno e a taxa respiratória aumentaram, causando danos fisiológicos às inflorescências (FORNEY et al., 2003). Zhang et al. (2005) também não relataram mudança na taxa de respiração do aipo minimamente processado quando tratado com 0,03 ppm de água ozonizada durante a conservação. No entanto, os autores verificaram redução na taxa respiratória a medida que se aumentava a concentração de ozônio.

O ozônio pode oxidar o etileno liberado pelos frutos, reduzindo sua concentração em câmaras de armazenamento. Frutos climatéricos apresentam a síntese auto catalítica de etileno; desse modo, se o ozônio reduz o etileno das câmaras de armazenamento, conseqüentemente menos etileno será produzido e liberado pelo vegetal, e maior conservação das frutas e hortaliças. Skog e Chu (2001) verificaram que o ozônio na concentração de 0,4 ppm reduziu o etileno em câmaras contendo maçãs e pêras armazenadas. Os mesmos autores não detectaram etileno quando as concentrações de ozônio foram elevadas para 1,5 a 2 ppm.

Vários pesquisadores avaliaram os efeitos do ozônio (na sua forma gasosa e aquosa) sobre a qualidade de algumas frutas e hortaliças (ZAMBRE et al., 2010; ALEXANDRE, BRANDÃO e SILVA, 2012; KECHINSKI et al., 2012). Pode-se constatar que o efeito do ozônio na qualidade é também altamente influenciado pelo produto (MILLER et al., 2013). Além disso, se os tratamentos de ozônio não forem aplicados adequadamente, eles podem promover a deterioração oxidativa.

Em alguns estudos, o ozônio não afetou negativamente a qualidade sensorial de frutas e hortaliças. Mas, reteve a qualidade geral durante o armazenamento dos vegetais (WANG, FENG e LUO, 2004; AKBAS e OZDEMIR, 2008).

A cor das frutas e hortaliças não é afetada pelo ozônio. No entanto, algumas exceções têm sido relatadas, especialmente, quando altas concentrações de ozônio são aplicadas (KLOCKOW et al., 2009).

Em geral, os tratamentos com ozônio apresentam pouco impacto sobre a firmeza dos frutos (VENTA et al., 2010; ALEXANDRE et al., 2012; MINAS et al., 2012). Porém, Rodoni et al. (2010) atribuem atraso na perda da firmeza de tomates às modificações da parede celular causadas pelo ozônio. Os autores verificaram que a exposição ao ozônio causou uma clara diminuição na atividade da pectinametilesterase (PME), solubilização e despolimerização da pectina.

Os estudos mostram que a água ozonizada ou ozônio gasoso (curto prazo de exposição) não altera o teor de açúcar total nas frutas e hortaliças (ZHANG et al., 2005; RODONI et al., 2010).

Também, verificou-se na literatura que o ozônio não afeta a acidez titulável e pH, com exceção para o estudo desenvolvido por Venta et al. (2010), que observaram redução nos valores do pH de tomates tratados com gás ozônio.

Conclusões contraditórias foram encontradas em estudos sobre o efeito do ozônio na perda massa dos vegetais. O ozônio pode reduzir, aumentar ou não apresentar nenhum efeito sobre a perda de massa das frutas e hortaliças (FORNEY et al., 2003; OZTEKIN et al., 2006; RODONI et al., 2010; MINAS et al., 2012). Palou et al. (2002) verificaram que a exposição ao gás ozônio aumentou a perda de massa fresca em pêssegos, mas não em uvas. Forney et al. (2003) também relataram um aumento na perda de massa fresca em brócolis tratados com ozônio e atribuíram este efeito à degradação da cutícula. Porém, de acordo com Kechinski et al. (2012), a perda de massa fresca em frutos de mamão ocorre devido aos danos à membrana causada pelo ozônio, o que resultaria em extravasamento de solutos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material vegetal

Frutos de mamão (*Carica papaya* L.) da cultivar 'Sunrise Solo', mais conhecida como mamão Havaí, Papaya ou Amazônia, no estágio de maturação 1 (fruto com até 15% da casca amarela, Tabela 3), foram adquiridos na feira de produtores locais do município de Manaus-AM. Em seguida, foram transportados para o Laboratório de Tecnologia de Produto (LTP) do Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Os frutos foram selecionados, descartando aqueles que apresentaram coloração da casca inadequada (fora do estágio 1 de maturação), doentes, com injúrias mecânicas e malformações. Em seguida, foram lavados com detergente neutro (0,2%) e secos ao ar por 1 hora. Após secagem, os frutos foram submetidos aos tratamentos.

4.2 Aplicação dos tratamentos

O estudo foi constituído por cinco tratamentos: 0,0 (controle); 0,6; 1,5 e 3,3 ppm de ozônio e fungicida. Aplicação do ozônio ocorreu em caixas hermeticamente fechadas (1000 l), acoplada a um gerador de ozônio (modelo TES 125, Interozone, Brasil) com regulagem de concentração. Os frutos foram expostos as diferentes concentrações de ozônio por 4 h. A aplicação do fungicida comercial (Nativo®, 1,2 ml L⁻¹) ocorreu de forma manual, por meio de um borrifador (1 l) e com a utilização de EPI's recomendados para a atividade. Após aplicação dos tratamentos, os frutos foram dispostos sobre bancadas, conservados em temperatura ambiente (27 ± 2 °C e $65 \pm 2\%$ de UR), e submetidos às avaliações.

4.3 Avaliações

4.3.1 Fitossanidade

Incidência, severidade, número e tamanho das lesões da antracnose

A incidência da doença foi estimada por uma escala de notas, variando de 0 (ausência) a 1 (presença do micélio do fungo). A severidade foi determinada por uma escala de notas, variando de 0 a 5, conforme Tabela 1 (AZEVEDO, 1997). O número de lesões foi

determinado pela contagem de lesões. E, o tamanho das lesões foi mensurado com auxílio de uma régua graduada (RIBEIRO et al., 2016).

Tabela 1. Escala de notas para quantificação da severidade da antracnose em frutos de mamão

Ilustração	Referência
	Até 5%
	De 6 a 10%
	De 11 a 20%
	De 21 a 40%
	De 41 a 60%
	De 60 a 80%
	>80%

Fonte: Azevedo (1997)

4.3.2 Qualidade pós-colheita

Vida útil dos frutos

Realizou-se a avaliação da aparência externa dos frutos, diariamente, seguindo uma escala de notas variando de 5 a 0, conforme a Tabela 2. Os frutos que atingiram nota 2 foram descartados, por serem considerados impróprios para comercialização.

Tabela 2. Escala visual para avaliação de aparência externa dos frutos de mamão.

Nota	Referência	Aparência externa
5	< 1% do fruto afetado	Ausência de depressões, manchas ou ataque de micro-organismos
4	1 a 10% do fruto afetado	Traços de depressões ou manchas
3	11 a 30% do fruto afetado	Depressões ou manchas leves
2	31 a 50% do fruto afetado	Depressões ou manchas de média intensidade
1	51 a 60% do fruto afetado	Depressões ou manchas com intensidade severa ou ataque de microrganismos
0	> 61% do fruto afetado	Depressões ou manchas com intensidade muito severa ou ataque generalizado de microrganismos

Fonte: De Sousa (2019)

Perda de massa fresca acumulada e diária

Realizou-se a determinação da massa dos frutos diariamente até o fim da vida-útil. Posteriormente, calculou-se a perda de massa fresca acumulada (PMA) de acordo com a fórmula abaixo:

$$\text{PMA (\%)} = (\text{Peso inicial/Peso final}) * 100$$

A perda de massa fresca diária (PMD) foi determinada pela razão entre PMA e o número de dias de vida útil de cada tratamento. A PMA e PMD foram expressos em porcentagem.

Cor da casca

A cor da casca foi atribuída através de notas de 1 a 5, de acordo com o amarelecimento, estabelecido como base para os estádios de amadurecimento na classificação brasileira de mamão, conforme Tabela 3 (CQH, 2003).

Tabela 3. Estádios de maturação dos frutos de mamão

Estádio	Referência
1	fruto com até 15% da casca amarela
2	fruto com 15 a 25% da casca amarela
3	fruto com até 25 a 50% da casca amarela
4	fruto com 50% a75% da casca amarela
5	fruto com75% a100% da casca amarela

Fonte: CQH (2003)

Extravasamento de eletrólitos

Realizada de acordo com a metodologia descrita por Sousa et al. (2017), com modificações. Cilindros (1,0 cm de diâmetro por 1,0 cm de comprimento) retirados da região da casca foram lavados em água destilada e secados superficialmente com papel absorvente. Depois, foram incubados em frascos, com tampa, contendo 20 mL de água destilada, e deixados em repouso por 6 h. Após repouso, mediu-se a condutividade elétrica inicial da solução (CEi), com o auxílio de um condutivímetro (Digimed, Modelo DM – 3P). Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa a 90°C por 2 h. Após esse período, os frascos foram deixados na bancada até a solução entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente (27 ± 1 °C). Mediu-se novamente a condutividade elétrica, expressando o total de eletrólitos extravasados (CEf). O extravasamento de eletrólitos (EE) foi calculado pela fórmula abaixo, e os resultados expressos em porcentagem da condutividade total.

$$EE (\%) = (CEi)/CEf) *100$$

Sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis (SS) da polpa foi realizado com auxílio de um refratômetro digital (Instrutherm Brasil[®], RTDS-28) com compensação automática de temperatura. Os resultados foram expressos em %, de acordo com a metodologia recomendada pela AOAC (2005).

Acidez titulável

A acidez titulável (AT) foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N, previamente padronizado, até a coloração róseo claro. O titulado foi composto por 1 g de polpa, 50 mL de água destilada e 2 gotas de fenolftaleína alcoólica a 1%. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico (AOAC, 2005).

Relação SS/AT

Foi determinada pela razão do teor de sólidos solúveis e acidez titulável.

pH

O pH foi medido diretamente na polpa, com auxílio de um potenciômetro digital com ajuste automático de temperatura, devidamente padronizado com soluções tampões pH 7,0 e 4,0, conforme metodologia recomendada pela AOAC (2005).

Vitamina C

A vitamina C foi obtida por titulometria com solução de DFI (2,6 diclorofenolindofenol, 0,02%) até coloração róseo claro permanente, utilizando 1 grama de polpa diluída em 100 mL de ácido oxálico (0,5%) de acordo com Sousa et al. (2017). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹ de polpa.

4.4 Delineamento experimental e análise estatística

Para as avaliações de fitossanidade utilizou-se o DIC com 10 repetições, sendo as avaliações realizadas diariamente até o descarte dos frutos (fim da vida útil). Os dados coletados foram submetidos a análise de regressão considerando o tempo de armazenamento e à análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as avaliações de qualidade pós-colheita utilizou-se o DIC com 10 repetições para análise vida útil, perda de massa acumulada e diária, sendo as avaliações realizadas diariamente até o descarte dos frutos. Para as demais avaliações pós-colheita utilizou-se o DIC com 5 repetições e avaliações realizadas no início e fim da vida útil dos frutos.

Os dados coletados na avaliação da vida útil foram submetidos à análise de sobrevivência, com a aplicação do teste LogRank, utilizando-se software livre R. Para a perda de massa fresca acumulada foi realizada a análise de regressão considerando o tempo de armazenamento. E, para as demais avaliações de qualidade pós-colheita realizou-se à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

E estimou-se o coeficiente de correlação de Pearson para todas as variáveis ao nível de significância de 1 e 5% pelo teste t-Student.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de regressão, observou-se equações com comportamento quadrático para todos os tratamentos testados em todas as variáveis (Tabela 4), com coeficiente de regressão (R^2) seguindo a linha de tendência, variando de 0,90 a 0,96 para incidência; 0,91 a 0,97 para severidade; 0,87 a 0,97 para número de lesões; e 0,88 a 0,99 para tamanho de lesões.

Tabela 4. Equação de regressão para as variáveis incidência, severidade, número e tamanho das lesões de antracnose em frutos de mamão, durante a conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), após o tratamento com ozônio e fungicida, Manaus-AM, 2019

Ozônio (ppm)	Incidência	Severidade	Nº de lesões	Tamanho das lesões
0	$y = 3,9286x^2 - 8,9286x + 2,8571$ $R^2 = 0,9428$	$y = 1,2048 x^2 - 3,6643x + 1,2595$ $R^2 = 0,9763$	$y = 0,1181 x^2 - 0,3647x + 0,1362$ $R^2 = 0,9468$	$y = 53,98 x^2 - 120,81x + 22,939$ $R^2 = 0,9949$
0,6	$y = 0,0343 x^2 + 8,8942x - 13,393$ $R^2 = 0,914$	$y = 0,0969 x^2 + 1,796x - 3,6294$ $R^2 = 0,9118$	$y = 0,0103 x^2 + 0,4041x - 0,7584$ $R^2 = 0,8777$	$y = 7,257 x^2 + 114,3x - 245,08$ $R^2 = 0,8882$
1,5	$y = 0,2997 x^2 + 6,953x - 9,7802$ $R^2 = 0,9091$	$y = 0,2069 x^2 + 0,2204x - 1,2025$ $R^2 = 0,9796$	$y = 0,0171 x^2 + 0,0583x - 0,1582$ $R^2 = 0,9527$	$y = 16,015 x^2 - 48,002x + 41,768$ $R^2 = 0,9571$
3,3	$y = 0,8941 x^2 - 1,4436x - 2,1978$ $R^2 = 0,9657$	$y = 0,3735 x^2 - 1,574x + 0,543$ $R^2 = 0,9624$	$y = 0,0412 x^2 - 0,1902x + 0,0823$ $R^2 = 0,9431$	$y = 17,2 x^2 - 31,278x - 48,657$ $R^2 = 0,9412$
Fungicida	$y = 0,4476 x^2 + 0,8045x - 0,5882$ $R^2 = 0,9645$	$y = 0,11 x^2 - 0,2607x + 0,1051$ $R^2 = 0,9799$	$y = 0,0265 x^2 - 0,1679x + 0,164$ $R^2 = 0,9713$	$y = 7,153 x^2 - 31,869x + 37,673$ $R^2 = 0,9391$

Fixou-se o sexto dia de avaliação como referência, o qual corresponde ao fim da vida útil dos frutos que não foram expostos ao ozônio (controle) (Figura 2). De acordo Pimentel et al. (2011), esse é o tempo médio de conservação do mamão em temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C).

Por meio da Figura 1A é possível visualizar que os frutos do controle e os expostos a 1,5 ppm de ozônio apresentaram incidência da antracnose ao terceiro dia de conservação. A incidência da antracnose aumentou com o período de conservação, sendo observado 100% de incidência ao sexto dia para o controle, nono dia para os frutos expostos a 1,5 ppm de ozônio, décimo segundo dia para os frutos expostos a 0,6 e 3,3 ppm de ozônio e décimo quarto dia para os frutos tratados com fungicida. Esses resultados possibilitam inferir que o ozônio retardou a infecção do patógeno no fruto, pois ao sexto dia a incidência da antracnose nos frutos expostos ao ozônio ficou abaixo de 30%. Ong et al. (2013) também constaram que o ozônio retardou o início da antracnose em frutos de mamão.

A severidade da antracnose aumentou no decorrer do período de conservação (Figura 1B). Ao sexto dia pode-se observar severidade de 24,2; 8; 6,5; 3,7 e 1,3 % para os frutos do controle (0 ppm), 1,5 ppm, 0,6 ppm, fungicida e 3,3 ppm de ozônio, respectivamente.

O número e tamanho das lesões da antracnose aumentaram com o período de conservação (Figura 1C e D). Ao sexto dia, os frutos expostos a maior concentração de ozônio (3,3 ppm) apresentaram menor número médio de lesão (0,2) e tamanho de lesão (190,8 mm²), que corresponde a uma redução de 91,8% e 84,7%, respectivamente. Isso explica a menor severidade da doença nesses frutos, indicando maior efetividade do ozônio na concentração de 3,3 ppm em reduzir os sintomas da antracnose, até mesmo quando comparado ao fungicida comercial.

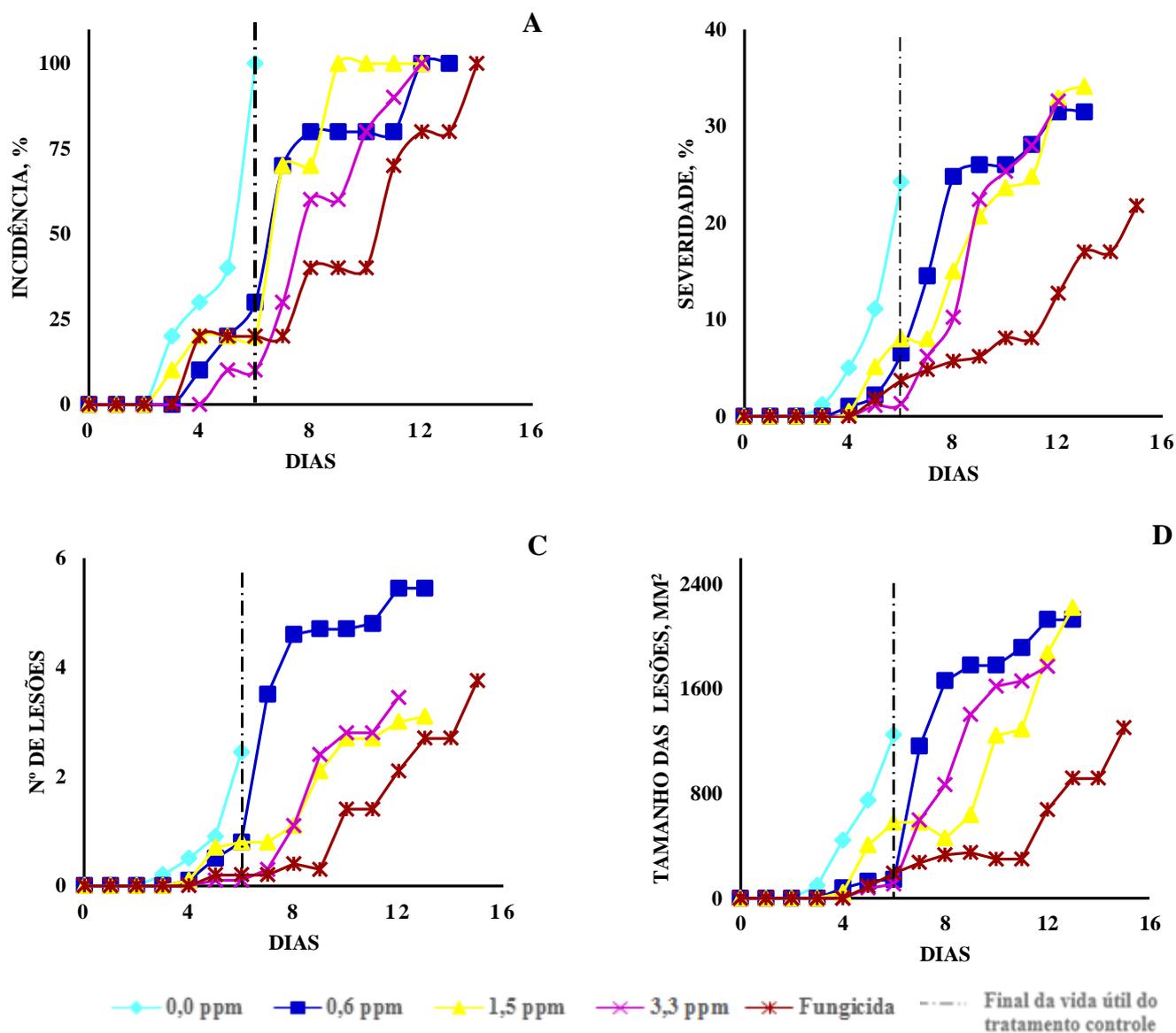


Figura 1. Incidência (A), severidade (B), número (C) e tamanho das lesões (D) causados pela antracnose em frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, durante o período de conservação ($27 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019

Realizou-se a análise de variância e teste de médias dos dados coletados no início e no fim da vida útil dos frutos, que foram definidos na análise de sobrevivência (Figura 2).

Observou-se efeito dos tratamentos ($P < 0,05$) e do tempo de conservação ($P < 0,01$) para severidade da antracnose (Anexo I). O fungicida e o ozônio a 1,5 ppm, apresentaram uma menor percentagem de severidade da doença, com 8,6 e 13,3% respectivamente; e a

severidade variou em relação ao tempo de 0 no início a 27,7% no fim do período de conservação (Tabela 5).

Tabela 5. Severidade, número e tamanho de lesões da antracnose em frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019

Ozônio (ppm)	Severidade (%)	Nº lesões	Tamanho de lesões (mm ²)
0	15,9 ± 3,37 b	1,35 ± 0,51 a	939,3 ± 352,08 ab
0,6	15,9 ± 1,81 b	2,85 ± 0,37 a	1045,1 ± 125,68 ab
1,5	13,3 ± 1,68 ab	2,35 ± 0,56 a	1311,45 ± 213,68 b
3,3	15,6 ± 2,66 b	1,60 ± 0,66 a	986,55 ± 208,81 ab
Fungicida	8,6 ± 1,60 a	1,45 ± 0,36 a	502,6 ± 102,08 a
Tempo de conservação			
Início	0,0 ± 0,0 b	0,0 ± 0,0 b	0,0 ± 0,0 b
Fim	27,7 ± 3,24 a	3,84 ± 0,75 a	1914,0 ± 288,08 a
CV, %	54,1	96,6	74,3
Média	13,8	1,92	957,0

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Verificou-se somente o efeito do tempo de conservação ($P < 0,01$) para o número de lesões (Anexo I), sendo que o número de lesões evoluiu de 0 no início para 3,84 no fim do período de conservação (Tabela 5).

Quanto ao tamanho das lesões, foi observado efeito nos tratamentos ($P < 0,05$) e do tempo de conservação ($P < 0,01$) (Anexo I). O tratamento com fungicida apresentou um menor tamanho das lesões, de 502,6 mm². O tamanho das lesões evoluiu de 0 no início para 1914 mm² no fim do período de conservação (Tabela 5).

A severidade, número e tamanho das lesões partiram do zero aumentando com o tempo de conservação (Tabela 5), o que mostra que o fungo estava presente no fruto em estado latente, manifestando os sintomas quando presenciaram condições favoráveis para realizarem a infecção, que nesse caso é o amadurecimento (NERYSILVA et al., 2001).

As médias da severidade, número e tamanho das lesões de todos os tratamentos em relação ao controle (0 ppm de ozônio) foram semelhantes (Tabela 5); contudo, deve-se levar em consideração o atraso de dias dos frutos expostos ao ozônio para que chegasse a mesma severidade, número e tamanho das lesões causadas pela antracnose, que foi de seis dias para os frutos tratados com 3,3 ppm de ozônio e sete dias para os frutos tratados com 0,6 e 1,5 ppm de ozônio. Assim, foi possível constatar que a curto prazo o ozônio apresentou um efeito fungistático.

Esse efeito fungistático causado pelo ozônio, possivelmente, ocorreu em virtude da geração de espécies reativas de oxigênio nos esporos dos fungos promovidos pelo ozônio, que resultam em danos à mitocôndria do fungo (ONG e ALI, 2015). Esse é um dos mecanismos envolvidos na ação antifúngica do ozônio ao fungo *C. gloeosporioides*, que resulta em redução da antracnose em frutos de mamão (ONG e ALI, 2015).

Também, o ozônio pode induzir respostas fisiológicas no fruto que levam a síntese de metabólitos secundários envolvidos na defesa de plantas a patógeno tais como compostos fenólicos, antioxidantes e outros (ALOTHMAN et al. 2010; MODESTI et al., 2018).

Por meio da análise de sobrevivência foi possível observar que as doses de ozônio aplicadas aumentaram a vida útil dos frutos de mamão (Figura 2). O tempo médio de conservação (vida útil), no qual 50% dos frutos desenvolveram sintomas de senescência, foram de quatro dias para os frutos que não foram expostos ao ozônio (controle), sete dias para os frutos tratados com 0,6, 1,5 e 3,3 ppm de ozônio e de nove dias para os frutos tratados com o fungicida comercial.

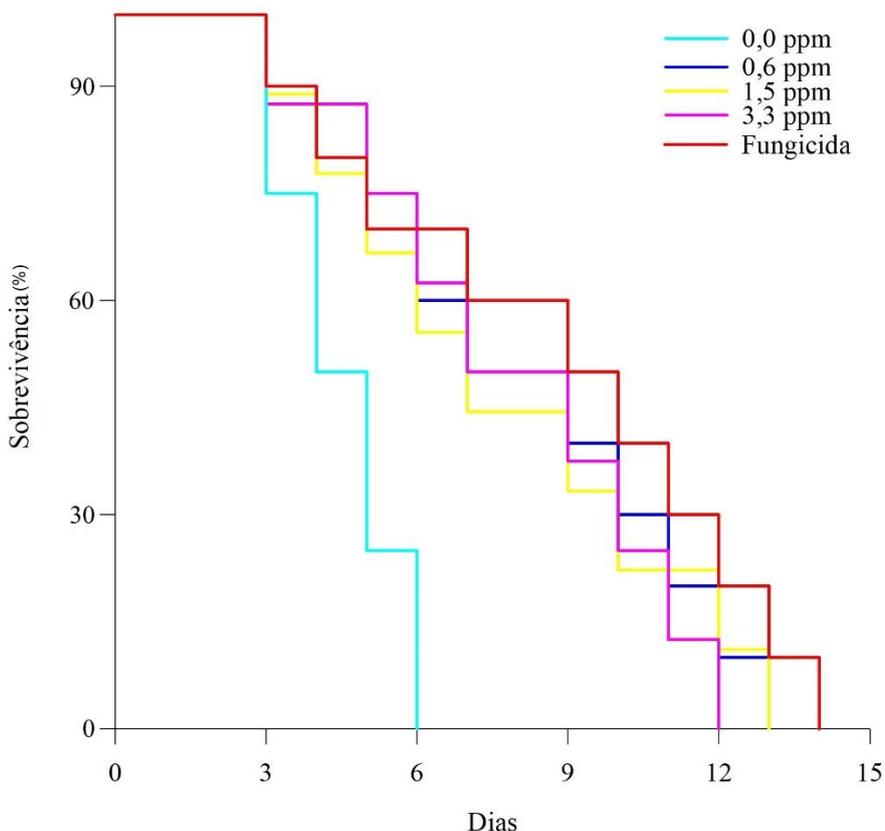


Figura 2. Vida útil de frutos de mamão submetidos aos tratamentos com ozônio e fungicida (27 ± 2 °C e 85 ± 5 % UR), Manaus-AM, 2019

O fim da vida útil ocorreu quando 100% dos frutos foram descartados por serem considerados impróprios para a comercialização, ou seja, quando todos os frutos estavam afetados por depressões ou manchas de média intensidade. Assim, o fim da vida útil foi de seis dias para o controle, doze dias para os frutos expostos a 3,3 ppm de ozônio, treze dias para os frutos expostos a 0,6 e 1,5 ppm de ozônio e quatorze dias para os frutos tratados com fungicida comercial. Assim, as menores concentrações de ozônio utilizadas nesse trabalho (0,6 e 1,5 ppm) aumentaram em sete dias a vida útil dos frutos de mamão conservados em temperatura ambiente.

Por meio da análise de regressão, observou-se equações com comportamento linear para PMA em todos os tratamentos testados (Tabela 6), com coeficiente de regressão (R^2) de 0,99.

Tabela 6. Equação de regressão para a variável perda de massa acumulada (PMA) em frutos de mamão, durante o período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), após o tratamento com ozônio e fungicida, Manaus-AM, 2019

Ozônio (ppm)	PMA
0	$y = 1,3201x - 0,9469$ $R^2 = 0,9754$
0,6	$y = 1,3581x - 1,1652$ $R^2 = 0,988$
1,5	$y = 1,3648x - 1,376$ $R^2 = 0,9927$
3,3	$y = 1,5335x - 1,8432$ $R^2 = 0,9859$
Fungicida	$y = 1,328x - 0,928$ $R^2 = 0,9925$

Todos os tratamentos se comportaram de forma semelhante, com aumento da PMA durante o período de conservação (Figura 3).

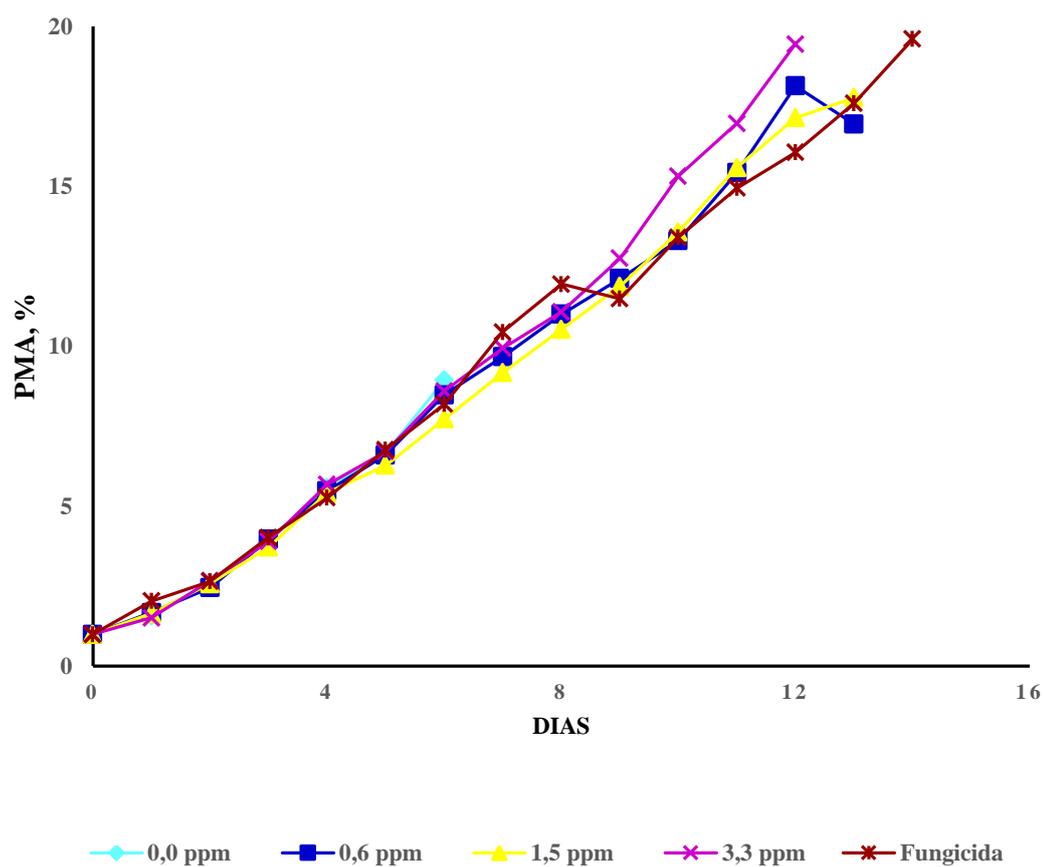


Figura 3. Perda de massa acumulada (PMA) dos frutos de mamão tratados com ozônio e com fungicida durante o período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019

Observou-se influência dos tratamentos ($P < 0,05$) e do tempo de conservação ($P < 0,01$) na PMA e PMD dos frutos de mamão (Anexo II). Os frutos do controle apresentaram menor PMA (Tabela 7). Isso pode ser explicado pela menor exposição dos frutos ao ambiente, em virtude da sua menor vida útil, a qual foi de seis dias (Figura 1). Em contrapartida, ao avaliar a PMD, os frutos expostos ao ozônio e os tratados com fungicida foram os que apresentaram menor perda de massa diária.

Menores valores de perda de massa fresca também foram observados para morangos (KEUTGEN e PAWELZIK, 2008) e mirtilos (KIM et al., 2010) armazenados em atmosfera enriquecida com ozônio. Contrariamente, a perda de peso foi maior (SALVADOR et al. 2006; ALI, ONG e FORNEY, 2014; CONTIGIANI et al. 2018) ou não se alterou (PALOU et al., 2002) em uvas de mesa armazenadas em ambiente enriquecido com ozônio em comparação ao controle.

Alguns autores sugerem que o ozônio altera a disposição da cutícula e/ou tecidos epidérmicos, o que pode favorecer ou dificultar a perda massa fresca (CONTIGIANI et al. 2018). Tem-se sugerido que níveis mais altos de ozônio ou exposição prolongada podem resultar em danos à cutícula (PALOU et al., 2002; CONTIGIANI et al. 2018), sendo a gravidade dos danos são variáveis em virtude da espécie e estágio de desenvolvimento dos frutos.

A PMA e a PMD no fim da conservação foi de 13,9g e 1,26g, respectivamente.

Tabela 7. Perda de massa acumulada (PMA), perda de massa diária (PMD), cor da casca, extravasamento de eletrólitos (EE), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, pH e vitamina C de frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019.

Ozônio (ppm)	PMA (%)	PMD (%)	Cor	EE (%)	SS (%)	AT (%)	SS/AT	pH	Vit.C (g 100g⁻¹)
0	5,98 ± 1,57 a	0,91 ± 0,26 b	2,65 ± 0,14 a	40,1 ± 1,2 a	11,1 ± 0,31 a	0,15 ± 0,005 a	71,1 ± 2,87 a	5,3 ± 0,04 a	76,2 ± 4,56 a
0,6	7,46 ± 0,59 ab	0,53 ± 0,05 a	2,95 ± 0,05 a	41,9 ± 2,2 a	11,3 ± 0,37 a	0,17 ± 0,006 a	66,1 ± 2,78 a	5,3 ± 0,03 a	85,2 ± 5,21 a
1,5	7,24 ± 0,68 ab	0,51 ± 0,05 a	2,75 ± 0,08 a	44,5 ± 1,5 a	11,1 ± 0,40 a	0,16 ± 0,008 a	67,5 ± 4,32 a	5,3 ± 0,05 a	87,7 ± 5,04 a
3,3	7,34 ± 1,05 ab	0,57 ± 0,09 a	2,70 ± 0,21 a	42,5 ± 0,5 a	10,9 ± 0,44 a	0,15 ± 0,006 a	71,1 ± 5,0 a	5,3 ± 0,03 a	78,7 ± 6,32 a
Fungicida	9,38 ± 0,75 b	0,63 ± 0,05 ab	2,95 ± 0,05 a	43,8 ± 1,7 a	11,2 ± 0,35 a	0,16 ± 0,018 a	71,4 ± 5,21 a	5,2 ± 0,05 a	82,2 ± 6,20 a
Tempo de conservação									
Início	1,0 ± 0,0 b	0,0 ± 0,0 b	1,0 ± 0,0 b	25,6 ± 0,9 b	11,4 ± 0,43 a	0,17 ± 0,009 a	67,2 ± 3,80 a	5,2 ± 0,06 b	82,5 ± 5,47 a
Fim	13,9 ± 1,33 a	1,26 ± 0,13 a	4,6 ± 0,14 a	59,5 ± 1,9 a	10,9 ± 0,32 b	0,15 ± 0,008 b	71,7 ± 4,27 a	5,3 0,03 a	81,4 ± 5,46 a
CV (%)	43,4	55,2	12,3	8,39	7,6	11,6	15,7	1,4	15,2
Média	7,48	0,63	2,80	42,5	11,1	0,16	69,4	5,3	82,0

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

A cor da casca dos frutos alterou em função do tempo de conservação ($P < 0,01$) (Anexo II e tabela 7). Costa (2012) obteve resultado similar, no qual o ozônio, também, não alterou a cor dos frutos de mamão. Porém, observou-se efeito do tempo na mudança de cor, com nota média inicial de 1 (até 15% da casca amarelada) evoluindo para 4,6 (50 a 70% da casca amarelada), no fim do período de conservação ambiente, como ilustrado na Figura 4.

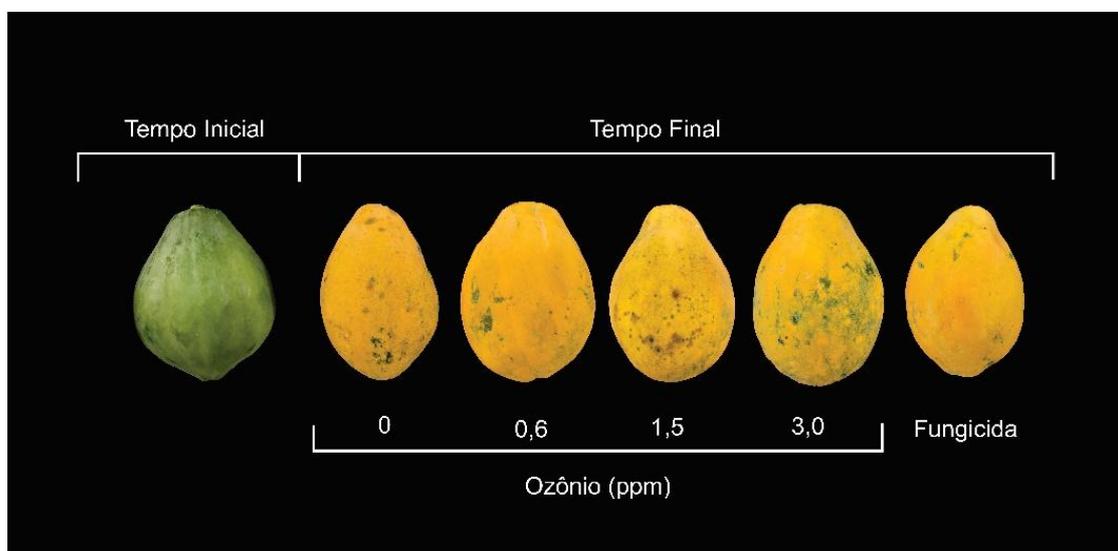


Figura 4. Cor da casca dos frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019

A mudança na coloração dos frutos de mamão, a qual é um indicativo visual de amadurecimento, ocorre com a degradação da clorofila, dando início a senescência que é um processo irreversível (BHANUSHREE, 2018).

Os tratamentos não alteraram o EE, SS, AT, SS/AT, pH e vitamina C ($P > 0,05$). Verificou-se efeito do tempo para o SS ($P < 0,05$), EE, AT e pH ($P < 0,01$) (Anexo III).

O EE aumentou em aproximadamente 43%, saindo de 25,6 no início para 59,5% no final do período de conservação (Tabela 7). Aumento do EE durante o tempo de conservação indica a perda de integridade (permeabilidade seletiva) do sistema de membranas celulares em virtude do amadurecimento (SOUSA et al. 2017).

O valor médio de SS encontrado nesse trabalho, 11,1% (Tabela 7), está de acordo com o relatado na literatura, com valores variando de 5 a 19% (PAULL, GROSS e QIU, 1999; SOUZA et al., 2014; FREITAS et al., 2018). Ao fim do período de conservação, o teor de SS foi menor quando comparado ao início, com redução de 0,5% (Tabela 7).

Assim como o SS, a AT também diminuiu ao fim da conservação (Tabela 7), com valores dentro do encontrado na literatura para mamão, que geralmente são menores que 0,2% de ácido cítrico (SOUZA et al., 2014; BRON e JACOMINO, 2006).

No geral, SS e AT decrescem durante o período de conservação dos frutos, provavelmente devido ao uso no processo de respiração (GOL, PATEL e RAO, 2013; JOSHI et al., 2017).

Para relação SS/AT o valor médio encontrado foi de 69,4 (Tabela 7), o qual se encontra dentro do verificado na literatura para frutos de mamão, com valores bem variáveis, de 32 a 250 (SOUZA et al., 2009; FONTES et al., 2012; SOUZA et al., 2014). Essa relação indica o balanço entre os teores de açúcares e ácidos dos frutos, e contribui diretamente para a formação de sabor e aroma. Frutos com maiores valores de SS/AT, geralmente, apresentam doçura mais pronunciada e menor acidez, sendo preferidos pelos consumidores (SOUZA VIANA et al., 2015).

Os valores de pH aumentaram levemente com o tempo, partindo de 5,2 no início para 5,3 ao fim do período de conservação (Tabela 7). Essa diminuição pode estar relacionada com a redução da acidez. De acordo com Pimentel et al. (2011) as variações de pH, se dão em virtude de um nível mais avançado de maturação.

A vitamina C não foi afetada pelo ozônio e não variou durante o tempo de conservação (Tabela 7). Costa (2012), também, verificou que a exposição de frutos de mamão ao ozônio não alterou os teores de vitamina C. O valor médio de vitamina C neste estudo foi de 82 g 100g¹ (Tabela 7), o qual está com valor próximo ao obtido em outros trabalhos presentes na literatura (REIS et al., 2015a e 2015b; IAMJUD et al. 2016).

Em estudos com abacaxi, banana, mamão e uva expostos ao ozônio, o teor de vitamina C reduziu (ALOTHMAN et al., 2010; YEOH et al., 2014). O ácido ascórbico é termolábil e altamente sensível a várias condições de processamento e armazenamento. Possivelmente, as concentrações de ozônio utilizadas nesse trabalho não foram altas o suficiente para afetar a vitamina C dos frutos.

Realizou-se análise de correlação de Pearson com intuito de verificar quais variáveis mais influenciaram na vida útil dos frutos (Tabela 8).

Tabela 8. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis severidade, número e tamanho das lesões, perda de massa diária (PMD), cor da casca, extravasamento de eletrólitos (EE), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, pH, vitamina C e vida útil dos frutos de mamão, Manaus-AM, 2019

Variáveis	Vida útil
Severidade	- 0,36**
Nº de lesões	0,16 ^{ns}
T. das lesões	-0,09 ^{ns}
PMD	0,74 ^{ns}
Cor	0,56 ^{ns}
EE	0,05 ^{ns}
SS	0,11 ^{ns}
AT	-0,01 ^{ns}
SS/AT	-0,04 ^{ns}
pH	-0,01 ^{ns}
Vitamina C	0,12 ^{ns}

** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Pôde-se observar que apenas a variável severidade da doença foi significativa, ou seja, a que mais influenciou negativamente (-0,36) na vida útil dos frutos (Tabela 8). Essa correlação negativa indica que quanto maior a severidade da doença menor a vida útil, conforme o que foi observado nesse trabalho.

O valor médio de severidade da antracnose encontrado nesse estudo não foi acentuado, com 27,7% no fim do período de conservação (Tabela 5). Isso ocorreu devido outros fatores, como a perda de massa, também influenciarem na depreciação do produto, o que levou ao descarte dos frutos antes mesmo que a antracnose se desenvolvesse em pelo menos 50%. Contudo, por meio da correlação de Pearson, a PMD bem como as demais variáveis não afetou, de forma significativa, na redução da vida útil dos frutos.

6 CONCLUSÃO

O ozônio foi efetivo tanto quanto o fungicida comercial em reduzir a severidade da antracnose a curto prazo, indicando efeito fungistático na concentração de 3,3 ppm e a longo prazo na concentração de 1,5 ppm de ozônio.

O ozônio aumentou em sete dias a vida útil dos frutos de mamão.

A qualidade pós-colheita dos frutos foi mantida após exposição a diferentes concentrações de ozônio.

A severidade da doença foi determinante na redução da vida-útil dos frutos.

Portanto, o ozônio torna-se uma tecnologia potencial para uso em pós-colheita, como alternativa ao uso de agrotóxicos na redução da antracnose em frutos de mamão.

7 REFERÊNCIAS

ADAY, M. S. e CANER, C. Individual and combined effects of ultrasound, ozone and chlorine dioxide on strawberry storage life. **LWT-Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 344-351, 2014.

AGUAYO, E.; ESCALONA, V.H.; ARTES, F. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 2, p. 169–77, 2006.

AKAMINE, E. K. e ARISUMI, T. Control of postharvest storage decay of fruits of papaya (*Carica papaya* L.) with special reference to the effect of hot water. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**. v. 61, p. 270-274, 1953.

AKBAS, M.Y. e OZDEMIR M. Application of gaseous ozone to control populations of *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* and *Bacillus cereus* spores in dried figs. **Food Microbiology**, v. 25, n. 2, p. 386–391, 2008.

AKTARUZZAMAN, M. D; AFROZ, T.; KIM, B.S. Post-harvest anthracnose of papaya caused by *Colletotrichum truncatum* in Korea. **European Journal of Plant Pathology**, v. 150, n. 1, p. 259-265, 2018.

ALEXANDRE, E. M.; BRANDÃO, T. R.; SILVA, C. L. Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 3, p. 417-426, 2012.

ALFENAS, A.C.; FERREIRA, F.A.; MAFIA, R.G.; GONÇALVES, R.C. Isolamento de fungos fitopatogênicos. In: ALFENAS, A.C.; MAFIA, R.G. **Métodos em Fitopatologia**. Ed UFV, p. 53 – 90, 2007.

ALI, A.; ONG, M. K.; FORNEY, C. F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. **Food Chemistry**, v. 142, p. 19-26, 2014.

ALOTHMAN, M. et al. Ozone-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative food science & emerging technologies*, v. 11, n. 4, p. 666-671, 2010.

AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17th ed. Washington: AOAC, 2005. 1115p.

AZEVEDO, L.A.S. **Manual de quantificação de doenças de plantas**. São Paulo, 1997,114p

BAILEY, J. A.; O'CONNELL, R.J.; PRING, R.J.; NASH, C. Infection strategies of *Colletotrichum* species. In: Bailey, J.A. & Jeger, M.J. (Eds.) **Colletotrichum: biology, pathology and control**. Wallingford. CAB International. p.88-120, 1992.

BHANUSHREE, L. S. et al. Influence of chitosan on postharvest behavior of papaya (*Carica papaya* L.) Fruits under different storage conditions. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 2, p. 2010-2014, 2018.

BOONKORN, P., et al. Impact of high-dose, short periods of ozone exposure on green mold and antioxidant enzyme activity of tangerine fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 67, p. 25-28, 2012.

BRAPEX – Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Papaya. 2015. http://www.brapex.net/2013/informativos/Informe_Brapex_Edicao_59.pdf>. Acesso em: 26/05/2018.

BRASIL. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principa_agrofit_cons. Acesso em: 25 maio 2018.

BRON, I. U; JACOMINO, A. P. Repening and quality of ‘Golden’ papaya fruit harvested of different maturity stages. **Brasilia Journal Plant Physiology**, v. 108, n. 3, p. 389-396, 2006.

CARNELOSSI, P. R., et al. Óleos essenciais no controle pós-colheita de *Colletotrichum gloeosporioides* em mamão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11, n. 4, p. 399-406, 2009.

CASTELLANI, A. The viability of some pathogenic fungi in sterile distilled water. **Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 42, p. 225-226, 1939.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p

CONTIGIANI, E. V. et al. Postharvest Quality of Strawberry Fruit (*Fragaria x Ananassa* Duch cv. Albion) as Affected by Ozone Washing: Fungal Spoilage, Mechanical Properties, and Structure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 9, p. 1639-1650, 2018.

COSTA, A.R. **Ozônio como agente fungicida na pós-colheita do mamão (*Carica papaya* L.)**. 2012. 86f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, Minas Gerais.

DANTAS, A. M. D. M, et al. Alternative control of post-harvest diseases in Tainung 1 papaya. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 1, p. 29-35, 2018.

DE SOUSA, A. E. D, et al. Induction of postharvest resistance in melon using pulsed light as abiotic stressor. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 921-927, 2019.

DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. **Basic Plant Pathology Methods**. 2. ed. Boca Rota: CRC Press Inc, P. 434, 1995.

DIAS, T. C., et al. Conservação pós-colheita de mamão formosa com filme de PVC e refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p.666-670, 2011.

DI BERNADO, L.; DANTAS, ADB. Métodos e Métodos e técnicas de tratamento de água. Técnicas de tratamento de água. São Carlos, 2. ed. **RiMa**, v. 2, p. 1160, 2005.

FANTE, C. A., et al. 1-MCP nos aspectos fisiológicos e na qualidade pós-colheita de maçãs Eva durante o armazenamento refrigerado. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, 2013.

FDA. Secondary direct food additives permitted in food for human consumption. **Rules and regulations**, Federal Register, v. 66, n.123 Sec. 173.368 Ozone, 2001.

FERRARI, J.; DOMINGUES, R.; TÖFOLI, J.; NOGUEIRA, E. Antracnose associada às fruteiras. **Comunicado Técnico**, n.163, 2011.

FILHO, R. M. L.; OLIVEIRA, S. M.; MENEZES, M. Caracterização enzimática e patogenicidade cruzada de *Colletotrichum* spp. associados a doenças de pós-colheita. **Fitopatologia brasileira**, v. 28, p. 6, 2003.

FONTES, R. V., et al. Manejo da cultura do híbrido de mamoeiro (*Carica papaya* L.) do grupo 'formosa' UENF/CALIMAN - 01 para melhoria na qualidade do fruto com menor aplicação de adubação NPK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n.1, p.143-151, 2012.

FORNEY, C.F., et al. Ozone and 1-methylcyclopropene alter the postharvest quality of broccoli. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 3, p. 403–408, 2003.

FREITAS, R. V. S, et al. Armazenamento pós-colheita de frutos do mamoeiro recobertos com extratos das folhas e frutos do nim. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 290-296, 2018.

GASPAROTO, M. C. G. et al. Honeybees can spread *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides* among citrus plants. **Plant pathology**, v. 66, n. 5, p. 777-782, 2017.

GOL, N. B; PATEL, P. R; RAO, T. R. Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. **Postharvest Biology and Technology**, v. 85, p. 185-195, 2013.

HEWAJULIGE, I. G. N.; DHEKNEY, S. A. **Papayas**, p. 209-212, 2016.

HEYWOOD, V. H. Flowering plants of the world. **Croom Helm Publishers**, London, p. 335, 1985.

IAMJUD, K, et al. Antioxidant properties and fruit quality of selected papaya breeding lines. **Science Asia**, v. 42, p. 332-339, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal, 2016. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 25/05/2018.

JINASENA, D.; PATHIRATHNA, P.; WICKRAMARACHCHI, S.; MARASINHE, E. Use of chitosan to control anthracnose on “Embul” banana. **In International Conference on Asia Agriculture and Animal IPCBEE**, v. 13, p. 56-60, 2011.

JOSHI, A. V.; BARAIYA, N. S.; VYAS, P. B.; RAO, T. R. Gum Ghatti Based Edible Coating Emulsion with an Additive of Clove Oil Improves the Storage Life and Maintains the Quality of Papaya (*Carica papaya* L., cv. Madhu bindu). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 160-174, 2017.

KECHINSKI, C. P., et al. Effects of ozonized water and heat treatment on the papaya fruit epidermis. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 118-122, 2012.

KEUTGEN, A. J.; PAWELZIK, E. Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under simulated retail conditions. **Postharvest biology and technology**, v. 49, n. 1, p. 10-18, 2008.

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM, J. G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 9, p. 1242-1252, 2001.

KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; DAVE, S. Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods: A Review. **Journal of Food Protection**, v. 62, n.9, p. 1071–1087, 1999.

KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; KHADRE, M.A. Ozone and its Current and Future Application in the Food Industry. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 45, p.167– 218, 2003.

KLOCKOW, P.A; KEENER, K.M. Safety and quality assessment of packaged spinach treated with a novel ozone-generation system. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 6, p.1047–1053, 2009.

LIBERATO, J.R. e TATAGIBA, J.S. Avaliação de fungicidas in vitro e em pós-colheita para o controle da antracnose e da podridão peduncular em frutos de mamão. **Summa Phytopathologica**, v.26, n.4, p.409-14, 2001.

MILLER, F. A.; SILVA, C. L.; BRANDÃO, T. R. A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation. **Food Engineering Reviews**, v. 5, n. 2, p. 77-106, 2013.

MINAS, I. S., et al. Physiological and proteomic approaches to address the active role of ozone in kiwifruit post-harvest ripening. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 2449-2464, 2012.

MODESTI, M., et al. Methyl jasmonate and ozone affect the antioxidant system and the quality of wine grape during postharvest partial dehydration. **Food research international**, v. 112, p. 369-377, 2018.

MORAIS, W. D. S., et al. Termoterapia e Quimioterapia de Banana ‘Prata-Ana’ Associadas à Temperatura de Armazenamento no Controle de Podridões em Pós-Colheita. **Fitopatologia Brasileira**, V. 31, p.17 -22, 2006.

MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell soil color charts. Baltimore, 1975. 13 p.

NERY-SILVA, F.A.; MACHADO, J. D. C.; LIMA, L.; RESENDE, M. Controle químico da podridão peduncular de mamão causada por *Colletotrichum gloeosporioides*. **Ciência Agrotécnica**, v.25, n. 3, p.519-524, 2001.

OLIVEIRA, B. F.; CRUZ, A. F.; ALVES, E. Cassava starch coatings for postharvest control of papaya anthracnose. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 55, n. 2, p. 276-284, 2016.

ONG, M. K.; KAZI, F. K.; FORNEY, C. F.; ALI, A. Effect of gaseous ozone on papaya anthracnose. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 11, p. 2996-3005, 2013.

ONG, MEI KYING e ALI, ASGAR. Antifungal action of ozone against *Colletotrichum gloeosporioides* and control of papaya anthracnose. **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p. 113-119, 2015.

OZKAN, R.; SMILANICK, J.L.; KARABULUT, O.A. Toxicity of ozone gas to conidia of *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* and *Botrytis cinerea* and control of gray mold on table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, n.1, p. 47-51, 2011

OZTEKIN, S.; ZORLUGENC, B.; ZORLUGENC, F.K. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs. **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 3, p. 396–399, 2006.

PALOU, L., et al. Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 24, n. 1, p. 39–48, 2002.

PATIL, S., et al. Inactivation of *Escherichia coli* in orange juice using ozone. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 10, n. 4, p. 551-557, 2009.

PAULL, R. E; GROSS, K.; QIU, Y. Changes in papaya cell walls during fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v.16, n.1, p. 79-89, 1999.

PEREIRA, W. V. **Caracterização e identificação molecular de espécies de *Colletotrichum* associadas à antracnose da goiaba no estado de São Paulo**. 2009. p. 79. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ. Piracicaba, São Paulo.

PIMENTEL, J.D.R., et al. Estudo da conservação de mamão Havaí utilizando películas comestíveis a diferentes temperaturas. **Scientia Plena**, v. 7, n. 10, p. 1-6, 2011.

PRABHA, V.; BARMA, R. D.; SINGH, R.; MADAN, A. Ozone Technology in Food Processing: A Review. **Trends in Biosciences**, v. 8, n. 16, p. 4031-4047, 2015.

PRESTES, E. B. **Avaliação da eficiência do ozônio como sanitizante em hortaliças folhosas minimamente processadas**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

QIANG, Z.; DEMIRKOL, O.; ERCAL, N.; ADAMS, C. 2005. Impact of Food Disinfection on Beneficial Biothiol Contents in Vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 25, p. 9830-9840, 2005.

RAGONHA, E. Estudos do mercado interno visando a comercialização do mamão (*Carica papaya* L.) dos grupos solo e formosa. Toda Fruta. Disponível em: <http://www.todafruta.com.br>. Acesso em: 03/06/2018.

REIS, R. C., et al. Physicochemical characterization of new hybrids and inbred lines of papaya. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 210-217, 2015.

REIS, R. C., et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of improved varieties of papaya. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 2076-2081, 2015.

REZENDE, J.A.M. e MARTINS, M.C. Doenças do mamoeiro (*Carica papaya* L.). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 435-443.

RIBEIRO, J. G.; SERRA, I. M. R. D. S.; ARAÚJO, M. U. P. Use of natural products to control anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* in papaya. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p. 160-164, 2016.

RICE, Rip G. IOA-PAG user success reports—commercial applications of ozone in agri-foods. **Ozone News**, v. 35, n. 2, p. 17-21, 2007.

RODONI, L., et al. Effect of short-term ozone treatments on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit quality and cell wall degradation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n.1, p. 594-599, 2009.

SALGADO, A. P. S. P., et al. Avaliação da atividade fungitóxica de óleos essenciais de folhas de *Eucalyptus* sobre *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* e *Bipolares sorokiniana*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 2, p. 249-254, 2003.

SHARPE, D., et al. Effects of ozone treatment on *Botrytis cinerea* and *Sclerotiniasclerotiorum* in relation to horticultural product quality. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 6, p. 250 – 257, 2009.

SILVA, E. O. **Efeito da embalagem plástica e da temperatura sobre a qualidade pós-colheita do mamão**. 1995. p. 123 .Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa –UFV. Viçosa -MG, 1995.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In:WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.

SKOG C. L.; CHU, L. J. Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 81, n. 4, p. 773-778, 2001.

SNOWDON, A. L., et al. **A colour atlas of post-harvest diseases and disorders of fruits and vegetables. Volume 1: General introduction and fruits**. Wolfe Scientific Ltd, 1990.

DE SOUZA VIANA, Eliseth et al. Avaliação físico-química e sensorial de frutos de genótipos melhorados de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, 2015.

SOUZA, A. E. D., et al. Control of browning of minimally processed mangoes subjected to ultraviolet radiation pulses. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 1, p. 253-259, 2017.

SOUZA, A. F., et al. Fisiologia do amadurecimento de mamões de variedades comercializadas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 318-328, 2014.

SOUZA, G. **Características físicas, químicas e sensoriais do fruto de cinco variedades de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivadas em Macaé-RJ**. Campos dos Goytacazes, 1998. 94 p. Tese de Mestrado, 1998.

SOUZA, T. V.; COELHO, E. F.; SILVA PAZ, V. P. D; SILVA LEDO, C. A. D. Avaliação física e química de frutos de mamoeiro 'Tainung n 1', fertirrigado com diferentes combinações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p.179-184, n. 2, 2009.

SOUZA, S. Pesquisa revela que 50% dos vegetais vendidos em Manaus são impróprios. 2016. Disponível em: <http://www.acritica.com/channels/manaus/news/vegetais-improprios-na-mesa-do-manauara>. Acesso em: 28 de março de 2018.

SUTTON, B. C. The genus *Glomerella* and its anamorph *Colletotrichum*. In: BAILEY, J. A.; JEGER, M. J. *Colletotrichum: biology, pathology and control*. Wallingford: Redwood, 1992, 388 p.

TERAO, D., et al. Efeito de 1-metilciclopropeno (1-MCP) combinado à refrigeração no controle de podridão pós-colheita em frutos de melão. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**, v. 47, p. 53-57, 2003.

TOKUHISA, Daí et al. Tratamentos para superação da dormência em sementes de mamão. **Revista Brasileira de Sementes**, 2007.

TRINETTA, V.; VAIDYA, N.; LINTON, R.; MORGAN, M. A comparative study on the effectiveness of chlorine dioxide gas, ozone gas and e-beam irradiation treatments for inactivation of pathogens inoculated onto tomato, cantaloupe and lettuce seeds. **International Journal of Food Microbiology**, v. 146, n. 2, p. 203-206, 2011.

TZORTZAKIS, N.G.; SINGLETON, I.; BARNES, J.D. Deployment of low level ozone-enrichment for the preservation of chilled fresh produce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 2, p. 261-270, 2007.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. 1999. Disponível em: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Disinfection%20with%20Peroxone.pdf>. Acesso em: 30 maio 2008.

VENTA, M. B., et al. Ozone application for postharvest disinfection of tomatoes. **Ozone: Science & Engineering**, v. 32, n. 5, p. 361-371, 2010.

VENTURA, J. A.; COSTA, H. Controle de doenças em pós-colheita o mamão: estágio atual e perspectivas. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 25., 2002, Espírito Santo do Pinhal. Resumos dos trabalhos e resumo das palestras, 2016. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 1-147, jan./mar. 2002.

VIDAL, F. J. R. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid: **Ediciones Díaz de Santos**, 253 p, 2003.

WANG, H.; FENG, H.; LUO, Y. Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone. **Food Research International**, v. 37, n. 10, p. 949-956, 2004.

WISNIEWSKI, M. E.; WILSON, C. L. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: recent advances. **HortScience**, v. 27, n. 2, p. 94-98, 1992.

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

YEOH, W. K., ALI, A., e FORNEY, C. F. Effects of ozone on major antioxidants and microbial populations of fresh-cut papaya. **Postharvest Biology and Technology**, v. 89, p. 56-58, 2014.

ZAMBRE, S. S.; VENKATESH, K. V.; SHAH, N. G. Tomato redness for assessing ozone treatment to extend the shelf life. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 3, p. 463-468, 2010.

ZHANG, L.; LU, Z.; YU, Z.; GAO, X. Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water. **Food Control**, v. 16, n. 3, p. 279-283, 2005.

8 ANEXO

Anexo I: Resumo da análise de variância para as variáveis severidade, número de lesões e tamanho de lesões de frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019

Fontes de variação	QM			
	GI	Severidade	Nº de lesões	Tamanho das lesões
Tratamento	4	197,6*	7,34 ^{ns}	1705355,3*
Tempo	1	19237,6**	331,2**	91586814,0**
Tratamento x Tempo	4	197,6*	7,34 ^{ns}	1705355,3*
Resíduo	36	56,4	2,88	505621,1
CV (%)		54,19	93,32	74,30
Média Geral		13,87	1,82	957,0

^{ns} Não significativo; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Anexo II: Resumo da análise de variância para as variáveis perda de massa acumulada (PMA), perda de massa diária (PMD) e cor da casca de frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019

Fontes de variação	QM			
	GI	PMA	PMD	Cor
Tratamento	4	118,4*	0,529*	0,400*
Tempo	1	4205,6**	40,301**	324,0**
Tratamento x Tempo	4	118,4*	0,529*	0,400*
Resíduo	81	855,6	0,124	0,118
CV (%)		43,42	55,51	12,30
Média Geral		7,48	0,63	2,80

^{ns} Não significativo; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Anexo III: Resumo da análise de variância para as variáveis extravasamento de eletrólitos (EE), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, pH e vitamina C de frutos de mamão tratados com ozônio e fungicida, no início e no fim do período de conservação (27 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR), Manaus-AM, 2019

Fontes de variação	QM						
	Gl	EE	SS	AT	SS/AT	pH	Vit. C
Tratamento	4	17,7 ^{ns}	0,2472 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	61,0299 ^{ns}	0,0035 ^{ns}	218,7951 ^{ns}
Tempo	1	8596,8**	3,1752*	0,0031**	256,4478 ^{ns}	0,2812**	15,0909 ^{ns}
Tratamento x Tempo	4	17,7 ^{ns}	0,2472 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	61,0299 ^{ns}	0,0035 ^{ns}	218,7951 ^{ns}
Resíduo	36	12,7	0,7299	0,0003	120,4397	0,059	156,7935
CV (%)		8,39	7,65	11,61	15,79	1,45	15,26
Média Geral		42,59	11,168	0,1632	69,4975	5,135	82,0438

^{ns} Não significativo; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.