

BRENNA KARELLY ALMEIDA LOPES

EFEITOS DO BIOREVESTIMENTO À BASE DE PALMA FORRAGEIRA ASSOCIADO  
À FORMAS DE SECAGEM EM MANDIOCA MINIMAMENTE PROCESSADA

Serra Talhada-PE

2023

BRENNA KARELLY ALMEIDA LOPES

EFEITOS DO BIOREVESTIMENTO À BASE DE PALMA FORRAGEIRA ASSOCIADO  
À FORMAS DE SECAGEM EM MANDIOCA MINIMAMENTE PROCESSADA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Adriano do Nascimento Simões  
Co-orientador: Dra. Kelem Silva Fonseca

Serra Talhada-PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L864e

Lopes, Brenna Karelly Almeida

Efeitos do biorevestimento à base de palma forrageira associado á formas de secagem em mandioca minimamente processada / Brenna Karelly Almeida Lopes. - 2023.  
47 f. : il.

Orientadora: Adriano do Nascimento Simoes.

Coorientadora: Kelem Silva Fonseca.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal , Serra Talhada, 2023.

1. Manihot esculenta Crantz. 2. Deterioração fisiológica pós-colheita. 3. Revestimento comestível. 4. Biorrevestimento de palma . 5. Secagem de biorrevestimento. I. Simoes, Adriano do Nascimento, orient. II. Fonseca, Kelem Silva, coorient. III. Título

---

CDD 581.15

BRENNA KARELLY ALMEIDA LOPES

EFEITOS DO BIOREVESTIMENTO À BASE DE PALMA FORRAGEIRA  
ASSOCIADO À FORMAS DE SECAGEM EM MANDIOCA MINIMAMENTE  
PROCESSADA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 28 / 02 / 2023 .

Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente

ADRIANO DO NASCIMENTO SIMÕES

Data: 18/04/2023 16:02:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Adriano do Nascimento Simões - UAST/UFRPE  
Orientador



Documento assinado digitalmente

SERGIO LUIZ FERREIRA DA SILVA

Data: 18/04/2023 15:53:17-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Sérgio Luiz Ferreira da Silva – UAST/UFRPE  
Examinador Interno



Documento assinado digitalmente

FRED AUGUSTO LOUREDO DE BRITO

Data: 18/04/2023 15:45:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Fred Augusto Lourêdo de Brito – UAST/UFRPE  
Examinador Externo

*Pai eu nunca abracei você, mas eu sinto você.  
Você nunca falou, mas eu ouço você.  
Eu nunca falei, mas amo você.*

*Abílio Lopes Soares  
(In memória)*

*À Cleide Bento de Almeida e a Dra. Gabrielen de Maria Gomes Dias*

Dedico

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter cumprido o seu propósito em minha vida, e ter me colocado onde eu jamais imaginaria está e por nunca ter me abandonado mesmo quando não merecia, por sempre me dá proteção e continuar guardando minha vida.

A minha mãe, Cleide, “*você é minha luz, meu sol*”, seus sacrifícios tornaram isso possível, você fez tudo para que eu conseguisse, lutou todos os dias por mim, e confiou na minha capacidade, não tenho palavras para agradecer o seu amor e incentivo, isso tudo é por você e para você, te amo intensamente, imensuravelmente e incomparavelmente! As minhas irmãs, Keila e Kátia, que sempre torceram por mim e que me inspiram pela coragem que lutam diariamente pelos seus sonhos, vocês são exemplos. Ao meu irmão, Sadrak pela pessoa bondosa que é, e por vezes me incentivar na caminhada.

Ao meu noivo André Felipe, pelo amor, carinho e atenção que me deu durante esse período e com quem divido minhas ansiedades e sonhos, você foi um auxiliador nessa etapa e sei que posso contar sempre com seu apoio. Obrigada por tudo!

A minha professora da graduação Dra. Gabrielen de Maria, por ter sido a pessoa que mais torceu por mim e acreditou a muito tempo que eu poderia chegar a onde eu quisesse, você continua sendo o anjo que Deus colocou em minha vida em 2017, obrigada por tanto, essa vitória também devo a você, obrigada!

Ao meu orientador Dr. Adriano do Nascimento Simões, pela paciência, incentivo e disponibilidade em me orientar, ensinando lições acadêmicas e de vida, por sempre ser flexível e entender minhas dificuldades e está sempre disposto a me auxiliar nesta caminhada ao senhor eu devo minha admiração e respeito, obrigada.

A minha coorientadora Dra. Kelem Silva Fonseca, pela atenção com que sempre teve para me auxiliar nas minhas dificuldades, pelas conversas onde me consolava em momentos de desespero e pela ajuda que deu em minha estadia em Serra Talhada, a senhora tenho minha gratidão!

Ao grupo de pesquisa, Núcleo de Estudos em Fisiologia Pós-colheita de frutos e hortaliças e flores – NEFP, o qual eu tive a honra de fazer parte e interagir com tantas pessoas que me proporcionaram aprendizados valiosos, pessoas que sempre estiveram dispostas a me auxiliar nos meus experimentos.

Aos professores da UAST e do PGPV, em especial ao prof. Dr. Sérgio Luiz Ferreira da Silva e Prof. Dr. Thieres George Freires da Silva, pelo conhecimento e contribuições ao longo do mestrado, e ao Ssecretário Laércio, por sempre está disposto a ajudar a todos e sempre me incentivar na caminhada.

Ao Dr. Fred Augusto Louredo de Brito, pela ajuda importantíssima que deu na montagem do meu experimento, onde esteve presente durante as etapas me auxiliando e dando contribuições valiosas para a condução do mesmo e sendo apoio durante minha estadia em Serra, sempre dividindo tudo enquanto meu vizinho. A você minha gratidão!

Aos colegas que estiveram presentes também na montagem do experimento que também ajudaram de forma imprescindível para o resultado final: Aline Soares, Valécia Nogueira, Lauizy Andrade (pela ajuda em vários momentos do experimento, inclusive na minha vida pessoal), Lady Daiane, Lucas Pierre, Ewerton Barbosa, Pablo Costa, Thamila Menezes e Lana Raíssa.

E aos amigos que fiz e que levarei para a vida toda, vocês tornaram meus dias mais leves e me ajudaram em tantas coisas que eu jamais poderei retribuir, vocês se tornaram família: Lúcio José (pelos puxões de orelhas e por sempre me aconselhar de forma sábia), Wilma Roberta (pelas conversas e incentivos diários e por sempre me tirar do caos) Aline Soares (pela amizade e por se tornar família), Iara Alves (pelas conversas incessantes e ligações fora de horas). E a minha amiga que esse mestrado meu deu, Jucivânia Cordeiro, uma irmã que Deus colocou no meu caminho, com quem dividi as lutas diárias da vida acadêmica e pessoal, que encarou comigo os desafios de está longe de casa, você não tem ideia de como sua amizade por vezes me salvou, obrigada por tantas risadas, conversas e filmes assistidos. Sem a ajuda de vocês o fardo seria bem mais pesado, obrigada!

Aos meus amigos do peito, aquelas que me acompanham desde sempre, que torceram por mim em todos os momentos e que depositaram confiança sabendo que eu iria conseguir vencer mais essa etapa, a minha prima Alanny Kelly pelas conversas diárias e consolo, minha, amiga Tamires Farias, que esteve presente mesmo distante, Queila Paulo (minha irmã que sempre esteve do meu lado, tendo as melhores conversas e risos), a Eremita Pinhiero, minha segunda mãe, aquela que me incentiva em todas as fases da minha vida e que sempre me ajuda como pode; e ao meu amigo de sempre, Fabiano Lopes que sempre me aconselhou da melhor forma possível e me ouviu nos momentos de dor e desespero, ao casal mais acolhedor que existe Rosilene e Brenna, minhas amigas que amo e que torceram por mim, a Emília e Antônio que me proporcionaram boas conversas e que mesmo distantes me atualizaram de tudo e trouxeram alegrias para mim; essa vitória também é de vocês!

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida; A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelos equipamentos utilizados.

À todos vocês meu muito obrigada!

*“Nós sempre nos definimos pela capacidade de superar o impossível, nossas maiores realizações não podem ficar para trás porque nosso destino está acima de nós.”*

*(Joseph Cooper em Interestelar)*

## RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Cranz), apresenta um grande potencial de adequação do processamento mínimo devido a sua alta perecibilidade, os biorrevestimentos surgem como alternativa aliada ao processamento mínimo com o propósito de manter a qualidade e propriedades físicas da mandioca, porém um dos gargalos desse processo é a secagem desse biorrevestimento que pode estar ocasionando a rápida deteriorização da mandioca minimamente processada e biorrevestida. Desta forma, objetivou-se avaliar a qualidade de mandioca minimamente processada associada à aplicação e secagem de biorevestimento a base de mucilagem de palma forrageira. Os métodos usados para a secagem do revestimento foram: secagem com ventilador sob meio ambiente e o uso de secador de biorevestimento. O biorevestimento foi preparado a partir da mucilagem em pó extraídas de cladódios de palma forrageira do clone Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dick.) e posteriormente hidratada para preparo do biorevestimento. As raízes minimamente processadas foram imersas no biorevestimento durante um minuto, e então submetidas aos métodos de secagem. Após a secagem do biorrevestimento foram embaladas e mantidas sob refrigeração à  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , por 18 dias. As análises físico-químicas foram realizadas a cada 3 dias, tais como: análise visual, cor, perda de massa fresca e teor de sólidos solúveis totais, capacidade antioxidante: DPPH e FRAP, peroxidação lipídica (TBARS), compostos fenólicos totais, atividade das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD), ascorbato peroxidase (APX), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e fenilalanina amônia-liase (PAL). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial  $5 \times 7$ , sendo cinco tratamentos e sete tempos de avaliação (0, 3, 6, 9, 12, 15 e 18 dias).. Diante disso, essa pesquisa obteve resultados relevantes para o uso de revestimentos comestíveis, buscando encontrar um método de secagem que seja eficaz na conservação da mandioca minimamente processada biorevestida com mucilagem de palma forrageira. Os pedaços secos no secador de biorevestimento mostraram resultados superiores quando comparado com o método seco com ventilador em temperatura ambiente, no que diz respeito a análise visual, perda de massa, compostos fenólicos, atividade antioxidante e atividade enzimática. Portanto, a aplicação de biorevestimento à base de cacto, aliado ao uso do secador de biorevestimento, contribuíram para a qualidade e preservação da atividade enzimática antioxidante da mandioca minimamente processada, mantendo os atributos físicos durante os 18 dias de conservação a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta* Crantz, deterioração fisiológica pós-colheita, revestimento comestível, biorrevestimento de palma, secagem de biorrevestimento

## ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Cranz) has a great potential for adapting minimal processing due to its high perishability, biocoatings emerge as an alternative combined with minimal processing in order to maintain the quality and physical properties of cassava, one of the bottlenecks in this process. It is the drying of this biocoating that may be causing the rapid deterioration of the biocoated minimally processed cassava. Thus, the objective was to evaluate the quality of minimally processed cassava associated with the application and drying of a biocoating based on cactus pear mucilage. The methods used for drying the coating were: fan drying under ambient conditions and the use of a biocoating dryer. The biocoating was prepared from powdered mucilage extracted from forage palm cladodes of the clone Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dick.) and subsequently hydrated to prepare the biocoating. The minimally processed roots were immersed in the biocoating for one minute, and then subjected to drying methods. After drying the biocoating, they were packaged and kept under refrigeration at  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  for 18 days. Physical-chemical analyzes were carried out every 3 days, such as: visual analysis, color, loss of fresh mass and total soluble solids content, antioxidant capacity: DPPH and FRAP, lipid peroxidation (TBARS), total phenolic compounds, activity of polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (POD) enzymes, ascorbate peroxidase (APX), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and phenylalanine ammonia lyase (PAL). The experimental design was completely randomized in a 5x7 factorial scheme, with five treatments and seven evaluation times (0, 3, 6, 9, 12, 15 and 18 days). Edibles, seeking to find a drying method that is effective in the conservation of minimally processed cassava biocoated with cactus pear mucilage. The pieces dried in the biocoating dryer showed superior results when compared to the fan-dried method at room temperature, with regard to visual analysis, mass loss, phenolic compounds, antioxidant activity and enzymatic activity. Therefore, the application of cactus-based biocoating, combined with the use of the biocoating dryer, contributed to the quality and preservation of the antioxidant enzymatic activity of the minimally processed cassava, maintaining the physical attributes during the 18 days of storage at  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ .

**Keywords:** *Manihot esculenta* Crantz, postharvest physiological deterioration, edible coating, palm biocoating, biocoating drying

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Fluxograma operacional da extração da mucilagem e obtenção do biorevestimento de palma forrageira .....22
- Figura 2:** Fluxograma operacional da extração do processamento mínimo da mandioca.....23
- Figura 3:** Secador de biorevestimento (Fáb.: Serra Talhada – PE/Brasil).....24
- Figura 4:** Perda de massa fresca (%) (A), Análise visual (B), Chroma (C) e Luminosidade (D) em mandioca minimamente processada nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador, mantidas armazenadas a  $5 \pm 2$  ° C por 18 dias.....33
- Figura 5:** Imagens do início e fim da conservação refrigerada ( $5 \pm 2$  °C) da mandioca minimamente processado nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador mantidas armazenadas a  $5 \pm 2$  ° C por 18 dias.....34
- Figura 6:** Atividade de eliminação de DPPH (a), FRAP (b e c), Sólidos solúveis totais (d) e TBARS (e) em mandioca minimamente processada nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador, mantidas armazenadas a  $5 \pm 2$  ° C por 18 dias.....35
- Figura 7:** Atividade da superóxido de desmutase - SOD (A), Atividade da catalase - CAT (B) e Atividade da ascorbato peroxidase - APX (C) em mandioca minimamente processada nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador, mantidas armazenadas a  $5 \pm 2$  °C durante 18 dias.....37
- Figura 8:** Composto fenólicos totais (A), Atividade da fenilalanina amônia-ase PAL (B), Atividade peroxidase - POD (C) e Atividade do polifenol oxidase - PPO (D e E) em mandioca minimamente processada nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador, mantidas armazenadas a  $5 \pm 2$  °C durante 18 dias.....39

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Ilustrações, notas e critérios usados para quantificar mudanças visuais na mandioca doce minimamente processada .....24

**Tabela 2:** Resumo da análise de variância dos efeitos de método de secagem e dias de conservação de mandioca minimamente processada e revestida com mucilagem de palma forrageira  $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ; ns: não significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey.....31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1. ORIGEM DA MANDIOCA, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, PRODUTIVIDADE E IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA .....	17
2.2. PROCESSAMENTO MÍNIMO E DANOS FISIOLÓGICOS DA MANDIOCA DE MESA.....	18
2.4. MUCILAGEM DE CACTO E APLICAÇÕES COMO REVESTIMENTOS.....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
3.1 Obtenção da mucilagem e preparo do biorevestimento .....	22
3.2 Processamento mínimo da mandioca .....	22
3.3 Secagem do biorevestimento nas raízes de mandioca.....	23
3.4 Análises Físicas .....	24
3.4.1 Aspecto visual .....	24
3.4.2 Determinação da perda de massa fresca (MF).....	25
3.4.3 Cor .....	25
3.4.4 Teor de sólidos solúveis totais.....	26
3.4.5 Compostos fenólicos, determinação da capacidade antioxidante pelo sequestro do radical DPPH (2,2- difenil-1-picril-hidrazil) e determinação da capacidade antioxidante pelo método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) .....	26
3.4.8 Extração e ensaio da atividade da polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POD) ...	27
3.4.9 Extração e ensaio da atividade da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX).....	27
3.4.10 Atividade da fenilalanina amônia-lyase (PAL) .....	28
3.4.11 Peroxidação lipídica .....	29
3.5 Delineamento experimental e análise e estatística .....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Cranz) é de grande importância socioeconômica para o Brasil, principalmente na região Nordeste, que, historicamente, ocupa a liderança em área plantada para a cultura, entre os anos de 1990 e 2017, tendo, neste último ano, 37,40% de toda a área plantada para a cultura no Brasil (EMBRAPA, 2022). A mandioca apresenta boa adaptabilidade, com fácil propagação, tolerância a ambientes de estresse salino e a solos pobres, possuindo rendimento satisfatório de produção em campo. No entanto, a alta perecibilidade das raízes de mandioca vem se tornando um problema na cadeia produtiva, pois sofrem danos quando armazenadas em condições ambientes, tendo vida curta de prateleira (FIORDA et al., 2013; BEZERRA et al., 2002; RINALDI et al., 2010).

O processamento mínimo é uma alternativa viável para agregar valor a mandioca de mesa (FONSECA et al., 2018). O que acontece com a mandioca é a deterioração fisiológica pós-colheita (DFP), que influencia diretamente a qualidade visual da raiz, surgindo veias escuras e listras próximas aos vasos da raiz na pós-colheita. Esses são sintomas que surgem a partir do segundo dia pós-colheita e continuam se espalhando pelo tecido das raízes. Isso ocorre por dois fatores: pelo dano mecânico na hora da colheita e quando a casca da mandioca é removida (SALCEDO & SIRITUNGA, 2011), assim a raiz fica exposta à oxidação e à ação de microrganismos. Simões et al. (2007) descrevem o processamento mínimo como uma alteração física nos vegetais, por meio de um conjunto de operações, pode garantir que eles sejam oferecidos com mais frescor ao consumidor. Os autores também salientam que o tecido desses vegetais sofre estresse nesse processamento e, conseqüentemente, isso pode ocasionar perda da qualidade, além da diminuição do prazo de vida útil e modificação de atributos sensoriais que impactam diretamente na comercialização e consumo desses produtos.

Denominados como coberturas comestíveis, os biorevestimentos atuam de forma protetora quando são aplicados no vegetal, sendo uma barreira de gases, vapor e água, contribuindo assim para o aumento da vida de prateleira dos alimentos. Outra vantagem no uso desses revestimentos é o fato de ser biodegradável (MAIA et al., 2000; VILLADIEGO et al., 2005). Os revestimentos comestíveis podem ser uma opção de proteção aos produtos que passam por processamento mínimo, atuando como uma fina camada que é colocada na superfície do vegetal. Esse revestimento tem o propósito de manter a qualidade e propriedades organolépticas do alimento mantendo a integridade do vegetal (MOREIRA, 2018). O objetivo desses revestimentos é ter uma ação de conservação, preservação da textura e do valor nutricional, reduzir trocas gasosas, ganho ou perda excessiva de água. Agindo como uma

atmosfera modificada, tais revestimentos são ideais para vegetais com alta taxa de respiração (PARK, 2005; TURHAN, 2010; ASSIS et al., 2008).

As características dos revestimentos comestíveis são comprovadas por Almino e Santos (2020) ao demonstrarem, em sua pesquisa, que os revestimentos comestíveis são alternativa que pode ser aliada ao processamento mínimo, minimizando os danos fisiológicos dos tecidos causados pelo do corte e descasques dos vegetais. A deterioração fisiológica pós colheita é caracterizada pelo escurecimento da mandioca, onde inicialmente esse distúrbio pode ser sinalizado pelo ATP, levando a uma sinalização secundária feita pelas espécies reativas de oxigênio. E as enzimas da SOD e CAT minimizam a detoxificação celular e consequentemente reduzem o escurecimento (CISNEROS-ZEVALLOS, 2014; COELHO et al., 2017). Dessa forma, o uso de revestimentos comestíveis no processamento mínimo aliado a cadeia do frio e sanitização, pode ser uma alternativa para manter a qualidade das hortaliças e frutas por tempo adicional nas prateleiras.

Trabalhos recentes mostram que a mucilagem extraída de palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*) é promissora para elaboração de revestimentos. Com exemplo desses estudos temos, Sáenz et al (2004) apontam que a família da Cactaceae se caracteriza pela produção de mucilagem, que é um carboidrato complexo, o que a torna um aditivo para várias utilizações industriais. Allegra et al. (2016), em estudo com a palma para revestimentos comestíveis aplicados nos kiwis minimamente processados, obteve resultados satisfatórios, pois manteve a firmeza do kiwi, a qualidade visual e o sabor do fruto.

Em pesquisa com revestimentos comestíveis à base de palma forrageira Morais et al., (2019), obtiveram resultados satisfatórios, como redução da perda de massa fresca do inhame minimamente processado e manteve a qualidade visual e sensorial por 10 dias a 5 °C. Além disso, destaca-se ainda que pesquisas realizadas por Coelho et al. (2017) com revestimento em mandioca minimamente processada, tratada com antioxidantes e cobertura comestível à base de amido, o revestimento manteve a qualidade da mandioca até os 15 dias de armazenamento. Os mesmos autores afirmam que um ponto que pode ter influenciado a qualidade visual de alguns pedaços de mandioca foi o fator tempo de secagem do revestimento na mandioca, o qual pode ter acelerado o escurecimento, que se dá na exposição à temperatura ambiente para que o revestimento possa secar.

Assim, verifica-se que a conservação da mandioca minimamente processada biorevestida possui alguns gargalos, dentre eles está a secagem do biorevestimento. Coelho et al., (2017), em experiemnto com biorevestimentos discorrem que o tempo de secagem de 45

min. desse biorevestimento pode ter influenciado na aparência da mandioca, pois durante esse período o vegetal fica exposto as ações externas de micro-organismos devido ao longo tempo de exposição. Estudos com morangos mostram que o tempo de secagem do biorevestimento a base de goma xantana foi de 15hs (LEITE, et al. 2015), assim o fruto fica exposto por um longo período as condições externas, o que pode ocasionar danos fisiológicos ao fruto.

Diante do exposto, como hipótese de pesquisa, a associação de biorevestimento à base de palma forrageira e uma máquina de secagem do biorevestimento na superfície de mandioca minimamente processada, minimiza as reações oxidativas envolvendo o escurecimento e, conseqüentemente, manter a qualidade da mandioca minimamente processada. Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a qualidade físico-química e bioquímica de mandioca minimamente processada associada à aplicação e secagem de biorevestimento a base de mucilagem de palma forrageira.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. ORIGEM DA MANDIOCA, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, PRODUTIVIDADE E IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

A mandioca (*Manihot esculenta* Cranz) é originária da América do Sul, isso porque 80% das espécies silvestres de *Manihot* estão no Brasil. Seu cultivo acontecia por indígenas antes da chegada dos europeus no Brasil. É uma planta cultivada por pequenos produtores, portanto um alimento muito importante para a dieta das pessoas. Seu uso é diversificado servindo para alimentação animal e subprodutos como a farinha de mandioca e outras farinhas, fécula, beijus, etc. (EMBRAPA, 2006; DEMIATE & KOTOVICZ, 2011).

O sistema radicular da mandioca é tuberoso, armazena reservas de amido, é fibroso, ramificado e se forma a partir da maniva-mãe quando a propagação é assexuada. O sistema caulinar da mandioca é de modelo subarbuscular ereto. Quando chega à fase adulta é lenhoso, quebradiço, dotado de nós salientes, apresentando ramificação baixa ou alta. As folhas são simples, inseridas no caule, em disposição alternadas, lobada e longamente peciolada, os lobos apresentam cor variada entre verde-claro, escuro ou roxo. É considerada uma planta rústica e muito adaptável e seu cultivo pode ocorrer em regiões semiáridas usando variedades que são adaptadas à região (EMBRAPA, 2006).

É considerada uma planta de fotoperíodo, pois sua parte aérea se desenvolve mais em dias longos. É uma planta de produção anual, quando sua colheita acontece entre 8 e 12 meses depois do plantio, e pode ser perene quando a colheita acontece entre 14 e 24 meses após seu plantio (AGUIAR; SOUZA; LÔBO, 2013).

Assim, a mandioca apresenta características vantajosas e importantes para sua propagação. É tolerante ao déficit hídrico, tem alto rendimento mesmo sob condições de solos pouco férteis e por último se mostra resistente à pragas e doenças (FREITAS & LEONEL 2008).

Estudos realizados por Horodyska et al (2021) demonstram que a mandioca é um tubérculo versátil e muito consumido no Brasil. Em 2020, a produção foi de 18,96 milhões de toneladas, assim o cultivo da mandioca se mostra uma alternativa viável para o pequeno produtor tendo em vista o baixo custo de sua produção (Conab, 2021; SOUZA et al., 2013). A mandioca começa o processo de deterioração fisiológica 24 à 72h após a colheita. A partir daí começa o aparecimento de estrias vasculares e escurecimento das raízes. Esse é um dos

fatores negativos para a venda de raízes principalmente em condições de temperatura ambiente (WADDINGTON et al., 2010; CAMPO et al., 2011; SALCEDO; SIRITUNGA, 2011; VANDERSCHUREN et al., 2014).

## 2.2. PROCESSAMENTO MÍNIMO E DANOS FISIOLÓGICOS DA MANDIOCA DE MESA

A mandioca mostra um potencial de adequação ao processamento mínimo, modificando seu formato de apresentação como “minitolete” e “rubiene” (BRITO et al., 2013). Menezes et al (2019), em estudo com a variedade de mandioca vassourinha, constatou que a mandioca apresentou um tempo de vida longo de 15 dias se submetida ao processamento mínimo.

O processamento mínimo vem ganhando um espaço no mercado devido ao aumento do valor agregado que se dá ao produto, a forma como são processados visando a praticidade no preparo desses alimentos e garantindo maior vida útil de prateleira, com isso as técnicas de processamento mínimo buscam agregar valor e melhorar a aparência do produto. O processamento mínimo é nada mais do que etapas que são seguidas de acordo com o produto a ser processado, como: operações de limpeza, lavagem, seleção e a uma ou mais alterações físicas, tais como, descascamento, fatiamento e corte, primeiro enxágue, sanitização, segundo enxágue, centrifugação, embalagem e transporte para o mercado consumidor (OLIVEIRA; VALLE, 2000).

Contudo essas alterações causam a perda da integridade das células superficiais, aumentam as taxas respiratórias, elevam a atividade enzimática, provocando alterações fisiológicas que reduzem a qualidade do vegetal (MORETTI, 2007; CARDOSO et al., 2010; SIMÕES et al., 2007). Essas lesões que ocorrem no processamento mínimo podem ser as maiores causas do escurecimento enzimático dos tecidos, geralmente essas respostas do tecido ocorrem próximas à lesão feita no vegetal (SALTVEIT et al., 2002), quanto maior o ferimento maior a aceleração das respostas fisiológicas, como a síntese dos compostos fenólicos.

O aumento da frequência respiratória e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) acontece quando a mandioca passa pela fase de processamento mínimo, assim, quando a mandioca passa por condições de estresse, há uma maior produção de EROs, causando aumento na atividade enzimática. Isso causa escurecimento nas raízes; característica que não favorece a qualidade do produto. (COELHO et al., 2017). Esse escurecimento da mandioca se dá com o resultado da descompartimentação de substratos e enzimas oxidativas,

expondo o tecido a oxigenação, induzindo a síntese das enzimas envolvidas nas reações de escurecimento (YILDIZ et al., 2017). Em estudo com mandioca minimamente processada, verificou-se que o escurecimento foi relacionado a atividade das enzimas PPO e POD, a forma do corte em "Minitoleta" mostrou uma maior atividade que o corte em formato "Rubiene", sendo mais susceptível ao escurecimento dos tecidos. É importante entender como funciona o controle dessas alterações metabólicas enzimáticas (Freire et al., 2015). Assim, o escurecimento dos vegetais vem se tornando a razão da baixa comercialização desses produtos minimamente processados (SIMÕES et al., 2015; SIMÕES et al., 2016). Outros atributos que são afetador pelo desequilíbrio que causa o processamento mínimo são como já dito a aparência no que diz respeito ao escurecimento da raiz, a massa fresca, pH e os sólidos solúveis (PEREIRA; LORENZI; VALLE, 1985).

### 2.3. REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

Conhecidos também como coberturas comestíveis, os revestimentos atuam de forma protetora quando são aplicados no vegetal, sendo uma barreira de gases, vapor e água, contribuindo assim para o aumento da vida de prateleira dos alimentos. Outra vantagem no uso desses revestimentos é o fato de ser biodegradável (MAIA et al., 2000; Villadiego et al., 2005).

Os revestimentos comestíveis surgem como uma alternativa aliada ao processamento mínimo, atuando como uma fina camada de material comestível, que é colocada na superfície do vegetal. Esse revestimento tem o propósito de manter a qualidade e propriedades organolépticas do alimento mantendo a integridade do vegetal (MOREIRA, 2018).

O objetivo desses revestimentos é ter uma ação de conservação, preservação da textura e do valor nutricional, reduzir trocas gasosas, ganho ou perda excessiva de água. Agindo como uma atmosfera modificada, tais revestimentos são ideais para vegetais com alta taxa de respiração (PARK, 2005; TURHAN, 2010; ASSIS et al., 2008). Estudos com revestimentos comestíveis a base de extrato de nabo e goma xantana e cloreto de cálcio mostram-se eficazes na redução do escurecimento em maçãs, mantendo suas características físicas e químicas. (BORGES et al., 2016). No melão os revestimentos a base de quitosana e glicerol mostrou uma redução da senescência da fruta e conservou as características físico-químicas (CEVALIER et al. 2016).

O uso de revestimento a base de mucilagem de cacto no abacaxi, apresentou resultados de menor perda de peso e maior firmeza no abacaxi (ZAMBRANO et al, 2017). Os revestimentos comestíveis mostraram resultados eficazes no tomate, reduzindo a perda de peso, as taxas de trocas gasosas e reduziu a produção do hormônio etileno. Também se percebeu que o revestimento inibiu a proliferação de bolores, leveduras e micro-organismos. O resultado disso foi um tomate com aparência mais saudável até os 12 dias (SALAS-MÉNDEZ et al, 2019).

#### 2.4. MUCILAGEM DE CACTO E APLICAÇÕES COMO REVESTIMENTOS

A palma forrageira (*Nopalea spp.*) é uma planta da família das Cactaceae, encontrada nas Américas do Sul e Norte (DE ANDRADE VIEIRA et al., 2021; REIS, 2009). É uma planta que tem se mostrado uma opção para a extração de mucilagem, pois é uma planta rústica de boa adaptabilidade e multifuncional usada para diversos fins (BARBERA, 2001; ROCHA, 2012). Nos últimos anos, mucilagem de cactos têm sido usados para desenvolver bioplásticos sustentáveis com propriedades únicas (GHERIBI et al, 2018), e aplicações dessa mucilagem no segmento de revestimentos comestíveis (ALLEGRA et al., 2017),

Há uma procura pela mucilagem de cacto, visando o desenvolvimento de revestimentos comestíveis, isso se dá pelas suas características físicas. Nava et al, (2018), descrevem que a mucilagem de palma forrageira é rica em polissacarídeos. Estudos com a mucilagem de *Opuntia ficus-indica* é uma arabinogalactana que tem propriedades funcionais, tendo também capacidade de gelificação, formação de espuma e emulsificação (Han et al., 2016). Esses revestimentos apresentam características eficazes para que o vegetal/alimento seja preservado durante o armazenamento (GHERIBI; KHWALDIA, 2019).

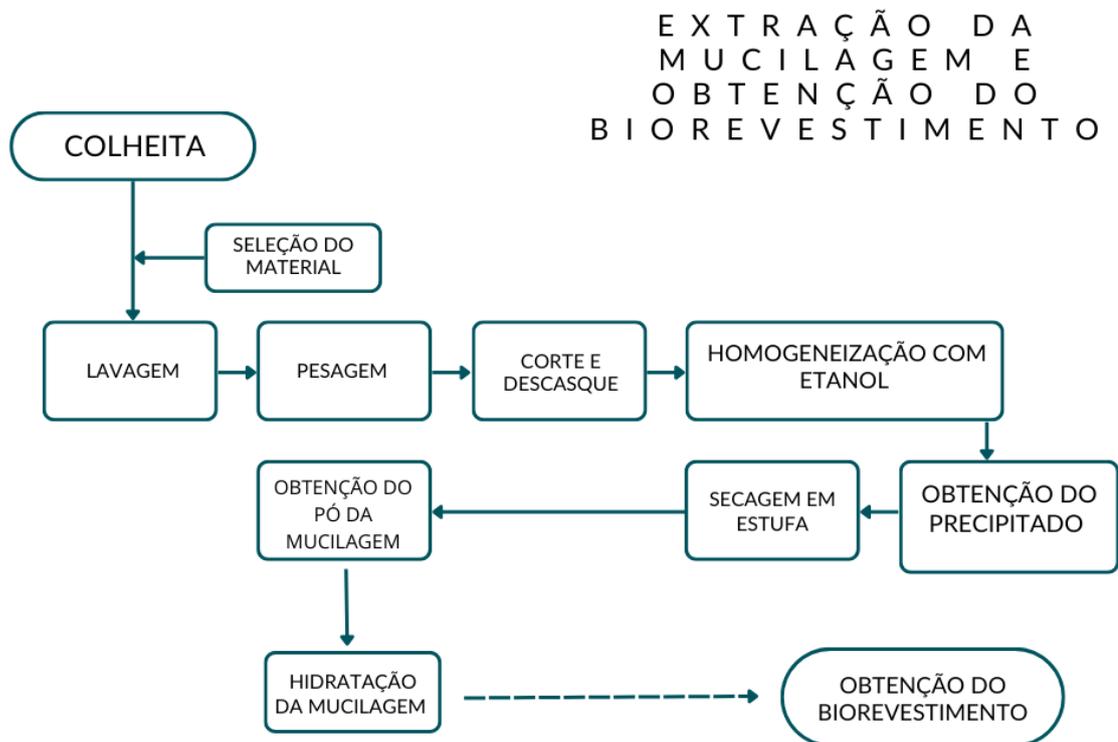
Estudo realizado com cladódios de palma mostra que ela é alternativa promissora para fabricação dos biopolímeros, devido aos polissacarídeos pécticos encontrados nos cladódios (GOYCOOLEA & CÁRDENAS, 2014). Allegra et al. (2016), aponta para revestimentos comestíveis aplicados nos kiwis minimamente processados, os resultados satisfatórios, pois manteve a firmeza, a qualidade visual e sabor. Isso se dá devido as características da mucilagem, que tem caráter hidrofílico onde atuam como barreira protetora contra a perda de água, que manter a hidratação do vegetal, firmeza e peso. Assim, a mucilagem preserva as propriedades mecânicas, a qualidade visual e o sabor durante o armazenamento (Allegra et al., 2016).

A mucilagem de palma forrageira no morango revestido contribuiu para a sua firmeza e maior vida útil, não alterando as características do morango, concluindo que o uso desse revestimento a base de palma pode reduzir os danos causados pela deterioração causada pelos danos mecânicos e armazenamento (DEL-VALLE et al., 2005). Portanto, estudos apontam que os revestimentos comestíveis que são formulados a partir da palma forrageira proporcionam ao vegetal qualidade, desacelerando as reações químicas, prologando a vida útil. Allegra et al., (2017) em estudos de mucilagem de palma aplicados em figos previniu a degradação dos compostos químicos em até 7 dias, preservando também a estrutura do pigmento, outro ponto estudado foi a ação dos microrganismos, onde limitou o desenvolvimento de bactérias (ALLEGRA et al., 2017).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 OBTENÇÃO DA MUCILAGEM E PREPARO DO BIOREVESTIMENTO

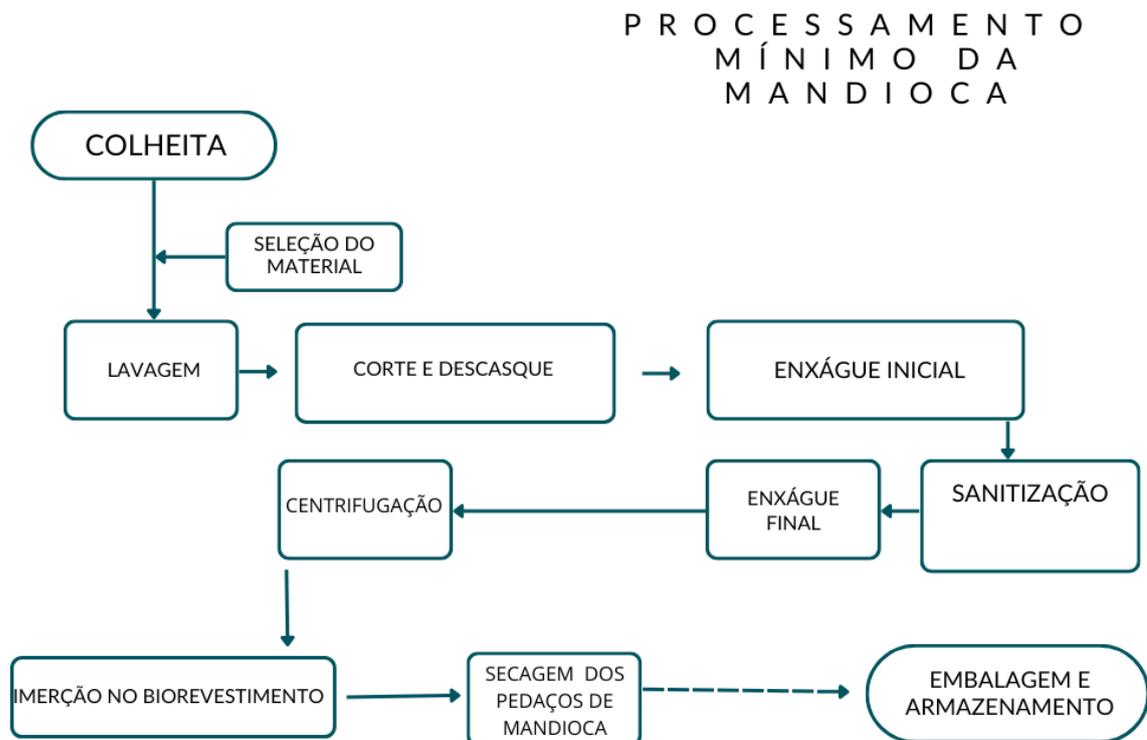
Cladódios de palma forrageira do clone Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dick.) com tamanhos entre 100 a 230 mm foram colhidos, às 6:00 horas de uma área de cultivo experimental, localizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Este procedimento, bem como o preparo dos biorevestimentos, foram realizados segundo Sousa et al. (2022), com adaptações. Além das recomendações dos referidos autores, houve incorporação de agente plastificante glicerol (IMPEX, Glicerina P.A.), em concentração de 30%.



**Figura 1:** Fluxograma operacional da extração da mucilagem e obtenção do biorevestimento de palma forrageira

#### 3.2 PROCESSAMENTO MÍNIMO DA MANDIOCA

Raízes de Mandioca BRS Kiriris colhidas com 12 meses, foram adquiridas no comércio local da cidade de Serra Talhada (PE) e processadas no laboratório da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST). Para o tratamento inicial, as raízes foram selecionadas, pesadas e lavadas em água corrente. Em seguida, foram descascadas e cortadas em rodela de aproximadamente 3 cm de espessura. Os pedaços foram imersos em água à  $5\pm 2$  °C por 10 min e passaram por processo de sanitização, em soluções cloradas, em um primeiro enxágue, a  $200\text{ mg L}^{-1}$  de cloro ativo, e em um segundo enxágue, a  $5\text{ mg L}^{-1}$ , ambos, por 10 min. Em seguida, foram centrifugadas por 10 seg., depois imersos no biorevestimento de palma forrageira, clone Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), por 1 min. e submetidas aos processos de secagem.



**Figura 2:** Fluxograma operacional da extração do processamento mínimo da mandioca.

### 3.3 SECAGEM DO BIOREVESTIMENTO NAS RAÍZES DE MANDIOCA

Para a secagem do biorevestimento foram utilizados dois métodos: secagem, usando um secador de biorevestimento com ventilação forçada (Fig. 3) (Fáb.: Serra Talhada –

PE/Brasil), e uso de ventilador ambos em temperatura ambiente de  $25\pm 2$  °C, por 45 min. O controle correspondeu aos pedaços não submetidos a imersão em suspensão de revestimento e embalados.



**Figura 3:** Secador de biorevestimento (Fáb.: Serra Talhada – PE/Brasil)

Após esse processo, os pedaços de mandioca revestidos foram embalados em sacos de náilon multicamadas (15 x 30 cm x 0,05 mm) e, em seguida, mantidos em expositor refrigerado, à temperatura de  $5\pm 2$  °C, por 18 dias. As avaliações periódicas foram realizadas em intervalos de três dias, durante todo o período de conservação refrigerada, com coleta de material da região superficial da mandioca, correspondente a 5 mm do tecido da região da borda. A partir desde materiais coletados foram realizadas as análises físicas, químicas e bioquímicas.

### 3.4 ANÁLISES FÍSICAS

#### 3.4.1 Aspecto visual

Foi realizada por avaliadores treinados, com destaque para a presença ou ausência de manchas escuras na superfície do tecido amarelo ou ausência de manchas escuras, amarelo-esverdeadas, embranquecimento na superfície do tecido, assim, como odor. Todos estes parâmetros tiveram como base na metodologia de Coelho et al. (2017), onde os escores de 5 a 1 foram atribuídos subjetivamente, ao longo dos dias de avaliação.

**Tabela 1.** Ilustrações, notas e critérios usados para quantificar mudanças visuais na mandioca doce minimamente processada

GRADES	CRITÉRIOS
	Peças com característica de superfície branca, aparência e odor excelente para consumo, tendo qualidade suficiente para comercialização
	Evidências de escurecimento claro, com qualidade suficiente para comercialização
	Intensidade de escurecimento moderada, limite de aceitação
	Coloração amarelo-esverdeada na superfície, características de <i>Pseudomonas spp.</i> na superfície
	Todos os sintomas descritos, além do odor alcoólico, clareamento superficial, com desidratação, totalmente inapropriado para o consumo

### 3.4.2 Determinação da perda de massa fresca (MF)

A massa fresca (MF) foi pesada a cada três dias e calculada pela diferença entre a massa inicial do produto minimamente processado contido nas embalagens e a obtida em cada intervalo de tempo, utilizando balança semianalítica (Modelo: ARD 110, Marca OHAUS Adventurer, fabricado em Parsippany-EUA), conforme a fórmula a seguir:

$$PMF = ((MFI - MFF) \times 100) / MFI$$

Sendo:

PMF = Perda de massa fresca, %

MFI = Massa fresca inicial, g

MFF = Massa fresca final, g

O resultado foi expresso em porcentagem.

### 3.4.3 Cor

As medidas de cor foram obtidas utilizando equipamento analisador de Cor Digital Portátil (Colorímetro), com Saída Serial RS-232 Mod.: RGB-1002. Os parâmetros de cor RGB foram diretamente fornecidos pelo colorímetro e foram convertidos para valores CIE (Commission International de l'Eclairage)  $L^*a^*b^*$  utilizando o website público: <<http://www.easyrgb.com/index.php?X=CALC#Result>>, o qual levou em consideração D65

como iluminante padrão (luz do dia) e observador = 2°. O valor de Chroma foi calculado por  $C^* = (a^* 2 + b^* 2)^{1/2}$ .

#### 3.4.4 Teor de sólidos solúveis totais

O suco celular foi extraído a partir de 30 g de mandioca, macerados usando almofariz. O extrato obtido do tecido vegetal foi depositado no prisma de refratômetro portátil (modelo RTD-95) e os resultados foram expressos em porcentagem.

3.4.5 Compostos fenólicos, determinação da capacidade antioxidante pelo sequestro do radical DPPH (2,2- difenil-1-picril-hidrazil) e determinação da capacidade antioxidante pelo método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Os compostos fenólicos, DPPH e FRAP foram extraídos mediante o método de Reyes, Villarreal, Cisneros-Zevallos (2007), com adaptações. Amostras da região superficial do tecido vegetal (0,3 g) foram maceradas em almofariz contendo 1,5mL de metanol (P.A.). Em seguida, permaneceram em repouso por 24 horas no escuro a 4 °C. Após esse período, foram centrifugadas a 10.000 x g a 2 °C por 21 min.

Para o ensaio dos Compostos Fenólicos, foi realizado com a utilização de 150µL do extrato, 150µL de Folin Cioucauteu (0,25M) e 2.400µL de água destilada. A mistura foi homogeneizada, por 3 min. e, em seguida, foi adicionado 300µL de carbonato de sódio (1M), mantidos no escuro em temperatura ambiente por 2 horas. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Modelo libra S8, Biochrom, fabricado em Cambridge, Inglaterra).

A capacidade antioxidante pelo método DPPH foi determinada conforme proposto por Brand-Williams et al. (1995), com adaptações. Para o ensaio, foram utilizados 840µL da solução (0,1mM) e 60µL do sobrenadante da amostra foram adicionados da solução. O ensaio de controle foi preparado pela adição de 840µL da solução DPPH e 60µL do sobrenadante da amostra. Depois de 30min de reação, as leituras foram realizadas com um espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 517nm, a 25 °C. O valor foi expresso em porcentagem.

A FRAP foi determinada segundo metodologia proposta por Benzie & Strain (1996). Foi adicionado 900µL da solução FRAP [25mL de tampão acetato (16mL – CH<sub>3</sub>COOH/1,87 g – CH<sub>3</sub>COONa), 2,5mL de solução TPTZ (0,156g - 2,46-tris (2-pyridyl)-5-triazine/ 0,8ml-HCL) e 2,5mL de solução de FeCl<sup>3+</sup>] em 30µL da amostra do extrato da mandioca. A solução

foi então homogeneizada em um agitador de tubo e mantida em repouso em no escuro por 30 min, a 37 °C. A leitura da absorbância dos extratos (595nm) foi realizada utilizando-se a espectrofotometria UV-visível. O valor foi expresso em  $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ kg}^{-1}$ .

#### 3.4.8 Extração e ensaio da atividade da polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POD)

A determinação da atividade das enzimas polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POD) foram realizadas de acordo com Simões et. al, (2015), com adaptações. Uma amostra de 0,25 g da região superficial (0 a5 mm) do tecido foi homogeneizada em 1,5 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M (pH 7,0). O extrato foi centrifugado a  $7.960 \times g$  por 23 min. a 4°C.

O ensaio da PPO foi determinado pela adição de 40  $\mu\text{L}$  do sobrenadante ao meio de reação, contendo 1,5 mL de tampão de fosfato 0,02 M (pH 6,0) e 1,3 mL de catecol (0,2 M). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom; modelo libra S8) a 425 nm, em temperatura de 25 °C, por dois min.. A atividade da PPO foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de  $3,4 \text{ mM cm}^{-1}$  para catecol e expressa em  $\mu\text{mol de catecol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

O ensaio da POD foi determinado pela adição de 150  $\mu\text{L}$  do sobrenadante ao meio de reação contendo 1 mL de tampão fosfato 0,01 (pH 7,0), 100  $\mu\text{L}$  de guaiacol ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ) e 100  $\mu\text{L}$  de peróxido de hidrogênio ( $0,8 \text{ g L}^{-1}$ ). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom; modelo libra S8) a 470 nm, à 30 °C, por três min.. A atividade da POD foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de  $26,6 \text{ mM cm}^{-1}$ , para guaiacol, e expressa em  $\mu\text{mol de guaiacol min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

#### 3.4.9 Extração e ensaio da atividade da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX)

Para a extração e ensaio da atividade da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), foi homogeneizado 0,25 g do tecido (0 a 5 mm) da região superficial da amostra, em 2 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M (pH 7,0), com adição de EDTA 10 mM e ácido ascorbico a 200 mM, adição 0,1 g de Polivinilpirrolidona. O extrato foi centrifugado a  $7.960 \times g$  por 23 min. a 4 °C.

A atividade da SOD foi determinada como descrito por Shi et al. (2007), com adaptações de Coelho Júnior et al. (2018). Alíquotas de 100  $\mu\text{L}$  do sobrenadante foram

adicionadas a 1.660 µl de tampão fosfato de sódio 50 mM (pH 7,8) contendo (1 µM EDTA e 13 mM de metionina), 40 µL de riboflavina 1mM e 200 µl de Cloreto de tetrazólio-nitrozol (NBT) a 750 µM.

A reação foi realizada em câmara clara, permanecendo sob incidência de luz (duas lâmpadas fluorescente de 18 W), por 6 min.. As leituras foram feitas a 560 nm no espectrofotômetro (Modelo libra S8, Biochrom, fabricado em Cambridge, Inglaterra). A atividade foi determinada com base na inibição da redução de NBT, definindo-se a unidade de atividade como a quantidade da enzima necessária para inibir 50 % da foto redução (BEAUCHAMP; FRIDOVICH, 1971). A atividade foi expressa em U.A min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> MF.

A atividade da CAT foi determinada segundo a metodologia proposta por Havir & Michale (1987) e Anderson et al. (1995), com modificações. Para o ensaio, alíquotas de 25 uL do extrato enzimático (obtido no item 4.5.10) foram adicionadas a 25 uL de água ultrapura e 900 uL de tampão fosfato de potássio (50 mM, pH 7,0) e mantidas em banho-maria à temperatura de 27° C. No momento da leitura, foi então adicionado 50 uL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (20 mM). Foi realizado o acompanhamento do decaimento da absorbância a 240 nm por 1,5 min., com leituras realizadas em espectrofotômetro (Modelo libra S8, Biochrom, fabricado em Cambridge, Inglaterra), de forma sucessiva, a cada 10 segundos. A atividade da catalase foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de 36 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> para H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e expressa em µmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> MF.

A atividade da APX foi determinada segundo a metodologia proposta por Nakano & Asada, (1981), com adaptações. Para o ensaio, alíquotas de 25 uL do extrato enzimático (obtido no item 4.5.10) foram adicionadas a 25 uL de água ultrapura e 900 uL do tampão fosfato de potássio (111 mM; pH 7,0), 50 µL de ácido ascórbico (10 mM) e mantidas em banho-maria à temperatura de 27 °C por, 5 min. No momento da leitura, foi adicionado 50 uL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30 mM). Foi realizado o acompanhamento do decaimento da absorbância a 290 nm por 1,5 min., com leituras realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra), de forma sucessiva, a cada 10 seg.. A atividade da ascorbato peroxidase foi calculada com base no coeficiente de extinção molar de 2,8 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> e expressa em µmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> FW.

#### 3.4.10 Atividade da fenilalanina amônialiase (PAL)

A atividade da enzima fenilalanina amônialiase (PAL) será determinada mediante metodologia descrita por Ke e Saltveit (1986) e Simões (2004), com adaptações. Foi extraída

0,5g da amostra de mandioca, homogeneizada em almofariz gelado, com 2mL de solução tampão borato de sódio (0,1 M) pH 8,8 contendo  $\beta$ -mercaptanol (5mM), EDTA (2 mM) e polivinil pirrolidona insolúvel (PVPP). A amostra foi centrifugada 25000 g por 20 min. a 4°C, em seguida foi retirado o sobrenadante e centrifugado novamente por 25000 g por 20 min. a 4 °C. No ensaio, foram utilizados 0,5  $\mu$ L da amostra e 0,5  $\mu$ L de tampão borato (0,1 M) com pH 8,8 contendo L-fenilalanina (60 mM), o qual foi pré-incubado a 40 °C, por 15 min. Em seguida, foi adicionado 0,5 mL do extrato enzimático e, após 2 h de incubação a 40 °C, foi feita a leitura de absorbância a 290 nm. Com branco, foi utilizado o tampão borato (0,1 M), ao invés da L-fenilalanina. A atividade da enzima PAL foi expressa em  $\text{mmol g}^{-1} \text{MF min}^{-1}$ .

#### 3.4.11 Peroxidação lipídica

O nível de peroxidação lipídica foi determinado por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), baseado no método descrito por Coelho Júnior et al. (2019), com modificações. Para a extração, foram pesados 0,1 g da mandioca, sendo macerados e solubilizados com 1,0 mL de TCA a 6%. Em seguida o homogenato foi centrifugado a 7960 g por 15 min. a 4°C. Alíquotas de 500  $\mu$ L do sobrenadante foram adicionadas a 1500  $\mu$ L do meio de reação contendo 20% de TCA e 0,5% de ácido tiobarbitúrico (TBA). As amostras foram aquecidas a 95°C por 30 min e posteriormente foram imersas em banho de gelo para a paralização da reação, e em seguida as leituras de absorbância foram realizadas a 532 nm e a 600 nm. O coeficiente de extinção molar utilizado para o cálculo da atividade de TBARS foi de  $155 \mu\text{mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ , expressando os resultados com base em  $\text{nmol g}^{-1} \text{MF}$ .

#### 3.5 Delineamento experimental e análise e estatística

O delineamento usado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 3x7, sendo: três tratamentos, controle (pedaços sem mucilagem e sem secagem), pedaços de mandioca revestidos e secos em secador de biorevestimento e pedaços revestidos e secos em ambiente com ventilador 25 °C, com 7 tempos de conservação (0, 3, 6, 9, 12, 15 e 18 dias), com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por quatro mini toletes de mandioca por embalagem de cada respectivo tratamento.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade, análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do software R x 64 3.4.0. Os gráficos foram elaborados utilizando o software Sigma Plot versão 14.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades físico-químicas, exceto o teor de sólidos solúveis totais (SST), da mandioca minimamente processada revestida com mucilagem de palma forrageira foram afetadas pelos fatores isolados método de secagem e dias de conservação e, ou, por suas interações ( $p < 0,05$ ) (Tabela 2). O fator secagem afetou as variáveis de perda de massa (PM), análise visual (AV), compostos fenólicos (CF), Atividade antioxidante (FRAP), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e atividade da polifenol oxidase (PPO). O fator dia de conservação influenciou todas as variáveis analisadas com exceção do teor de sólidos solúveis totais (SST), avaliação visual (AV), catalase (CAT), e peroxidase (POD). A interação dos fatores secagem e dia de conservação foi decisiva na variação dos valores de PM, AV, luminosidade (L), croma (C), CF, Capacidade antioxidante (DPPH), SOD, CAT, APX, POD, fenilalanina amônia-liase (PAL), e Peroxidação lipídica (TBARS) (Tab. 2).

**Tabela 2:** Resumo da análise de variância dos efeitos de método de secagem e dias de conservação de mandioca minimamente processada e revestida com mucilagem de palma forrageira  $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ; ns: não significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

F.V	G.L	Quadrado médio				
		PM	SS	AV	L	C
Secagem (S)	2	734,78**	2,55ns	1,33**	66,71ns	54,71ns
Dia (D)	3	531,37**	8,19ns	0,17ns	546,87**	505,93**
S x D	6	188,63**	5,60ns	0,17*	88,93*	91,42*
Erro	36	0,0378	37,00	0,07	35,88	38,57
CV (%)		2,79	12,66	5,45	6,83	7,06

F.V	G.L	Quadrado médio				
		CF	DPPH	FRAP	SOD	CAT
Secagem (S)	2	98,36**	59,21ns	0,6642**	26,53**	0,5392**
Dia (D)	3	55,34**	346,29**	0,2984**	12,77**	0,0220ns
S x D	6	24,14**	119,00**	0,0674ns	12,04**	0,051*
Erro	36	0,85	18,46	0,0366	0,67	0,0179
CV (%)		10,6	18,27	12,82	11,37	19,93

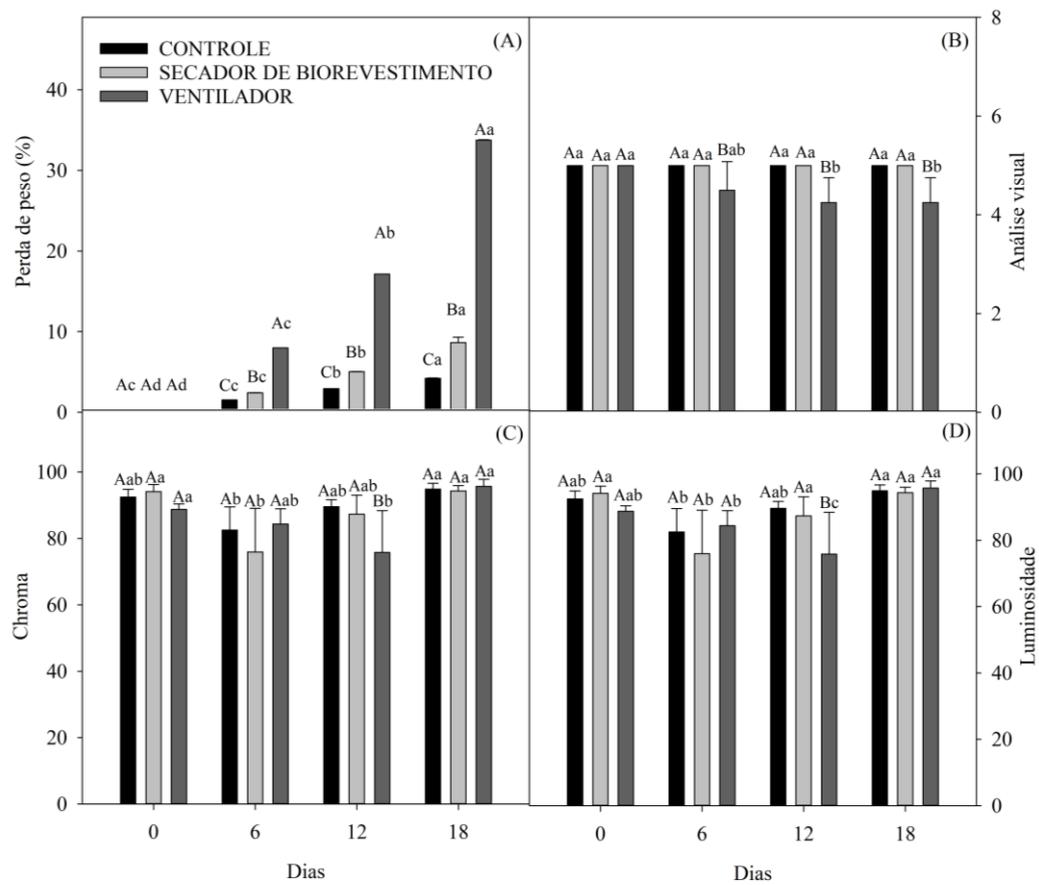
F.V	G.L	Quadrado médio				
		APX	POD	PPO	PAL	TBARS
Secagem (S)	2	6698,97**	1,32ns	17164,85**	0,5465ns	24,20ns
Dia (D)	3	13657,23**	22,37ns	1557,52ns	1,5633*	103,91**
S x D	6	20743,66**	956,67**	917,00ns	5,1092**	57,21**
Erro	36	214,85	91,67	680,11	0,2440	10,27
CV (%)		16,53	25,5	16,18	20,98	17,25

F.V: fonte de variação; G.L: grau de liberdade; PM: perda de massa; SS: sólidos solúveis; AV: análise visual; L: luminosidade; C: croma; CF: compostos fenólicos; Atividade antioxidante DPPH e FRAP: SOD: superóxido dismutase; CAT: catalase; APX: ascorbato peroxidase; POD: peroxidase; PPO: polifenol oxidase; PAL: fenilalanina amônia-liase; TBARS: peroxidação lipídica

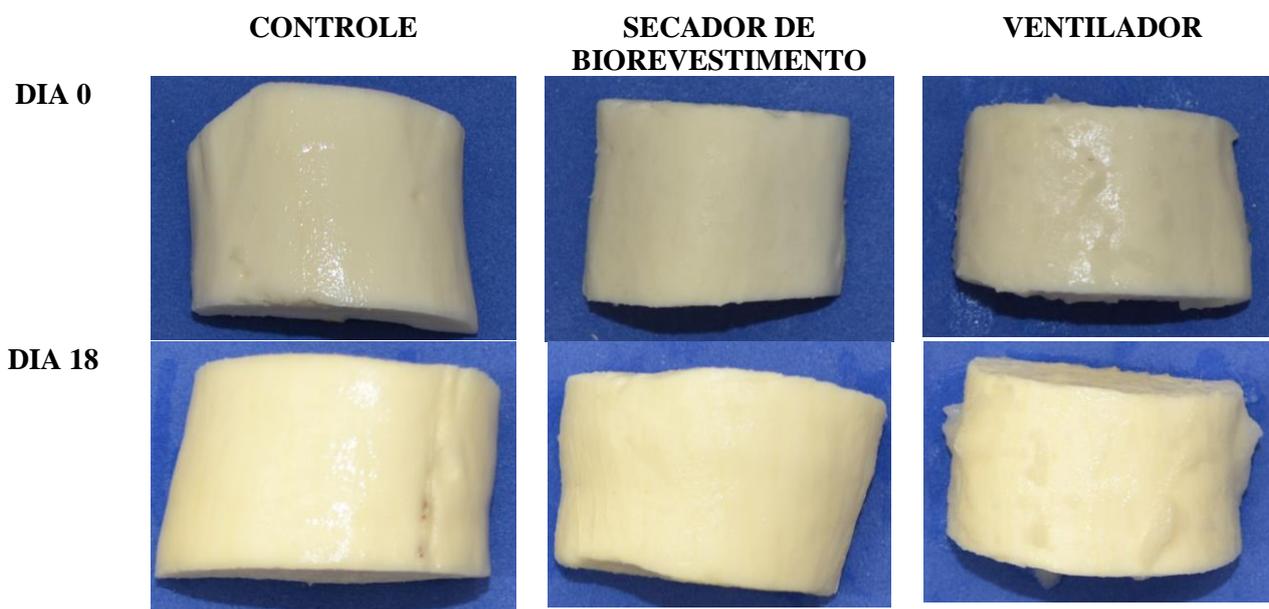
Evidenciou que os pedaços secos com ventilador apresentaram, ao longo da conservação, incremento significativo na perda de massa fresca (Fig. 4 a) e queda significativa na nota das avaliações visuais, a partir do dia 6 de conservação nos pedaços secados com ventilador (Fig. 4 b). O motivo da queda de notas se deveu principalmente ao início do aparecimento de estrias escurecidas nos pedaços. Por outro lado, os pedaços secos no secador de biorevestimento e controle permaneceram com a nota máxima na classificação visual (Fig. 4 b).

Considerando a perda de massa, pode-se observar que os pedaços secos no secador de biorevestimento obtiveram perda de massa abaixo de 8% (Fig. 4 a), mostrando assim a eficiência do secador de biorevestimento. Além disso, os pedaços que foram secos no secador de biorevestimento foram aqueles que tiveram uma menor desidratação aos 18 dias, em relação à secagem em ventilador (Fig. 5). No gráfico do chroma (Fig. 4 c), percebe-se a saturação das cores da mandioca, onde os modos de secagem não influenciaram significativamente nos valores, a luminosidade (Fig. 4, d) as médias ficaram entre 75 e 100, não apresentou diferença significativa.

Os resultados das análises visuais mostraram que o tempo e a forma de secagem influenciaram nas notas visuais, evidenciando que os pedaços submetidos ao secador de biorevestimento se manteve com nota máxima, ao longo dos dias de conservação (Fig 5). Por outro lado, os pedaços secos com ventilador tiveram queda na nota visual. Isso se dá pelo fato da mucilagem ainda se mostrar mais pegajosa e úmida, perdendo assim a qualidade visual desses pedaços de mandioca. Coelho et al (2017), avaliando revestimentos comestíveis à base de amido, sugerem que o tempo de secagem do revestimento é crucial para que a mandioca possa atingir notas visuais mais aceitáveis, pois, quanto mais tempo o produto passa secando, intensifica as reações oxidativas que resultam em escurecimento.



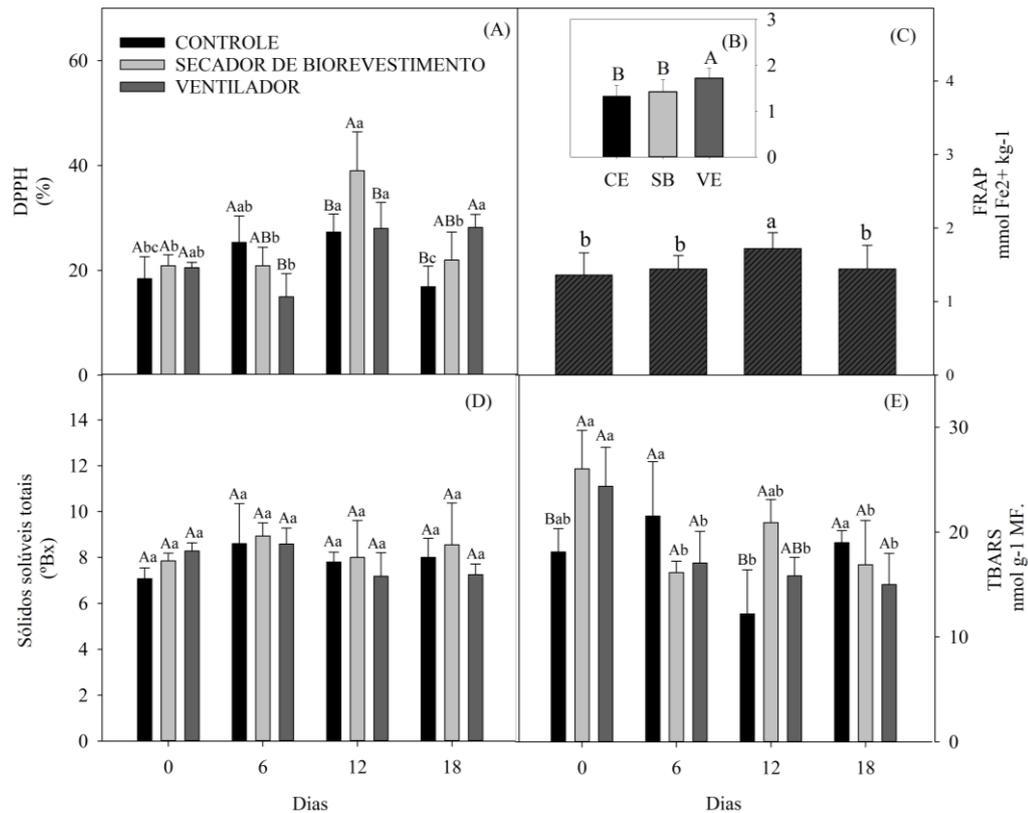
**Figura 4:** Perda de massa fresca (%) (A), Análise visual (B), Chroma (C) e Luminosidade (D) em mandioca minimamente processada nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador, mantidas armazenadas a  $5 \pm 2$  °C por 18 dias.



**Figura 5:** Imagens do início e fim da conservação refrigerada ( $5 \pm 2$  °C) da mandioca minimamente processado nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador mantidas armazenadas a  $5 \pm 2$  °C por 18 dias.

Observou-se que os pedaços denominados controle, apresentaram os menores níveis de capacidade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP, sólidos solúveis e TBARS, logo no início da conservação (dia zero). Esse mesmo padrão se manteve aos 18 dias de conservação, com exceção do TBARS. O método FRAP foi maior nos pedaços secos em ambiente com ventilador, esse comportamento é similar aos resultados de DPPH (Fig. 6 a, b e c). Os sólidos solúveis se caracterizam pela conversão dos açúcares em amido, o que se apresenta no gráfico que não houve diferença significativa entre dias e tratamentos (Fig. 6 d).

As EROs desempenham um papel crucial no início da peroxidação lipídica, que pode causar danos oxidativos as moléculas biológicas. E essa peroxidação lipídica descontrolada pode ocasionar o rompimento ilimitado da membrana e, eventualmente, à descompartimentação e morte celular (FREI, 1994; DHINDSA E MATOWE, 1981). O conteúdo TBARS (Fig. 6 e) apresentou incrementos em seu conteúdo nos dias 0 nos pedaços denominados controle e pedaços secos no secador de biorevestimento, o método de secagem em máquina os pedaços de mandioca apresentaram levemente superiores em relação no conteúdo de TBARS também dia 12 o de avaliação. Podendo tá relacionado com o menor estresse nesses pedaços (COELHO JÚNIOR et al., 2015)



**Figura 6:** Atividade de eliminação de DPPH (a), FRAP (b e c), Sólidos solúveis totais (d) e TBARS (e) em mandioca minimamente processada nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador, mantidas armazenadas a  $5 \pm 2$  °C por 18 dias.

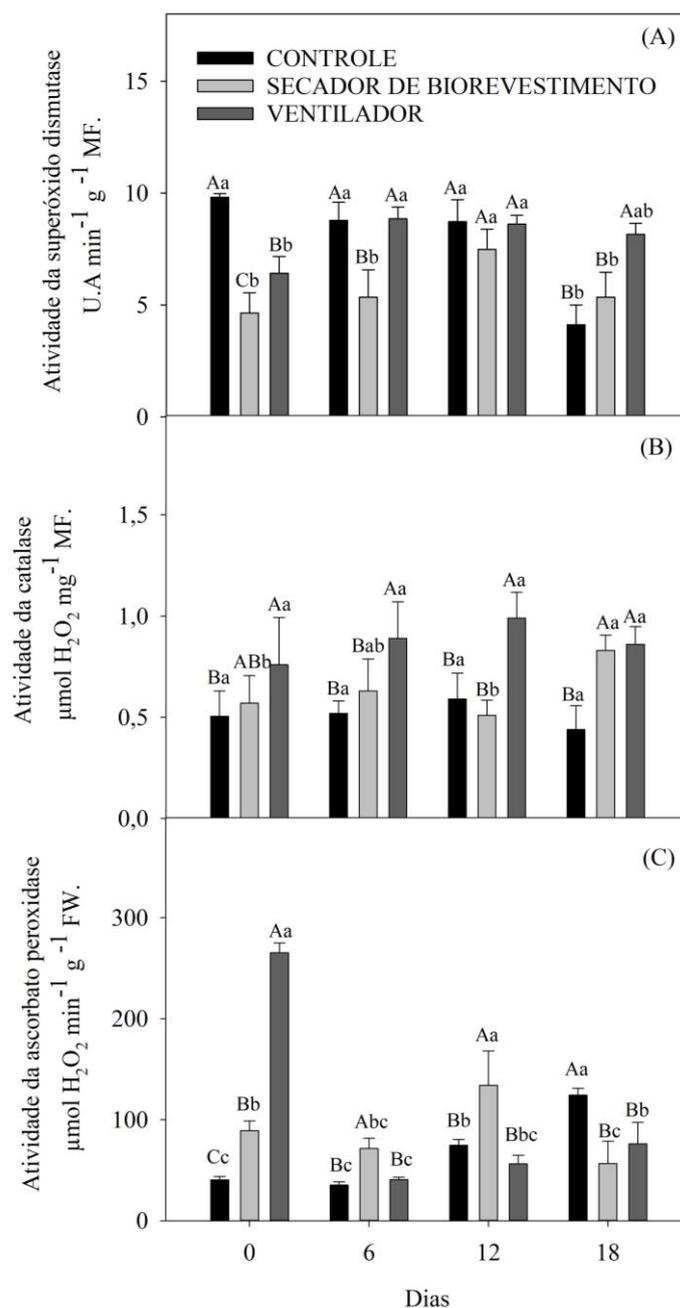
Percebeu-se que a atividade da superóxido de dismutase (SOD) foi maior nos pedaços denominados controle e pedaços secos em ambiente com ventilador (Fig 7 a), por outro lado, a atividade da catalase (CAT) e ascobarto de peroxidase (APX) foram baixas nos pedaços denominados controle, durante a conservação (Fig. 7 a, b e c). As enzimas como SOD, CAT e APX participaram de mecanismos de defesa celular contra os danos oxidativos, atuando na eliminação de substâncias nocivas, como  $O_2^-$  e  $H_2O_2$ . (LI et al., 2015; XU et al., 2013).

O estresse oxidativo causado pela deterioração dos tecidos vegetais desencadeia mecanismos de defesa, a fim de eliminar o excesso de EROs nas células, através da atividade de enzimas como CAT, SOD e APX (FREIRE et al., 2015; DEMIDCHIK, 2015). No presente estudo, percebe-se que a SOD não teve aumento nos pedaços secos em secador de biorevestimento (Fig. 6 a), além disso, em média a atividade da SOD foi a menor (Fig. 7 a gráfico interno). Percebe-se então, a importância da atividade enzimática da SOD para a

redução do escurecimento nos pedaços secos no secador de biorevestimento. Em contrapartida, os pedaços secos em temperatura ambiente e os pedaços denominados controle tiveram aumento da SOD (Fig. 7 a). A atividade da SOD fornece a primeira defesa contra os efeitos tóxicos da EROs, agindo com maior resistência ao escurecimento no tecido, e tem seu nível maior quando há a necessidade de proteção contra a oxidação tóxica (XU et al., 2013; FRIDOVICH, 1974).

A CAT também participa dessa defesa, tendo uma ação inicial nesse processo de deterioração da mandioca (QIN et al., 2017). Assim, como resultado, os pedaços de mandioca secos em secador de biorevestimento não mostraram escurecimento no tecido, possivelmente por também apresentar as alta atividade da CAT no final da conservação, o que implica na eliminação de  $H_2O_2$  visto que esta molécula é indutora do estresse oxidativo e escurecimento (Fig. 7 b e c).

Por outro lado, verificou-se que as atividades da SOD, CAT e APX exibiram incremento significativo nos pedaços secos em ambiente com ventilador. A ação dessas enzimas antioxidantes são bem altas no estágio inicial do estresse, onde elas buscam fornecer um grau de proteção contra os danos oxidativos, e vão diminuindo gradativamente devido a síntese reduzida (YU E RENGEL, 1999), como foi visto na atividade da APX no dia zero de conservação, comparado com os demais dias para os pedaços secos com ventilador (Fig. 7 c). Com isso é notório que a ação dessas enzimas tem um papel importante para minimizar o escurecimento, como vimos nos resultados apresentados, onde os pedaços secos no secador de biorevestimento foram os que apresentaram melhor qualidade visual comparado aos outros pedaços.



**Figura 7:** Atividade da superóxido de desmutase - SOD (A), Atividade da catalase - CAT (B) e Atividade da ascorbato peroxidase - APX (C) em mandioca minimamente processada nos tratamentos controle, secador de biovestimento e ventilador, mantidas armazenadas a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 18 dias.

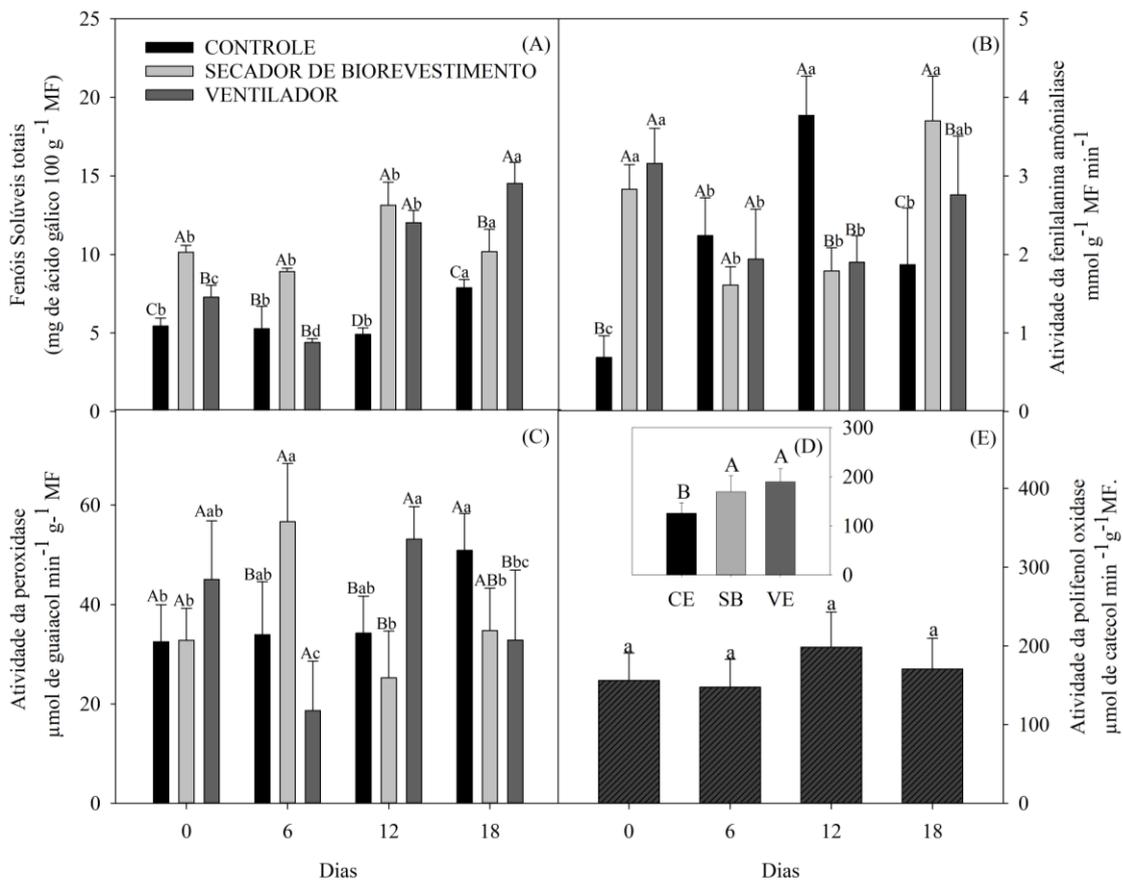
A atuação dos compostos fenólicos na qualidade de produtos minimamente processados vem sendo bastante estudada devido o seu efeito antioxidante. O acúmulo de compostos fenólicos, podem ser indicativos de escurecimento enzimático, sendo também importantes na questão nutricional (Liu, 2004). Assim, após o processamento mínimo os teores de compostos fenólicos podem variar em função do tipo de tecido vegetal (REYES et

al., 2007). No presente estudo os compostos fenólicos nos pedaços de mandioca denominados controle permaneceram com menor aumento, seguido dos pedaços de mandioca seco no secador de biorevestimento, podendo, em parte, explicar uma menor intensidade de escurecimento desses pedaços. O processamento mínimo possivelmente pode ser indutor desses compostos, e a oxidação desses compostos mediados pela PPO e POD, resultam no escurecimento do tecido vegetal.

No início da conservação (dia zero), as atividades da PAL, POD e PPO, foram mais altas para os pedaços secos com ventilador em ambiente (Fig. 8 b, c e d). A atividade da PAL (Fig. 7 a), teve seu pico no dia 12 de conservação nos pedaços denominados controle, além disso os pedaços secos em secador de biorevestimento tiveram uma atividade baixa, comparado com os outros pedaços durante os dias de conservação. A PAL é a primeira enzima envolvida no metabolismo de fenilpropanóides, e esse metabolismo é ativado após a raiz sofrer uma lesão, regulando a cicatrização pela síntese dos composto fenólicos (DIXON; PAIVA, 1995; (LIU et al., 2005).

Para os resultados da POD (Fig. 8 c), verificou-se os pedaços secos em ambiente com ventilador foram mais altos comparados com os outros tratamentos durante a conservação. Na atividade da PPO (Fig. 8 d e e), não houve diferença significativa entre os dias de conservação, mas sim entre os tratamentos, onde notou-se que, os pedaços secos em ambiente com ventilador tiveram maior incremento comparado com os outros pedaços. Essa atividade da POD vista no presente estudo corrobora com os dados das análises visuais, onde manteve as notas de avaliação dos pedaços secos em temperatura ambiente com ventilador, abaixo dos outros pedaços. Isso se dá, pois, a alta atividade da POD aumenta o escurecimento no tecido, isso porque embora a POD seja tenha ação de auxílio na remoção das ROS, que são formadas devido aos danos, a alta atividade da POD produz pigmentos enegrecidos no tecido vegetal e insolúveis (IYER et al., 2010; LIMBO; PIERGIOVANNI, 2006). Assim, os pedaços combinados com biorevestimento e com a secagem em secador de biorevestimento obtiveram baixa atividade da POD. Os resultados da atividade enzimática da PPO mostra que o secador de biorevestimento também se mostrou mais eficiente, pois possivelmente induz menor danos oxidativos e conseqüentemente menos atividade das enzimas antioxidantes. As atividades das enzimas POD e PPO são mais expressivas após uma injúria mecânica. Causando o escurecimento do tecido vegetal, onde envolve a interação dessas enzimas com o substrato polifenólico na presença de oxigênio onde há a catalisação de duas reações: a hidroxilação de monofenóis em difenóis e a oxidação de difenóis em quinonas (YORUK; MARSHALL, 2003; TOIVONEN; BRUMMELL, 2008).

Portanto, o revestimento comestível à base de palma forrageira se mostrou como boa alternativa para a conservação do produto minimamente processado, mantendo a boa aceitabilidade visual para comercialização e consumo, mostrando também que os pedaços que foram submetidos a secagem no secador de biorevestimento apresentou melhor qualidade visual durante toda a conservação. Podendo assim agragar valor para a cultura da mandioca e outros vegetais, trazendo mais otimização ao processamento mínimo, atenuando os problemas ocasionados pelo escurecimento de raízes.



**Figura 8:** Composto fenólicos totais (A), Atividade da fenilalanina amôniaíase PAL (B), Atividade peroxidase - POD (C) e Atividade do polifenol oxidase - PPO (D e E) em mandioca minimamente processada nos tratamentos controle, secador de biorevestimento e ventilador, mantidas armazenadas a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 18 dias.

## 5 CONCLUSÃO

Pedaços de mandioca minimamente processados biorevestidos e secos no secador de biorevestimentos apresentaram notas máximas na avaliação visual, tendo menor desidratação durante a conservação e conseqüentemente a sua perda de massa ficou abaixo de 8%.

Os teores de compostos fenólicos, as atividades da PAL, POD e PPO nos pedaços secos em secador de biorevestimento foi baixo com relação aos pedaços secos de forma convencional, que pode explicar uma menor intensidade no escurecimento desses pedaços de mandioca.

As enzimas SOD, CAT e APX, tiveram um papel importante para minimizar o escurecimento, apresentando nos pedaços secos em secador de biorevestimento melhor qualidade visual em relação a secagem convencional. Assim, o secador de biorevestimento mostrou-se como método mais eficiente de secagem, pois possivelmente induz menores danos oxidativos; pode-se inferir que o secador de biorevestimento, ao acelerar o processo de secagem das amostras, contribuiu para potencializar a ação das enzimas, evitando a ação oxidativa;

Tal fato, nos leva a concluir que este método de aplicação de biorevestimento comestível de mucilagem de palma secos com secador de biorevestimento foi mais eficiente, quando comparado com o método de secagem já utilizado, no que diz respeito a causar menores danos oxidativos visíveis, conforme a hipótese apresentada. Conseqüentemente, os materiais submetidos a este método possuem maior potencialidade de comercialização ao se enquadrar nos critérios de aceitabilidade visual durante 18 dias de conservação.

## REFERÊNCIAS

- ALLEGRA, P. A., INGLESE, G., SORTINO, L., SETTANNI, A., TODARO, G., LIGUORI (2016). The influence of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on the quality of ‘Hayward’ kiwifruit slices. **Postharvest Biology and Technology**, v. 120, p. 45–51.
- ALMINO, A. H.; SANTOS, S. C. L. (2020). Efeito da aplicação de revestimentos comestíveis em frutas e hortaliças minimamente processadas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 100-104.
- ANDERSON, M. D., PRASAD, T. K., STEWART, C. R (1995.). Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. **Plant Physiology**, v. 109, p. 1247-1257.
- AQUINO-BOLAÑOS, E. N., & MERCADO-SILVA, E (2004). Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. **Postharvest Biology and Technology**, 33(3), 275–283.
- ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. DE. (2014). Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87–97.
- BENZIE, I. F. F; STRAIN, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70- 76.
- BEZERRA, V. S. PEREIRA, R. G.A.F. (2002). Processamento mínimo em mandioca: alterações na qualidade e componentes nutricionais. In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de alimentos**, 18., 2002, Porto Alegre, RS. Anais.. Porto Alegre: [s.n.],
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30.
- CISNEROS-ZEVALLOS L, JACOBO-VELÁZQUEZ DA, PECH J-C AND KOIWA H, Signaling molecules involved in the postharvest stress response of plants: quality changes and synthesis of secondary metabolites, in **Handbook of Plant Crop Physiology**, 3rd edn, ed. by Pessaraki M. CRC Press, Boca Raton, FL, p.259–276, 2014
- COELHO JÚNIOR, L. F.; FERREIRA SILVA, S. L.; VIEIRA, M. R. S.; CARNELOSSI, M. A. G.; SIMOES, A. N (2018). Darkening, damage and oxidative protection are stimulated in tissues closer to the yam cut, attenuated or not by the environment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v, 98, p.2223-2230.

COELHO, D.C., ANDRADE, M. T., NETO, D. F. M., SILVA, S. L. F. SIMÕES, A. DO N.(2017). Application of antioxidants and edible starch coating to reduce browning of minimally-processed cassava. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 503-512.

DE ANDRADE VIEIRA, É. et al. Mucilages of cacti from Brazilian biodiversity: Extraction, physicochemical and technological properties. **Food Chemistry**, v. 346, 2021.

DEMIDCHIK, V. (2015). Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. **Environmental and Experimental Botany**, v. 109, p. 212-228.

DIXON, R. A.; PAIVA, N. L (1995). Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **Plant Cell**, v. 7, n. 7, p. 1085-1097.

DU TOIT, A., DE WIT, M., NAUDÉ, S., TALJAARD, M., FOUCHÉ, H.J., HUGO, A., VENTER, S.L (2019). Functional properties and sensory evaluation of mucilage from South African cactus pear cladodes. **Acta Hort.** 1247, 251-260.

DU TOIT, A.; DE WIT, M.; HUGO, A (2018). Cultivar and Harvest Month Influence the Nutrient Content of *Opuntia spp.* Cactus Pear Cladode Mucilage Extracts. **Molecules**, 23 (4), 916.

EMBRAPA. Mandioca em números. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/congresso-de-mandioca-2018/mandioca-em-numeros>>. Acesso em 28 de outubro de 2022.

FIODA, F. A., JÚNIOR, M. S. S., SILVA, A. S., SOUTO, L. R. F., GROSSMANN, M.V.E.. (2013) Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 408–416, dez.

FLOEGEL, A., KIMB, D. O CHUNG. S J., KOOA., S. I. .CHUNA, O.K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 7, p. 1043-1048.

FONSECA, K. S., ANDRADE, M. T., COELHO, D. G., SOUSA, A. E. D., NETO, D. F. M., BRITO, F. A., SILVA, R. M., SIMÕES, A.N.( 2018) Baby Cassava: An Alternative Marketing Strategy for Freshly Cut Cassava. Cassava. Reino Unido, **Londres: IntechOpen**, 1, 185-198.

FREIRE, C. S., SIMÕES, A. N., BARROS JÚNIOR, A. P., VIEIRA, M. R. S., SILVA, S. L. F., SILVA, E. F (2015). Activity of oxidative enzymes involved in the browning of minimally processed sweet cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 4, p. 296-302.

FREIRE, C. S. et al. Qualidade de raízes de mandioca de mesa minimamente processada nos formatos Minitoleta e Rubiene. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 27, n. 4, p. 95 – 102, 2014

GHERIBI, R.; KHWALDIA, K. Cactus mucilage for food packaging applications. **Coatings**, v. 9, n. 10, p. 1–19, 2019.

GHERIBI, R.; PUCHOT, L.; VERGE, P.; JAOUED-GRAYAA, N.; MEZNI, M.; HABIBI, Y.; KHWALDIA, K. Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. **Carbohydr. Polym.** 2018, 190, 204–211.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A (1987). Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450– 455.

IYER, S.; MATTINSON, D. S.; FELLMAN, J. K. (2010) Study of the early events leading to cassava root postharvest deterioration. **Tropical Plant Biology**, New York, v. 3, n. 3, p. 151-165.

JIMÉNEZ, A., FABRA, M. J., TALENS, P., CHIRALT, A (2012) Edible and biodegradable starch films: a review. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 5, n. 6, p. 2058-2076.

LI, T.T., LI, J.R., HU, W.Z. & LI, X.P. (2013). Quality enhancement in refrigerated red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets using chitosan coatings containing natural preservatives. **Food Chemistry**, 138, 821–826.

LI, Y., WILLS, R. B. H., GOLDING, J.B. (2015) Sodium chloride, a cost effective partial replacement of calcium ascorbate and ascorbic acid to inhibit surface browning on fresh-cut apple slices. **Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 503-507.

LIMBO, S.; PIERGIOVANNI, L. (2006). Shelf life of minimally processed potatoes: Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. **Postharvest biology and technology**, Amsterdam, v. 39, n. 3, p. 254-264.

LIU, R. H. (2004) Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. **The Journal of Nutrition**, 134, 3479S– 3485S.

MAIA, L.H.; PORTE, A.; SOUZA, V.F. (2000). Filmes comestíveis: aspectos gerais, propriedades de barreira a umidade e oxigênio. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, 18(1):105-128.

MORAIS, M. A. S., FONSECA, K. S., ELLEN KARINE DINIZ VIÉGAS, E. K. D., ALMEIDA, S. L., RÚBIA KÉCIA MARINS MAIA, R. K. M., SILVA, V. N. S., SIMÕES, A. N. (2019.) Mucilage of spineless cactus in the composition of an edible coating for minimally processed yam (*Dioscorea spp.*). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 3, p. 2000–2008.

MOREIRA, M. K. V. (2018) Conservação de pinhões minimamente processados por meio de revestimentos comestíveis com características antimicrobianas. 2018. 112 f. **Dissertação (Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.**

NAKANO, Y.; ASADA, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant & Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880.

OLIVEIRA, E. C. M.; VALLE, R. H. P. do. Aspectos microbiológicos dos produtos hortícolas minimamente processados. **Hig. aliment**, v. 14, n. 78/79, p. 50-4, 2000

PEREIRA, A. S.; LORENZI, J. O.; VALLE, T. L. Avaliação do tempo para cozimento e padrão de massa cozida em mandioca de mesa. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 47, n. 1, p. 27-32, 1985.

QIN, Y.; DJABOU, A. S. M.; AN, F.; LI, K.; LI, Z.; YANG, L.; WANG, X.; CHEN, S. (2017) Proteomic analysis of injured storage roots in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under postharvest physiological deterioration. **PLoS One** 2017, 12 (3), e0174238.

REIS, M. B. DE A. ANÁLISE COMPARATIVA DE PROTEÍNAS EXPRESSADAS SOB ESTRESSE HÍDRICO EM PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia cochenillifera*). p. 1–70, 2009.

REYES, L.F., VILLARREAL, J.E., CISNEROS-ZEVALLOS, L. (2007.) THE Increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. **Food Chem.** v. 101, p. 1254-1262.

RINALDI, M. M., BENEDETTI, B. C., VIEIRA, E. A., MORETTI, C. L., FIALHO, J. DEF (2010) Processamento Mínimo: uma alternativa para os produtores de mandioca de mesa do Cerrado. Planaltina-DF: **Embrapa Cerrados.**

RITENOUR, M. A.; SALTVEIT, M. E (1996.). Identification of a phenylalanine ammonia-lyase inactivating factor in harvested head lettuce (*Lactuca sativa*). **Physiologia Plantarum**, v. 97, n. 1, p. 327-331.

SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. (2004) *Opuntia spp* mucilage's: a functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 3, p. 275–290.

SALCEDO, A.; SIRITUNGA, D. (2011) Insights into the physiological, biochemical and molecular basis of postharvest deterioration in cassava (*Manihot esculenta*) roots. **Journal of Experimental Agriculture International**, 414-431.

SALTVEIT, M.E. (1997) Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. *Phytochemistry of Fruit and Vegetables*. Tomas-Barberan, F.A. and Robins, R.J. (eds.). **Oxford University Press Inc.**, New York, 205–220.

SHI, Q., DING, F., WANG X., WEI, M. (2007) Exogenous nitric oxide protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. **Plant Physiol Biochem**, v.45, p.542–550.

SIMÕES, A. N. (2004) Alterações químicas e atividades de enzimas em folhas de couve inteiras e minimamente processadas. **Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais**.

SIMÕES, A. N., COSTA, F. B., LIMÃO, M. A. R., CARNELOSSI, M., SILVA, E. O., PUSCHUMANN, R.. (2007) Estratégias para reduzir o estresse do processamento mínimo. **Visão Agrícola: Pós-colheita de Frutas e Hortaliças**, v. 7, p. 92-97.

SIMÕES, A. N.; MOREIRA, S. I.; MOSQUIM, P. R.; SOARES, N. F. F.; PUSCHMANN, R. (2015) Effect of conservation temperature on quality and phenolic metabolism of intact and minimally processed kale leaves. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 1, p. 101-107.

SOUZA, L. D. C., BRITO, A. S., ARAÚJO, Y. P., SOUZA, J. F. N., ANDRADA, L. V. P., SIMÕES, A. N. (2022). Size and Harvest time of cladodes modulate the composition and physicochemical stability of prickly pear cactus mucilage. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 24, p. 220-241.

TOIVONEN, P. M. A.; BRUMMELL, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, p.1-14.

TURHAN, K. N. (2010) Is edible coating an alternative to MAP for fresh and minimally processed fruits? **Acta Horticulturae, Leuven**, v. 876, n. 1, p. 299-305.

VILLADIEGO, A. M. D., SOARES, N. F. F., ANDRADE, N. J., PUSCHUMANN, R., MINIM, V., CRUZ, R.S. (2005). Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios. **Revista Ceres**, v. 52, n. 300, p. 221-244.

XU, J., DUAN, X., YANG, J., BEECHING, J. R., ZHANG, P. (2013). Enhanced reactive oxygen species scavenging by overproduction of superoxide dismutase and catalase delays postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. **Plant Physiology**, v. 161, p.1517-1528.

YORUK, R.; MARSHALL, M. R. (2003). Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review 1. **Journal of food biochemistry**, v. 27, n. 5, p. 361-422.

ZAINUDDIN, I. M., FATHONI, A., SUDARMONOWATI, E., BEECHING, J., GRUISSEM, W., VANDERSCHUREN, H. (2018). Cassava post-harvest physiological deterioration: From triggers to symptoms. **Postharvest Biology and Technology**, v. 142, p. 115-123.