

MARIO LENO MARTINS VERAS

**AVALIAÇÃO DA INJÚRIA POR FRIO E BROTAÇÃO NO ARMAZENAMENTO DE
BATATA-DOCE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Fernando Luiz Finger.

Coorientadoras: Fernanda Ferreira de Araújo
Paula Cristina Carvalho Lima

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

V476a

2020

Veras, Mario Leno Martins, 1992-

Avaliação da injúria por frio e brotação no armazenamento
de batata-doce / Mario Leno Martins Veras. – Viçosa, MG, 2020.

71 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Fernando Luiz Finger.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Ipomoea batatas*. 2. Ácido nonanóico. 3. Metil
jasmonato. 4. Açúcares redutores. 5. Frio - Efeito fisiológico.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 635.22

MARIO LENO MARTINS VERAS

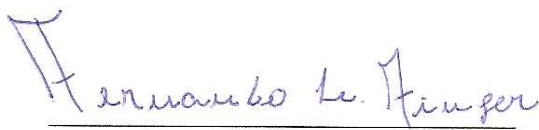
**AVALIAÇÃO DA INJÚRIA POR FRIO E BROTAÇÃO NO ARMAZENAMENTO DE
BATATA-DOCE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 21 de maio de 2020.

Assentimento:


Mario Leno Martins Veras
Autor


Fernando Luiz Finger
Orientador

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por toda a sabedoria e coragem que me deu durante a Pós-Graduação sempre me concedendo paz e saúde. Sem ele eu não teria chegado até aqui.

A minha família, especialmente minha mãe Maria Helena e Tony, por participarem das minhas conquistas e me compreender durante o tempo que estive ausente.

Agradeço em especial ao meu orientador, Fernando Luiz Finger e coorientadoras Fernanda Ferreira de Araújo e Paula Cristina Carvalho Lima, por terem dedicado seu tempo para a construção desse trabalho, bem como pela orientação, paciência e dedicação para comigo.

À UFV e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia pela oportunidade da realização deste curso. A CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa para realização das atividades do Doutorado. “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

Ao pessoal do Laboratório de Pós-Colheita do Departamento de Fitotecnia, em especial, Mirelle, Nicolas, Marcelo, Fernanda, Paulinha, Jean, Carol, Marília, Rafaela, Ariana e Geraldo.

Agradeço ao meu companheiro de pesquisa Nicolas por ter me ajudado muito nos experimentos e análises, e também a Mirelle, Fernanda e Paulinha por toda a ajuda durante as análises. Agradeço a compreensão que tiveram nos momentos que falhei.

Aos amigos-irmãos Adolpho, Alian, Expedito e Flaviano, que conquistei durante o tempo que morei em Viçosa, por terem me proporcionado momentos de risadas e alegrias.

RESUMO

VERAS, Mario Leno Martins, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2020. **Avaliação da injúria por frio e brotação no armazenamento de batata-doce.** Orientador: Fernando Luiz Finger. Coorientadoras: Fernanda Ferreira de Araújo e Paula Cristina Carvalho Lima.

A batata-doce quando armazenada em condições ambiente apresenta rápida incidência de brotações, as quais reduzem sua qualidade e compromete sua vida útil. Sendo assim, o uso de armazenamento em baixas temperaturas é comum para esta espécie. Entretanto, a batata-doce é susceptível à injúria por frio, resultando em acúmulo de açúcares redutores (adoçamento) e tornando-a impróprio para a fritura. Uma das estratégias para esse problema é o condicionamento, que consiste no armazenamento prévio a temperaturas amenas e posteriormente a temperaturas mais baixas. Diante da escassez de estudos com batata-doce especialmente trabalhos visando o seu armazenamento e sua importância socioeconômica e alimentar, este trabalho teve como objetivo avaliar os fatores que influenciam na qualidade pós-colheita de batata-doce. Para isso, raízes de batata-doce das cvs. BRS Cuia e BRS Rubissol foram armazenadas a 6 °C, 13 °C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C). O armazenamento a 6 °C e o condicionamento induziram injúria por frio nas duas cultivares (BRS Cuia e BRS Rubissol) de batata-doce, com maior extravasamento de eletrólitos e teor de MDA. Ambos tratamentos estimularam estresse oxidativo e promoveu alterações na qualidade de processamento das raízes, com o escurecimento dos tecidos. No entanto, a cv. BRS Rubissol apresentou características de maior tolerância comparado com a cv. BRS Cuia. Com o prolongamento do período de armazenamento a 6 °C e condicionamento, as raízes apresentaram perda da gradual da atividade das enzimas eliminadoras de espécies reativas de oxigênio (ERO's). Este estudo mostrou que o condicionamento não foi eficaz em aumentar a tolerância à injúria por frio em raízes de batata-doce. O armazenamento a 6 °C e o condicionamento induziram o maior acúmulo de açúcares redutores e não redutores e escurecimento não-enzimático dos *chips* em ambas cultivares de batata-doce. A aplicação do MeJa reduziu a incidência de brotação e manteve a qualidade dos *chips* após a fritura das batatas-doces. Porém, a aplicação de ácido nonanóico não suprimiu a brotação das raízes, e conseqüentemente os *chips* apresentaram coloração escura.

Palavras-chave: Ácido nonanóico. Adoçamento induzido pelo frio. *Ipomoea batatas*. Injúria por frio. Metil jasmonato.

ABSTRACT

VERAS, Mario Leno Martins, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2020. **Evaluation of cold injury and sprouting in sweet potato** storage. Advisor: Fernando Luiz Finger. Co-advisors: Fernanda Ferreira de Araújo and Paula Cristina Carvalho Lima.

Sweet potatoes, when stored under ambient conditions, have a rapid incidence of sprouts, which reduce their quality and compromise their useful life. Therefore, the use of low temperature storage is common for this species. However, sweet potatoes are susceptible to cold injury, resulting in the accumulation of reducing sugars (sweetening) and making them unsuitable for frying. One of the strategies for this problem is conditioning, which consists of pre-storage at mild temperatures and then at lower temperatures. In view of the scarcity of studies with sweet potatoes, especially studies aimed at their storage and their socioeconomic and food importance, this study aimed to evaluate the factors that influence the postharvest quality of sweet potatoes. For this, cvs. Sweet potato roots. BRS Cuia and BRS Rubissol were stored at 6 °C, 13 °C (control) and conditioning (10 °C for 7 days, followed by storage at 6 °C). Storage at 6 °C and conditioning induced cold injury in the two sweet potato cultivars (BRS Cuia and BRS Rubissol), with greater electrolyte leakage and MDA content. Both treatments stimulated oxidative stress and promoted changes in the quality of root processing, with the darkening of tissues. However, cv. BRS Rubissol showed characteristics of greater tolerance compared to cv. BRS Cuia. With the extension of the storage period at 6 °C and conditioning, the roots showed a gradual loss of the activity of the ROS eliminating enzymes. This study showed that conditioning was not effective in increasing tolerance to cold injury in sweet potato roots. Storage at 6 °C and conditioning induced the greatest accumulation of reducing and non-reducing sugars and non-enzymatic browning of the chips in both sweet potato cultivars. The application of MeJa reduced the incidence of sprouting and maintained the quality of the chips after frying the sweet potatoes. However, the application of nonanoic acid did not suppress the sprouting of the roots, and consequently the chips showed a dark color.

Keywords: Nonanoic acid. Sweetening induced by cold. *Ipomoea batatas*. Cold injury. Methyl jasmonate.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	7
REFERÊNCIAS	9
ARTIGO I: METABOLISMO ANTIOXIDATIVO E INJÚRIA POR FRIO EM RAÍZES DE BATATA-DOCE DURANTE O ARMAZENAMENTO REFRIGERADO.....	12
RESUMO	12
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS	30
ARTIGO II: ADOÇAMENTO INDUZIDO PELO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE CHIPS DE BATATA-DOCE	36
RESUMO	36
ABSTRACT	36
INTRODUÇÃO.....	37
MATERIAL E MÉTODOS.....	32
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS	48
ARTIGO III: CONTROLE DA BROTAÇÃO E METABOLISMO DE CARBOIDRATOS NO ARMAZENAMENTO DE RAÍZES DE BATATA-DOCE..	52
RESUMO	52
ABSTRACT	52
INTRODUÇÃO.....	53
MATERIAL E MÉTODOS.....	54
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	66
CONCLUSÃO GERAL.....	71

INTRODUÇÃO GERAL

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é uma das hortaliças mais consumidas mundialmente, sendo considerada um alimento que garante segurança alimentar, especialmente de populações de baixa renda, em virtude da quantidade produzida e a qualidade da raiz tuberosa (VARGAS et al., 2017). A raiz é rica em diversos nutrientes, compostos antioxidantes, como carotenoides e flavonoides, baixo índice glicêmico e baixa quilocaloria, sendo fonte de energia, vitaminas C, complexo B e minerais (CORDEIRO et al., 2013; BERNI et al., 2015).

Na cadeia de comercialização da batata-doce o fator limitante são as condições de armazenamento inadequadas, pois acima de 15 °C ocorre a perda de massa (murcha) pela respiração, indução da brotação, modificações bioquímicas (MUKUNYADZI et al., 2009; CHEEMA et al., 2013). A incidência de brotações em raízes de batata-doce promove diversas mudanças metabólicas (VAN DE POEL et al., 2015) reduz o número de raízes comercializáveis e aumenta a perda de peso das raízes (TEPER-BAMNOLKER et al., 2010). Sendo assim, a redução do surgimento de brotos através da aplicação de supressores de brotação nas raízes de batata-doce é essencial para a manutenção da qualidade de raízes de batata-doce (EL-SAYED et al., 2013).

Dentre os supressores de brotação, com alta eficiência em reduzir o percentual de brotação destaca-se o metil jasmonato (MeJa) como verificado em rabanete (WANG, 1998; PIRBALOUTI et al., 2014). Entretanto, o papel de jasmonatos no controle da brotação em produtos hortícolas são escassos, especialmente para a batata-doce (ALLAH et al. 2018). Outro possível supressor de brotação que pode ser utilizado é o ácido nonanóico, um herbicida não sintético, também chamado de ácido pelargônico (CIRIMINNA et al., 2019).

O armazenamento em baixas temperaturas seria mais uma alternativa para reduzir a brotação e prolongar o período de comercialização. Entretanto, a batata-doce, assim como outras raízes tuberosas apresenta injúria por frio quando armazenada sob temperaturas inferiores a 10 °C (JI et al., 2017).

Estudos com batata-doce demonstram que o efeito da injúria por frio é variável com o tempo de exposição a baixas temperaturas, pois Ji et al. (2017) observaram que as raízes de batata-doce da cultivar “Yumi” armazenadas a 4 °C por 4 semanas não apresentaram sintomas de injúria ou alterações morfológicas. Contudo, após o armazenamento durante 6 semanas a 4 °C, as raízes apresentaram sintomas de injúria por frio, como escurecimento interno do tecido, lesões escuras e afundadas nos tecidos colapsados em toda a superfície da casca), enquanto que

as raízes armazenadas a 13 °C não apresentaram os mesmos sintomas, indicando que o condicionamento pode reverter os efeitos deletérios das baixas temperaturas.

Diante da escassez de estudos com batata-doce (MASSAROTO et al., 2014) especialmente trabalhos visando o seu armazenamento e sua importância socioeconômica e alimentar, este trabalho teve como objetivo avaliar os fatores que influenciam na qualidade pós-colheita de batata-doce.

REFERÊNCIAS

ALLAH, M. S. D.; EL-ADGHAM, F. I.; EL-ARABY, S. M.; GHONEIM, I. M. Influence of jasmonic acid and chlorpropham treatments on sprouting, quality and storability of potato tubers during cold storage. **Alexandria Journal of Agricultural Sciences**, v. 63, n. 5, p. 303-311, 2018.

BERNI, P.; CHITCHUMROONCHOKCHAI, C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; MOURA, F. F.; FAILLA, M. L. Comparison of content and in vitro bioaccessibility of provitamin A carotenoids in home cooked and commercially processed orange fleshed sweet potato (*Ipomea batatas* Lam). **Plant foods for human nutrition**, v. 70, n. 1, p. 1-8, 2015.

CHAKRABORTY, C.; ROYCHOWDHURY, R.; CHAKRABORTY, S.; CHAKRAVORTY, P.; GHOSH, D. A Review on Post-Harvest Profile of Sweet Potato. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 1894-1903, 2017.

CHEEMA, M.U.A.; REESA, D.; COLGANA, R.J.; TAYLORB, M.; WESTBYA, A. The effects of ethylene, 1-MCP and AVG on sprouting in sweetpotato roots. **Postharvest Biology and Technology**, v.85, p. 89–93, 2013.

CIRIMINNA, R.; FIDALGO, A.; ILHARCO, L. M.; PAGLIARO, M. Herbicides based on pelargonic acid: Herbicides of the bioeconomy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 6, p. 1476-1482, 2019.

CORDEIRO, N.; FREITAS, N.; FARIA, M.; GOUVEIA, M. Ipomoea batatas (L.) Lam.: a rich source of lipophilic phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 12380 - 12384, 2013.

EL-SAYED, S. F.; EL-HELALY, M. A.; EMAM, M. S.; ABDEL-GHAFFAR, M. A. Effect of some post-cold storage treatments on shelf life of sweet potato roots. **International Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants**, v. 5, p. 160-170, 2013.

HONG, K. Q.; XU, H.; WANG, J.; ZHANG, L.; HU, H.; JIA, Z.; GU, H.; HE, Q.; GONG, D. Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. **Scientia Horticulturae**, v. 151, p. 68–74, 2013.

JI, C. Y.; CHUNG, W. H.; KIM, H. S.; JUNG, W. Y.; KANG, L.; JEONG, J. C.; KWAK, S. S. Transcriptome profiling of sweetpotato tuberous roots during low temperature storage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 112, p. 97-108, 2017.

MASSAROTO, J. A.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; FRANCO, H. D.; GASPARINO, C. F. Desempenho de clones de batata-doce Behavior of roots of sweet potato clones. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 73-81, 2014.

MENOLLI, L. N.; FINGER, F. L.; PUIATTI, M.; BARBOSA, J. M.; BARROS, R. S. Atuação das enzimas oxidativas no escurecimento causado pela injúria por frio em raízes de batata – baroa. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 57-63, 2008.

MUKUNYADZI M. (2009). **A Study of Sweet potato Postharvest Handling and Marketing in Chiweshe (Mazowe District) in Zimbabwe**, Dissertation for award of MSc degree at Larenstein University, Wageningen, The Netherland; 56.

PADDA, M. S.; PICHA, D. H. Effect of low temperature storage on phenolic composition and antioxidant activity of sweetpotatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 2, p. 176-180, 2008.

PIRBALOUTI, A. G.; SAJJADI, S. E.; PARANG, K. A review (research and patents) on jasmonic acid and its derivatives. **Archiv der Pharmazie**, v. 347, n. 4, p. 229-239, 2014.

TEPER-BAMNOLKER, P.; DUDAI, N.; FISCHER, R.; BELAUSOV, E.; ZEMACH, H.; SHOSEYOV, O.; ESHEL, D. Mint essential oil can induce or inhibit potato sprouting by differential alteration of apical meristem. **Planta**, v. 232, n. 1, p. 179-186, 2010.

VAN DE POEL, B.; SMET, D.; VAN DER STRAETEN, D. Ethylene and hormonal cross talk in vegetative growth and development. **Plant Physiology**, v.169, n.1, p.61–72, 2015.

VARGAS, P. F.; GODOY, D. R. Z.; ALMEIDA, L. C. F.; CASTOLDI, R. Agronomic characterization of sweet potato accessions. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 116-125, 2017.

WANG, C. Y. Methyl jasmonate inhibits postharvest sprouting and improves storage quality of radishes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 14, n. 2, p. 179-183, 1998.

Metabolismo antioxidativo e injúria por frio em raízes de batata-doce durante o armazenamento refrigerado

RESUMO: O uso do condicionamento é uma das alternativas para induzir uma resposta adaptativa a injúria por frio em produtos hortícolas, entretanto, são escassos os estudos com a batata-doce. O objetivo deste trabalho foi investigar a incidência de injúria por frio e as respostas fisiológicas e bioquímicas de raízes de batata-doce, durante o armazenamento refrigerado. Para isso, raízes de batata-doce das cvs. BRS Cuia e BRS Rubissol foram armazenadas a 6 °C, 13 °C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C) e avaliadas quanto ao extravasamento de eletrólitos, teor de malonaldeído (MDA), concentração de prolina, conteúdo de compostos fenólicos totais, atividade da catalase, peroxidase, ascorbato peroxidase, fenilalanina amônio-liase e índice de injúria por frio. O armazenamento a 6 °C e condicionamento induziram injúria por frio nas duas cultivares (BRS Cuia e BRS Rubissol). Paralelo aos sintomas houve maior extravasamento de eletrólitos e teor de malondialdeído, sugerindo que baixas temperaturas causam estresse oxidativo e promovem alterações na qualidade de processamento das raízes, com escurecimento dos tecidos. Entretanto, a cv. BRS Rubissol apresentou características de maior tolerância, com ausência de escurecimento na periderme e baixo índice de injúria por frio. Com o prolongamento do período de armazenamento a 6 °C e condicionamento, as raízes apresentaram perda da gradual da atividade das enzimas eliminadoras de espécies reativas de oxigênio. Nessa perspectiva, este estudo mostrou que o condicionamento não foi eficaz em aumentar a tolerância à injúria por frio em raízes de batata-doce.

Palavras-chave: enzimas, injúria por frio, *Ipomoea batatas*.

Antioxidative metabolism and cold injury in sweet potato roots during cold storage

ABSTRACT: The use of conditioning is one of the alternatives to induce an adaptive response to cold injury in vegetables, however, studies with sweet potatoes are scarce. The objective of this work was to investigate the incidence of cold injury and the physiological and biochemical responses of sweet potato roots, during cold storage. For this, cvs. Sweet potato roots. BRS

Cuia and BRS Rubissol were stored at 6 °C, 13 °C (control) and conditioning (10 °C for 7 days, followed by storage at 6 °C) and evaluated for electrolyte leakage, malonaldehyde (MDA) content, proline concentration, content of total phenolic compounds, catalase activity, peroxidase, ascorbate peroxidase, phenylalanine ammonium lyase and cold injury index. Storage at 6 °C and conditioning induced cold injury in the two cultivars (BRS Cuia and BRS Rubissol). Parallel to the symptoms, there was a greater leakage of electrolytes and malondialdehyde content, suggesting that low temperatures cause oxidative stress and promote changes in the quality of root processing, with tissue darkening. However, cv. BRS Rubissol showed characteristics of greater tolerance, with absence of darkening in the periderm and low index of injury by cold. With the extension of the storage period at 6 °C and conditioning, the roots showed a gradual loss of activity of the enzymes that eliminate reactive oxygen species. In this perspective, this study showed that conditioning was not effective in increasing tolerance to cold injury in sweet potato roots.

Keywords: enzymes, cold injury, *Ipomoea batatas*.

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo a batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é um alimento básico tradicional altamente nutritiva, contendo vitaminas, minerais, fibras alimentares e vários compostos bioativos, incluindo antocianinas, flavonoides e carotenoides. Apesar de sua ampla produção especialmente em regiões subtropicais e temperadas (VARGAS et al., 2017), no Brasil, a cultura tem sido pouco estudada, especialmente trabalhos visando o armazenamento pós-colheita das raízes.

O fator mais importante para a manutenção de sua qualidade é o manuseio e armazenamento adequado. Essas práticas são realizadas para reduzir os distúrbios fisiológicos e o desenvolvimento de doenças, garantindo o suprimento ao longo do ano (CHAKRABORTY et al., 2017). Um dos principais problemas associados a condições de armazenamento inadequado é a perda de massa pela respiração, pois temperaturas acima de 15 °C induzem a brotação, acompanhado a diversas modificações bioquímicas no metabolismo (MUKUNYADZI et al., 2009).

A refrigeração é eficaz na manutenção da qualidade pós-colheita de produtos hortícolas (HONG et al., 2013), pela redução do metabolismo geral, resultando em menor perda de água,

menor atividade respiratória e desenvolvimento de doenças durante o armazenamento (MENOLLI et al., 2008). Entretanto, temperaturas abaixo de 10 °C podem ocasionar injúria por frio e resultar em deterioração das raízes de batata-doce (MUKUNYADZI et al., 2009; PICHA, 1987).

Uma das estratégias para reduzir os efeitos da injúria por frio é o uso de técnicas de condicionamento, que consiste no armazenamento em temperaturas amenas e posteriormente em temperaturas mais baixas. No condicionamento, os tecidos vegetais dos produtos hortícolas sensíveis ao frio, são induzidos a aumentar a tolerância ao frio antes de serem colocados em temperaturas críticas (LI et al., 2018). Em manga, pera e pêssigo, recentemente foi demonstrado a eficácia do condicionamento antes do armazenamento refrigerado, reduzindo os sintomas de injúria por frio (LI et al., 2017; WANG et al., 2017; ZHANG et al., 2017).

Estudos sobre alternativas em reduzir a incidência de injúria por frio e as respostas a essas condições são escassos, por isso o objetivo do trabalho foi investigar a incidência de injúria por frio e as respostas fisiológicas e bioquímicas de raízes de batata-doce, durante o armazenamento refrigerado.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e plantio

Mudas de batata-doce das cvs. BRS Rubissol e BRS Cuia foram obtidas da Empresa Frutplan LTDA e plantadas em camalhões no espaçamento de 1,0 × 0,4 m na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 20'' S e 42° 52' 40'' W, 651 m de altitude), no período de setembro de 2017 a fevereiro de 2018, correspondendo ao plantio de primavera.

Antes do plantio o solo foi preparado de forma convencional, com aração e gradagem e construção de camalhões de 30 cm de altura, com adubação de acordo com a análise química do solo e as recomendações técnicas para a cultura (calagem para o plantio com 100 g/m² de calcário; adubação de plantio com 100 g m⁻² de NPK 8-28-16; adubação com 50 g m⁻² de NPK 8-28-16 a cada 30 dias e irrigação contínua com uso de aspersores).

A colheita foi feita manualmente aos 130 dias após o plantio, e em seguida as raízes de 300 a 600 g livres de doenças e danos foram selecionadas e transportadas em caixas plásticas ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Fitotecnia, da

Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais. No laboratório, as raízes foram submetidas ao processo de cura proposto por Amoah et al. (2016), pelo armazenamento a 30 °C com umidade relativa de 90% por 7 dias em incubadoras tipo B.O.D.

Após o período de cura, as raízes foram armazenadas a 13 °C (controle); 6 °C e condicionamento (as raízes foram mantidas a 10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C), com quatro repetições de uma raiz cada. Para cada tratamento, foram coletadas amostras aos 0, 15, 30, 45 e 60 dias de armazenamento e avaliadas quanto ao extravasamento de eletrólitos, teor de malonaldeído (MDA), concentração de prolina, conteúdo de compostos fenólicos totais, atividade da catalase, peroxidase, ascorbato peroxidase, fenilalanina amônio-liase e índice de injúria por frio.

Determinação da permeabilidade de membrana e conteúdo de Malondialdeído (MDA)

O extravasamento de eletrólitos (EL) foi aferido de acordo com o método de Lima et al. (2002), com modificações. Discos da polpa de batata-doce de cada tratamento foram retirados e lavados em água deionizada para a retirada do conteúdo das células rompidas durante a remoção e postos para flutuar em frascos vedados contendo 20 mL de água deionizada. A condutividade elétrica inicial (L1) do líquido de suspensão foi aferida em condutivímetro (Digimed, modelo DM-31) após incubação por 6 horas, à temperatura ambiente e a condutividade elétrica final (L2) foi obtida após colocar os frascos contendo os discos em uma estufa a 90 °C, durante 2 horas. A permeabilidade da membrana foi calculada como: $EL\% = (L1/L2) \times 100$.

O conteúdo de malondialdeído (MDA) foi determinado pelo método do ácido tiobarbitúrico descrito por Heath & Packer (1968). Amostras da polpa (0,2 g MF) foram homogeneizadas em 0,1% (p/v) de ácido tricloroacético (TCA) e os homogenatos foram centrifugados a 12.000 g por 15 min a 4 °C. Uma alíquota de sobrenadante (0,5 mL) foi misturado com 1,5 mL de ácido tiobarbitúrico a 0,5% (TBA) diluído em 20% de TCA (p/v) e a mistura resultante foi aquecida a 90 °C por 20 min em banho-maria. A absorbância do complexo rosa foi medida a 532 e 600 nm. O conteúdo de MDA foi expresso em nmol g^{-1} MF usando o coeficiente de extinção de $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Concentração de prolina (PRO)

Para a obtenção do conteúdo de prolina, foram macerados 0,3 g de tecidos das raízes em N₂ líquido, seguido da adição de 10 mL de meio de homogeneização e filtração em papel Whatman nº 2. O conteúdo de prolina (PRO) foi determinado pelo uso de reagente ninhidrina conforme o método de Bates et al. (1973), em que o filtrado foi adicionado ao meio de reação contendo 150 mL de ácido acético, 100 mL de ácido fosfórico 6 M e 6,25 g de ninhidrina (v/v/p)) durante 1 hora a 100 °C. Em seguida o material foi transferido para banho de gelo. O homogenato proveniente da reação foi extraído com tolueno, e o sobrenadante foi agitado em vórtex para separação das fases. As amostras foram lidas em absorvância de 520 nm e a concentração de prolina foi calculada com base em proteínas como mmol/g.

Extração e determinação do conteúdo de compostos fenólicos (PHEN)

Para a extração dos compostos fenólicos, aproximadamente 5 g de cada amostra foram pesadas, e sobre elas vertido solução de metanol, ácido acético e água, 50:3,7:46,3 (v/v/v). Em seguida, as amostras foram trituradas em Polítron até a amostra ficar homogênea, e então centrifugadas por 15 minutos a 16.000 rpm.

Para a quantificação foi utilizado o método follin-ciocalteu descrito por Fu et al. (2010), com alterações, usando ácido gálico 0,0125% como solução padrão. A leitura foi feita em espectrofotômetro a 760 nm e os resultados expressos em mg ácido gálico por 100g⁻¹ MF. Uma alíquota de 0,2 mL da amostra foi retirada e misturada com 1 ml do reagente de Folin-Ciocalteu (1:10) e 0,8 mL de solução de carbonato de sódio (NaCO₃) a 7,5%, em tubo de ensaio. Os respectivos tratamentos foram homogeneizados em vórtex, e permaneceram à temperatura de 25 °C por 30 min. Após este procedimento foi medida a absorvância das amostras.

Ensaio enzimático da catalase, peroxidase, ascorbato peroxidase e fenilalanina amônio-liase

A atividade da catalase (CAT) foi mensurada de acordo com Yang et al. (2008), onde uma alíquota de 150 µL de extrato enzimático bruto foi adicionado ao meio de reação contendo 1,29 mL de 100 mM de tampão de fosfato de potássio, 60 µL de H₂O₂ 0,5 M. A atividade da CAT foi lida a 240 nm e monitorizada durante 3 minutos. Uma unidade de atividade da CAT

foi definida como a quantidade de enzima que decompõe 1 μmol de H_2O_2 por minuto por miligrama de proteína ($\text{AU min}^{-1} \text{U mg}^{-1}$ proteína).

A atividade da peroxidase (POD) foi baseada em um método descrito por Khan e Robinson (1994), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (1,80%), 0,5 mL de guaiacol (1,68%), 0,4 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0). As amostras foram lidas a 470 nm, a 25 °C, e expressa em $\text{AU min}^{-1} \text{U mg}^{-1}$ proteína.

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi determinada conforme Nukuntornprakit et al. (2015), em que 100 μL do extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação composto por 1,3 mL de tampão de fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0), 50 μL de H_2O_2 30 mM, 50 μL de ácido ascórbico 9,0 mM. As amostras foram lidas a 290 nm por 3 minutos, e a atividade enzimática foi calculada de acordo com o coeficiente de extinção $2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Uma unidade de atividade de APX foi definida como a quantidade da enzima que oxida 1,0 μmol de ácido ascórbico por miligrama de proteína por minuto ($\text{AU min}^{-1} \text{U mg}^{-1}$ proteína).

A atividade da fenilalanina amônio-liase (PAL) foi mensurada de acordo com Campos et al. (2004), em que aproximadamente 0,2 g de polpa foi homogeneizada em meio de extração contendo 50 mM tampão borato (pH 8,5), 10 mM de 2 –mercaptoetanol e 1% de PVP (p/v). O homogenato foi centrifugado a 14000 g por 15 min a 4 °C. O meio de reação conteve 100 mM tampão de fosfato de potássio (pH 8,5), 100 mM fenilalanina, e a extração da enzima foi encubada em 40 °C por 40 min. A reação foi parada com 5 N de HCl e as amostras foram lidas a 290 nm usando ácido trans-cinâmico como padrão.

A atividade das enzimas foi expressa como unidades de absorvância ($\text{AU min}^{-1} \text{U mg}^{-1}$ proteína). A concentração total de proteínas foi determinada no extrato usando albumina sérica bovina como padrão (BRADFORD, 1976).

Estimação do índice de injúria por frio (CI)

Os sintomas de injúria por frio (CI) foram caracterizados conforme o aparecimento de lesões superficiais escuras e escurecimento do tecido interno de acordo com Picha (1987) e Li et al. (2018). O CI foi avaliado em seis raízes para cada repetição, onde foram atribuídas notas que variaram de 0 a 4, em que 0 representa ausência de lesões; 1 lesões muito leves; 2 lesões leves; 3 lesões moderadas e 4 lesões graves. O índice de CI foi calculado de acordo com a seguinte equação:

$$CI = \Sigma (A \times B) / T$$

Onde A representa a nota obtida (0–4), B representa o número de raízes no nível e T representa o número de raízes no tratamento. O índice de IF para cada tratamento foi apresentado como a média \pm desvio padrão de quatro repetições.

Desenho experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida, tendo na parcela o fatorial 2 x 3, referente as duas cvs. de batata-doce (BRS Rubissol e BRS Cuia) e as três temperaturas de armazenamento: 13 °C (controle); 6 °C e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C) e na subparcela os períodos de armazenamento (0, 15, 30, 45 e 60 dias), com quatro repetições por tratamento, considerando-se cada raiz como unidade experimental.

Os dados foram analisados por meio da análise de variância utilizando-se o SAS (CODY, 2015), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi utilizada estatística descritiva de médias com desvio padrão. Os gráficos foram elaborados utilizando o *software* Sigma Plot 10.0. As correlações de Pearson entre as variáveis foram realizadas usando o pacote R 'corrplot' (WEI & SIMKO, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conteúdo de MDA, extravasamento de eletrólitos e concentração de prolina são indicativos de injúria por frio

Houve incremento de 9,5 para 46,0% no percentual de extravasamento de eletrólitos nas raízes da cv. BRS Cuia armazenadas a 6 °C e, de 9,50 para 45,83% nas raízes submetidas ao condicionamento ao final do período de armazenamento. Nas raízes armazenadas a 13 °C tiveram o menor incremento alterando de 9,50% para 19,27% ao final do armazenamento, evidenciando um menor nível de estresse oxidativo (Figura 1A).

Aos 30 dias de armazenamento, as raízes da cv. BRS Rubissol a 13 °C apresentaram 21,41% de extravasamento de eletrólitos, reduzindo para 14,23% ao final do período de

armazenamento, sendo este o menor percentual observado. Os maiores percentuais de extravasamento de eletrólitos foram constatados nas raízes submetidas ao condicionamento e a 6 °C, com percentuais de 41,56% e 38,45%, respectivamente, ao final do período de armazenamento (Figura 1B).

Aos 60 dias, a BRS Cuia do condicionamento e a 6 °C apresentou os maiores teores de MDA (31,70 e 29,07 g⁻¹ MF), enquanto, o armazenamento a 13 °C promoveu valor inferior, com 16,27 nmol g⁻¹ MF (Figura 1C). O mesmo comportamento foi observado para a cv. BRS Rubissol, a qual ao final do período de armazenamento apresentou o maior teor de MDA nas raízes do condicionamento (36,57 nmol g⁻¹ MF) seguido do armazenamento a 6 °C (21,96 nmol g⁻¹ MF) (Figura 1D).

O extravasamento de eletrólitos e o conteúdo de MDA são os principais indicativos do estresse oxidativo e injúria por frio, e são utilizados para revelar o grau de danos à membrana e resposta à injúria por frio (LI et al., 2018; PAN et al., 2019). Esses resultados sugerem que as raízes de batata-doce armazenadas a 6 °C e do condicionamento foram afetadas pelas baixas temperaturas, indicando a incidência de lesão por frio e geração excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS), as quais induzem a peroxidação lipídica, promovendo maior extravasamento de eletrólitos e acúmulo de MDA (LI et al., 2018).

Li et al. (2018) também observaram que o extravasamento de eletrólitos e conteúdo de MDA das raízes de batata-doce cv. ‘Xinxiang’ aumentaram rapidamente no armazenamento a 4 e 10 °C por 5 dias. Wang et al. (2019) constataram comportamento semelhante ao armazenarem raízes de batata-doce a 6 °C, onde obtiveram maiores conteúdos de MDA.

Para a concentração de prolina, observou-se que as raízes da cv. BRS Cuia armazenadas a 6 °C exibiram valores 1,55 e 8,65 vezes mais altos que nas raízes do condicionamento e 13 °C, respectivamente, ao final do período de armazenamento (Figura 1E). Para a cv. BRS Rubissol não houve diferença até os 15 dias, entretanto, o armazenamento a 6 °C e o condicionamento promoveram concentrações mais altas aos 45 dias, excedendo 2,55 e 2,05 vezes, o valor observado nas raízes a 13 °C, respectivamente (Figura 1F). O incremento na concentração de prolina em raízes de batata-doce armazenadas em baixas temperaturas também foi observado por Wang et al. (2019), ao verificarem um acréscimo gradual no conteúdo de prolina livre nas cvs. Xushu 32 e Yanshu 25 durante o armazenamento a 4 °C, enquanto que a 16 °C os valores foram inferiores, como observado no presente trabalho, para 13 °C.

O armazenamento em baixas temperaturas induz diversas mudanças bioquímicas e os produtos hortícolas respondem de diferentes formas. Uma das respostas comuns incluem o

acúmulo de compostos nitrogenados de baixo peso molecular, como a prolina e a ativação do sistema de defesa antioxidante, através das enzimas (KEUNEN et al. 2013). A prolina mantém as espécies reativas de oxigênio (ERO's) em níveis baixos no estado estacionário, pois são reguladores osmóticos e desempenham um papel importante na proteção contra lesões causadas pelo frio (FAN et al., 2015). A prolina atua no aumento da osmolaridade celular, na estabilização da membrana e estruturas subcelulares, na proteção de células contra oxidação bem como na estabilização das enzimas eliminadoras ERO's, sendo assim, concentrações altas de prolina são cruciais para a manutenção da tolerância a baixas temperaturas, protegendo a integridade da membrana (DÖRFFLING et al., 1990; FAN et al., 2015).

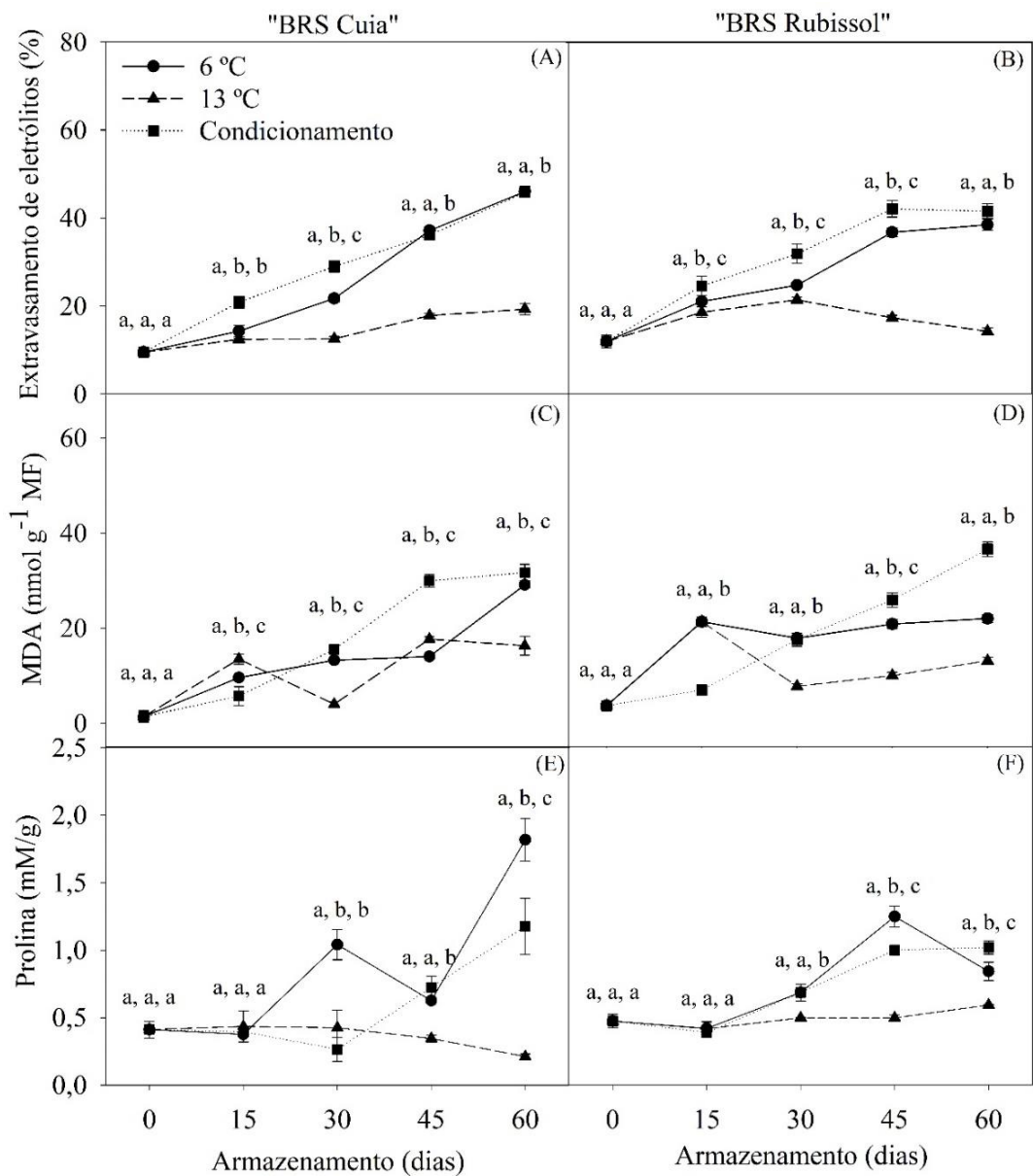


Figura 1: Extravasamento de eletrólitos, teor de malonaldeído (MDA) e conteúdo de prolina de raízes de batata-doce cv. BRS Cuia (A, C e E) e BRS Rubissol (B, D e F) armazenadas 6, 13

°C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C). Os dados representam a média \pm desvio padrão (n = 5). Letras minúsculas indicam diferenças entre as temperaturas em cada período de armazenamento, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Atividade da PAL e conteúdo dos compostos fenólicos

O conteúdo de compostos fenólicos aumentou na cv. BRS Cuia durante o armazenamento (Figura 2A). As raízes a 6 °C exibiram valores 1,51 e 1,35 vezes superiores as raízes do condicionamento e 13 °C, respectivamente, aos 45 dias. Entretanto, ao final do período de armazenamento, a concentração de compostos fenólicos foi 1,17 e 1,32 vezes mais alta nas raízes do condicionamento que nas raízes a 6 e 13 °C, respectivamente. Para a cv. BRS Rubissol, constatou-se um acréscimo gradual nos tratamentos avaliados, em que as raízes submetidas ao condicionamento exibiram os maiores conteúdos de compostos fenólicos aos 45 e 60 dias, com valores 1,40 e 1,94 vezes mais altos que nas raízes a 6 °C e 13 °C, respectivamente (Figura 2B).

O acréscimo no conteúdo de compostos fenólicos em raízes armazenadas em baixas temperaturas também foi relatado por Wang et al. (2019), nas cultivares de batata-doce. Xushu 32 e Yanshu 25 a 4 °C, enquanto no armazenamento a 16 °C os valores foram inferiores aos verificados no presente trabalho. Ji et al. (2017) também constataram que o maior conteúdo de fenólicos totais foi nas raízes de batata-doce a 4 °C, com 2,56 mg g⁻¹ após 4 semanas de armazenamento, mas as raízes a 13 °C tiveram conteúdos inferiores (2,12 mg/g), no mesmo período de armazenamento.

Aos 15 e 30 dias de armazenamento, a atividade da PAL não diferiu entre os tratamentos avaliados na cv. BRS Cuia, mas aos 45 dias foi acentuadamente induzida a 6 °C, com máxima atividade nesse período, com 1,69 e 1,98 vezes superior ao observado no condicionamento e 13 °C, respectivamente. Contudo, aos 60 dias, a atividade nas raízes condicionadas a 10 °C foi significativamente maior ao observado nas raízes a 6 °C (Figura 2C). Na cv. BRS Rubissol a atividade da PAL foi maior na raízes do condicionamento aos 30 e 45 dias, entretanto, ao final do período do armazenamento a atividade das raízes no mesmo tratamento e a 6 °C não diferiram entre si, mas foram superior 1,95 vezes do que nas raízes a 13 °C (Figura 2D).

Sabe-se que o estresse por frio acelera o metabolismo fenólico nas plantas, induzindo a atividade da PAL (XIE et al., 2017; WANG et al., 2019). Como verificado no presente trabalho, o maior conteúdo de compostos fenólicos e a maior atividade da PAL foram superiores nas

raízes do condicionamento e a 6 °C, para ambas as cvs. de batata-doce (Figura 2). Os compostos fenólicos têm um papel crucial nas plantas, pois são mecanismos de defesa e eliminação de moléculas oxidantes (RICE-EVANS et al., 1997; AKULA & RAVISHANKAR, 2011; KEUNEN et al., 2013). Trabalhos anteriores também mostraram que a quantidade de fenólicos na batata-doce influencia a defesa química natural contra o estresse por frio (PADDA E PICHA, 2008; JI et al., 2020).

No armazenamento em temperaturas causadoras de injúrias por frio, ocorrem alterações bioquímicas nos produtos hortícolas, dentre elas o aumento da atividade das enzimas, via atividade da PAL, que pode desempenhar um papel vital alívio das lesões por frio (JI et al., 2017; XIE et al., 2017). Os resultados obtidos no presente trabalho corroboram aos encontrados por Wang et al. (2019) em raízes de batata-doce cv. Xushu 32 a 4 °C após 8 dias de armazenamento, ao constatarem que a atividade enzimática da cv. Xushu 32 foi 1,5 vezes maior que na cv. Yanshu 25 (cultivar tolerante).

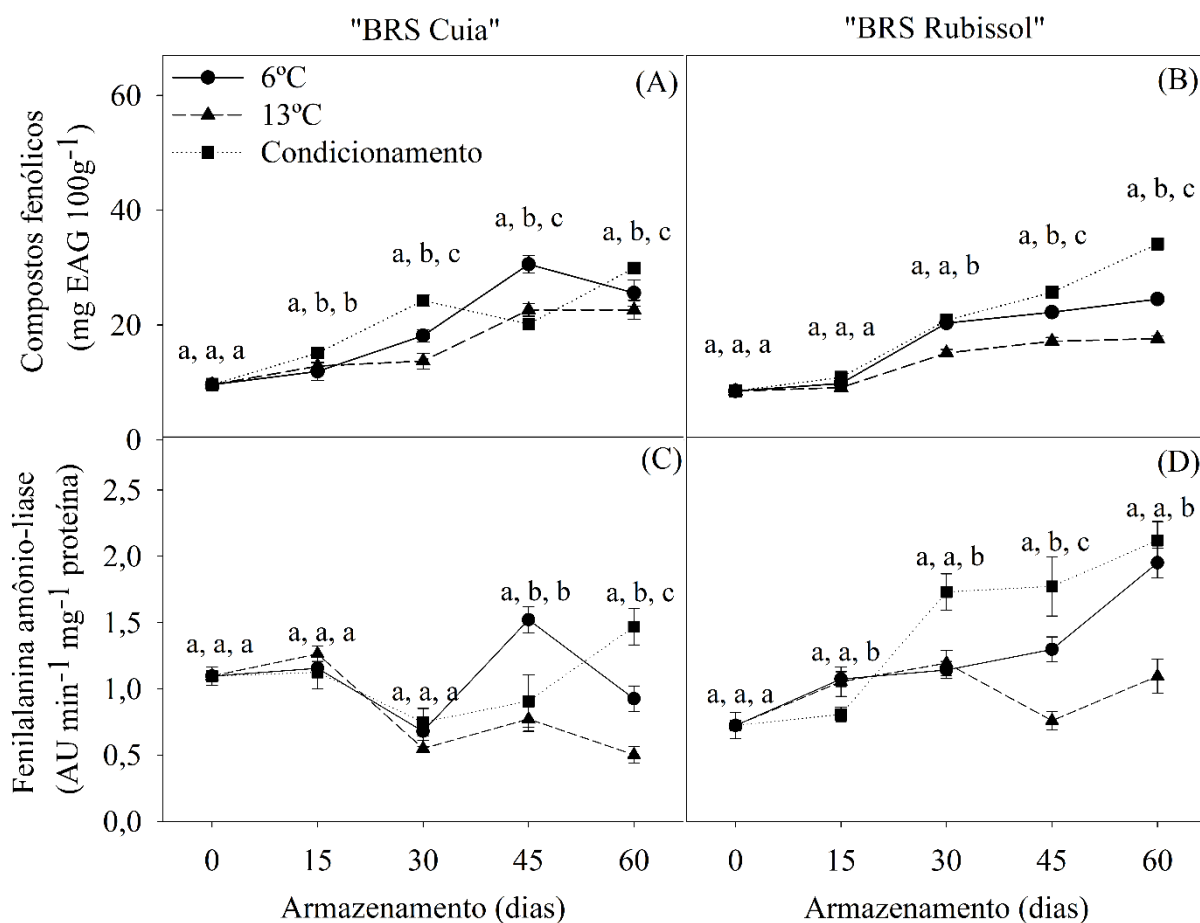


Figura 2: Conteúdo de compostos fenólicos totais e atividade da fenilalanina amônio-liase (PAL) de raízes de batata-doce cv. BRS Cuia (A e C) e BRS Rubissol (B e D) armazenadas 6,

13 °C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C). Os dados representam a média \pm desvio padrão (n = 5). Letras minúsculas indicam diferenças entre as temperaturas em cada período de armazenamento, respectivamente, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Atividade das enzimas CAT, POD e APX durante o armazenamento refrigerado

Durante o período de armazenamento da cv. BRS Cuia, a atividade da CAT oscilou em função das temperaturas, porém, aos 60 dias no armazenamento a 6 °C ocorreu maior atividade em relação as demais temperaturas (Figura 3A). A cv. BRS Rubissol apresentou comportamento semelhante, sendo verificada aos 60 dias a maior atividade de CAT nas raízes do condicionamento e a 6 °C (Figura 3B).

A atividade da POD na cv. BRS Cuia não diferiu entre os tratamentos avaliados até os 15 dias, entretanto aos 30 e 45 dias, a atividade aumentou nas raízes a 6 °C e condicionamento. Ao final do período de armazenamento, o condicionamento promoveu incremento na atividade da POD, com valores 12,38 e 2,39 superiores aos verificados nas raízes a 13 e 6 °C (Figura 3C). A cv. BRS Rubissol apresentou aumento na atividade da POD aos 15 dias nas raízes a 6 °C e condicionamento; contudo aos 45 dias, a atividade não diferiu entre os tratamentos. Ao final do período de armazenamento a atividade foi 1,69 e 6,22 vezes mais alta nas raízes a 6 °C, em relação as raízes do condicionamento e 13 °C, respectivamente. Nas raízes mantidas a 13 °C a atividade da POD decresceu no início do armazenamento e a partir daí manteve-se estável (Figura 3D).

As raízes da cv. BRS Cuia armazenadas a 6 °C e nas submetidas ao condicionamento apresentaram acréscimo na atividade da APX aos 45 dias de armazenamento, com posterior redução ao final do período de armazenamento, com maior atividade nas raízes armazenadas a 6 °C. Por outro lado, as raízes armazenadas a 13 °C mantiveram a atividade da APX relativamente baixa durante o armazenamento (Figura 3E). Para a cv. BRS Rubissol verificou-se maior atividade nas raízes armazenadas a 6 °C aos 45 dias, com valores 5 e 3,7 vezes mais altos que nas raízes do condicionamento e a 13 °C, respectivamente (Figura 3F).

A primeira resposta à injúria por frio envolve a modificação da conformação celular e estrutura da membrana através de mudanças na composição lipídica. Nesse estudo, as raízes de batata-doce a 6 °C e condicionamento apresentaram maior vazamento de eletrólitos e o conteúdo de MDA, corroborando o fato que baixas temperaturas promovem alterações na

composição lipídica da membrana. Essas alterações podem levar ao aumento da geração e acúmulo de ERO's, induzindo o aumento do estresse oxidativo, e conseqüentemente a ativação do sistema de defesa antioxidante enzimáticos e não enzimáticos para reduzir os danos causados pelas ERO's (ZHOU et al., 2005; YANG et al., 2011; KEUNEN et al., 2013).

As enzimas antioxidantes tiveram maior atividade nas raízes armazenadas a 6 °C e condicionamento (Figura 3). Esses resultados sugerem que o mecanismo de defesa antioxidante, através das enzimas catalase (CAT), peroxidase (POD) e ascorbato peroxidase (APX) foi ativado (MITTLER et al., 2004; RASEETHA et al., 2013).

O aumento na atividade da CAT, POD e APX também foi verificada em raízes de batata-doce cvs Xushu 32, quatro dias após o armazenamento a 4 °C (WANG et al., 2019), confirmando os resultados do presente trabalho. Semelhante a atividade da CAT, a qual oscilou durante o período de armazenamento, igualmente foi observado por Pan et al. (2019) em raízes de batata-doce cv. "Longshu No.9".

Embora o emprego do sistema antioxidante de defesa seja eficiente em lidar com o estresse oxidativo e a injúria por frio, o estresse oxidativo pode ocorrer ainda durante o armazenamento em baixas temperaturas em virtude da perda gradual de enzimas eliminadoras de ERO's (MONDAL et al., 2004), como observado no presente trabalho, onde a atividade da POD na cv. BRS Cuia a 6 °C (Figura 3C) e cv. BRS Rubissol do condicionamento (Figura 3D) foi reduzida ao final do período de armazenamento. O mesmo ocorreu para a APX que teve a atividade diminuída aos 60 dias nas raízes da cv. BRS Cuia (Figura 3E) e BRS Rubissol (Figura 3F) a 6 °C e condicionamento, evidenciando que pode ter ocorrido a perda dessas enzimas. Corroborando aos resultados observados por Wang et al. (2019) que também constataram que a atividade da APX e CAT reduziram drasticamente ao final do armazenamento da batata-doce a 4 °C.

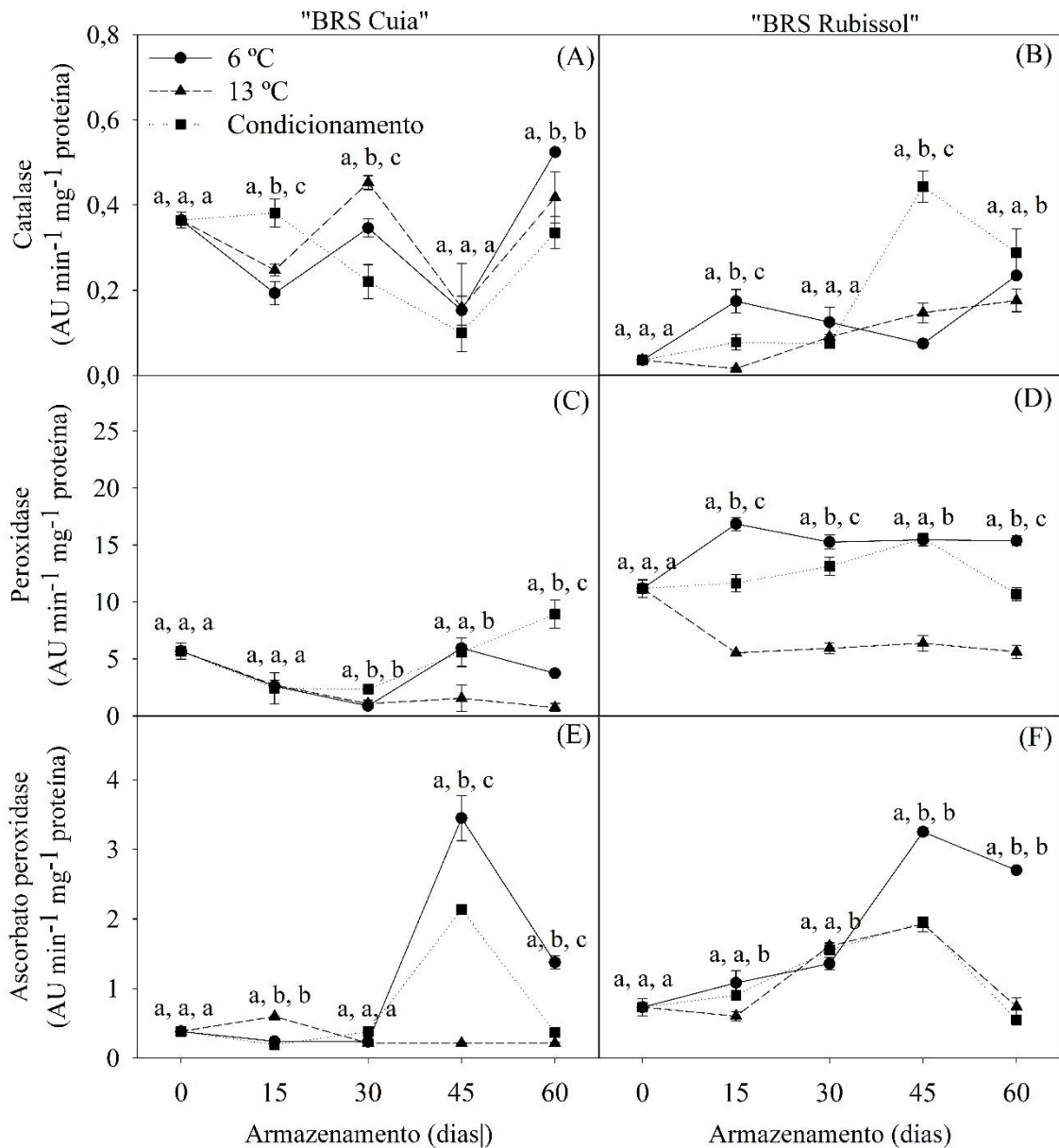


Figura 3: Atividade da catalase, peroxidase e ascorbato peroxidase de raízes de batata-doce cv. BRS Cuia (A, C e E) e BRS Rubissol (B, D e F) armazenadas 6, 13 °C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C). Os dados representam a média \pm desvio padrão (n = 5). Letras minúsculas indicam diferenças entre as temperaturas em cada período de armazenamento, respectivamente, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O escurecimento do tecido ocasionado pela injúria por frio

As raízes de batata-doce de ambas as cvs. armazenadas a 13 °C não apresentaram sintomas de injúria por frio, enquanto no armazenamento a 6 °C e no condicionamento das

raízes, houve incidência de lesões escuras na periderme na cv. BRS Cuia (Figura 4). Por outro lado, na cv. BRS Rubissol não houve lesões na periderme durante o armazenamento (Figura 4), indicando que essa cultivar é mais tolerante à injúria por frio.

O armazenamento a 6 °C e o condicionamento aumentaram o estresse oxidativo, levando ao desenvolvimento de sintomas de injúria por frio na cv. BRS Cuia, como evidenciado pelo aumento do conteúdo do MDA, em comparação ao armazenamento a 13 °C (Figura 1C). Uma vez que o aumento na peroxidação lipídica e extravasamento de eletrólitos indicam desintegração nas membranas, as raízes expressam os sintomas de injúria por frio, com escurecimento do tecido (WANG et al., 2019; ARAÚJO et al., 2020).

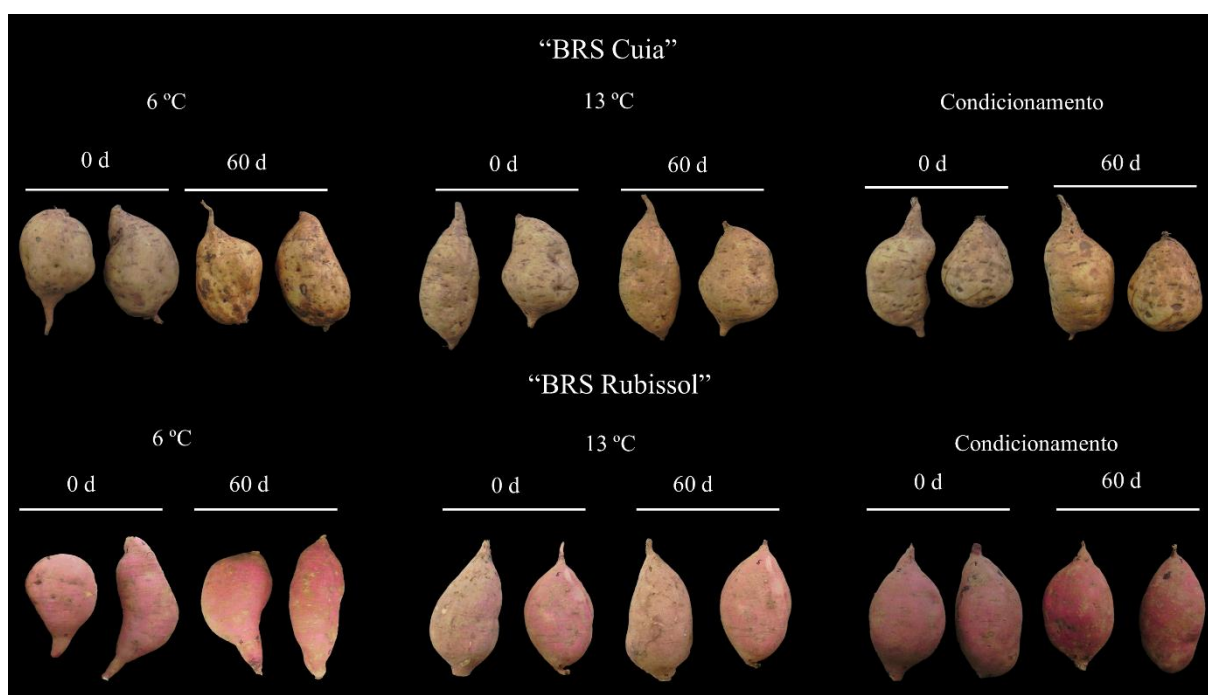


Figura 4: Aparência externa das raízes de batata-doce cv. BRS Cuia e BRS Rubissol armazenadas 6, 13 °C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C).

Com relação as lesões internas, a cv. BRS Cuia a 6 °C apresentou lesões superiores as demais temperaturas a partir dos 30 dias de armazenamento, causando redução na qualidade final (Figura 5). As raízes armazenadas a 13 °C e do condicionamento, não desenvolveram lesões internas. A cv. BRS Rubissol se comportou de forma semelhante, expondo lesões internas somente nas raízes a 6 °C e condicionamento aos 30 e 60 dias de armazenamento (Figura 5). Estes sintomas são a evidência de danos na membrana induzidos pela peroxidação

lipídica, corroborado pelo aumento do MDA nas raízes armazenadas nessas temperaturas em comparação as armazenadas a 13 °C (Figura 1C e 1D).

No presente trabalho, o escurecimento dos tecidos das raízes de batata-doce pode ter sido ocasionado pela síntese de ácido clorogênico e oxidação de outros compostos fenólicos, os quais são associados ao escurecimento dos tecidos. Entretanto, a severidade do escurecimento dos tecidos depende da variedade de batata-doce e do tempo de exposição à baixas temperaturas (PICHA et al., 1987; WANG et al., 2019).

Wang et al. (2019) verificaram que a batata-doce cv. Yanshu 25 armazenada a 4 °C apresentou alterações morfológicas visíveis, incluindo o escurecimento do tecido interno após 8 dias de armazenamento. Xie et al. (2017) também constataram que as raízes de batata-doce cv. Xushu 18 armazenadas a 4 °C durante 5 semanas apresentaram escurecimento interno e o armazenamento a 14 °C não promoveu o mesmo.

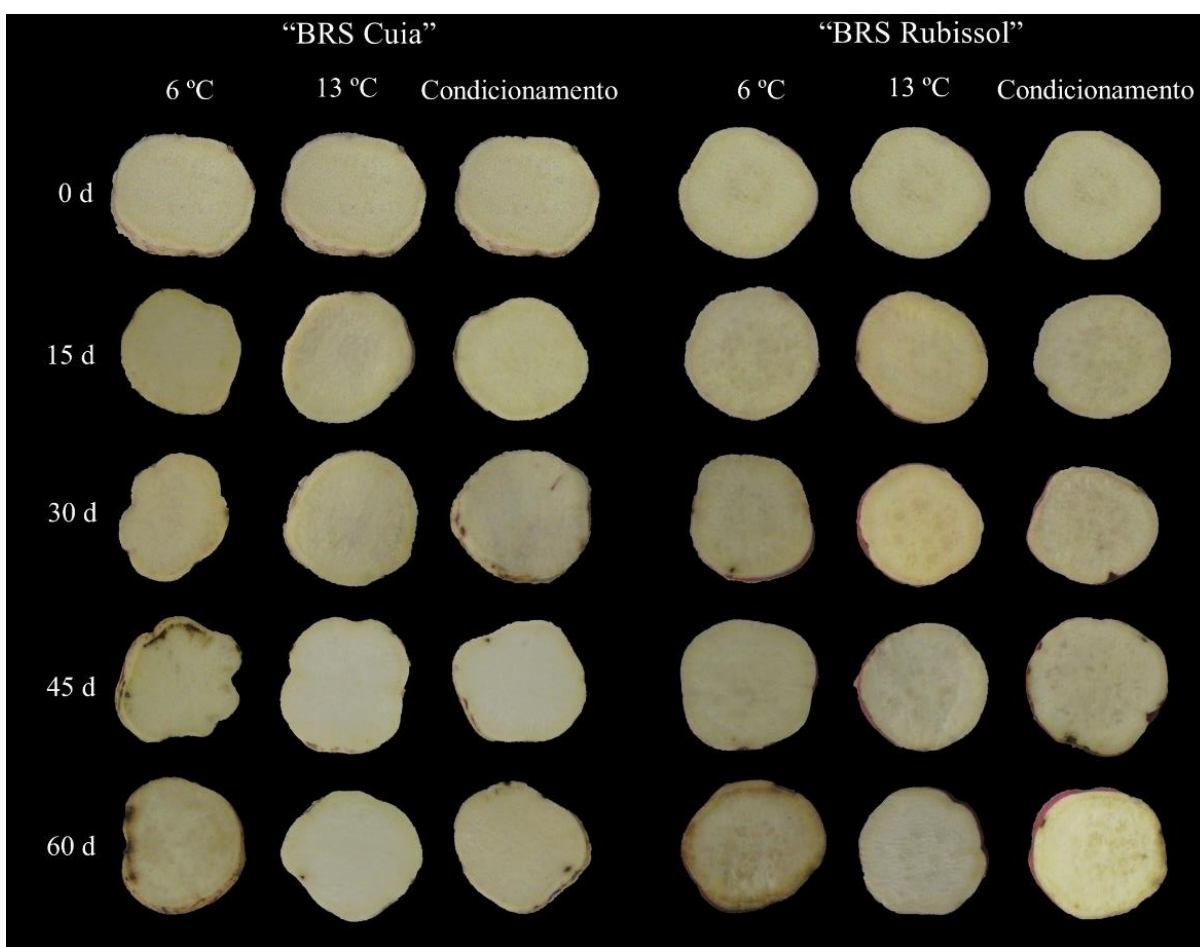


Figura 5: Aparência interna em raízes de batata-doce cv. BRS Cuia e BRS Rubissol armazenadas 6, 13 °C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C).

O armazenamento a 13 °C de ambas as cvs., como esperado, não promoveu o desenvolvimento de lesões por resfriamento nas raízes de batata-doce. As raízes de batata-doce cv. BRS Cuia armazenadas a 6 °C apresentaram sintomas de injúria por frio (Figura 4 e Figura 5) a partir dos 30 dias, obtendo-se índice de injúria por frio 3,37 vezes maior que o das raízes do condicionamento ao final do período de armazenamento (Figura 6A).

A cv. BRS Rubissol não apresentou lesões externas (Figura 4), porém exibiu escurecimento do tecido interno, e, conseqüentemente, obteve índice de injúria por frio inferior ao observado na cv. BRS Cuia. Nas raízes a 6 °C, o índice de injúria por frio teve um leve acréscimo até os 30 dias, com posterior decréscimo aos 45 dias e posterior aumento acentuado ao final do período de armazenamento, onde constatou-se valor 2,74 vezes maior que nas raízes do condicionamento (Figura 6B).

Esses achados corroboram aos observados por Li et al. (2018) ao constatarem que as raízes de batata-doce cv. ‘Xinxiang’ armazenadas a 4 °C e do condicionamento apresentaram sintomas de injúria por frio e maior índice de injúria por frio, todavia as raízes a 6 °C tiveram índice de injúria por frio 2,4 vezes maior do que as raízes do condicionamento, como observado no presente trabalho. Pan et al. (2019) também observaram que as raízes da cv. ‘Longshu No. 9’ armazenadas a 5 °C desenvolveram lesões na periderme e o índice de injúria por frio aumentou rapidamente com o prolongamento do tempo de armazenamento.

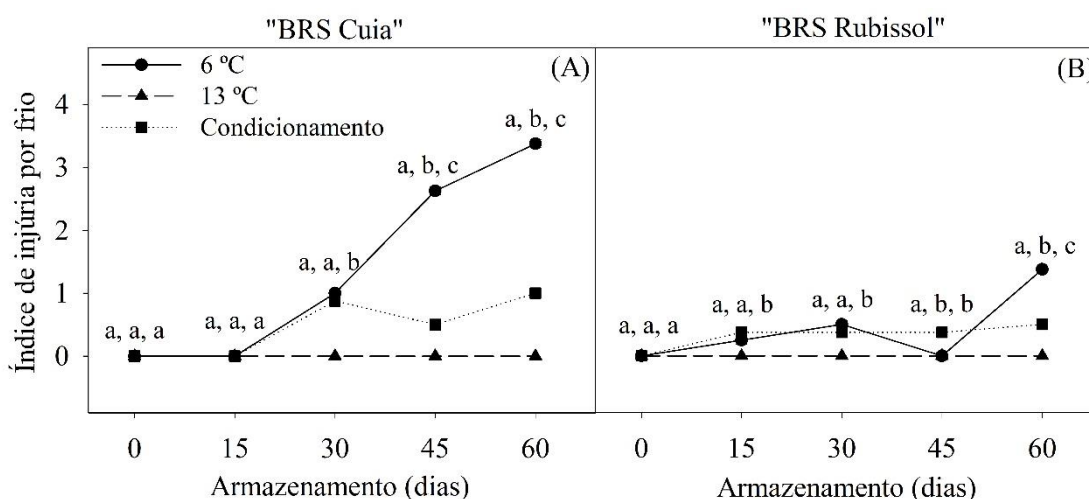


Figura 6: Índice de injúria por frio de batata-doce cv. BRS Cuia (A) e BRS Rubissol (B) armazenadas 6, 13 °C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C). Os dados representam a média \pm desvio padrão (n = 5). Letras minúsculas indicam diferenças entre as temperaturas em cada período de armazenamento, respectivamente, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os coeficientes de correlação de Pearson estão representados no mapa de calor da Figura 7. Para a cv. BRS Cuia, a atividade da CAT correlacionou-se negativamente com a maioria das variáveis, mas apresentou correlação positiva com a PROL ($r = 0,52$; $P = 1\%$); o teor de MDA correlacionou-se positivamente com EL ($r = 0,80$; $P = 0,01\%$), PHEN ($r = 0,78$; $P = 0,01\%$), PROL ($r = 0,65$; $P = 5\%$). Por sua vez, o EL teve uma correlação positiva com PHEN ($r = 0,85$; $P = 0,01\%$), PROL ($r = 0,79$; $P = 0,01\%$) e CI ($r = 0,57$; $P = 0,01\%$). A POD também se correlacionou positivamente com a PAL ($r = 0,99$; $P = 0,01\%$). Para a cv. BRS Rubissol, não houve correlação negativa entre as variáveis, entretanto, o PHEN teve correlações altamente positivas, com EL ($r = 0,87$; $P = 0,01\%$); o mesmo foi verificado para o EL, que se correlacionou de forma positiva com PROL ($r = 0,70$; $P = 0,01\%$).

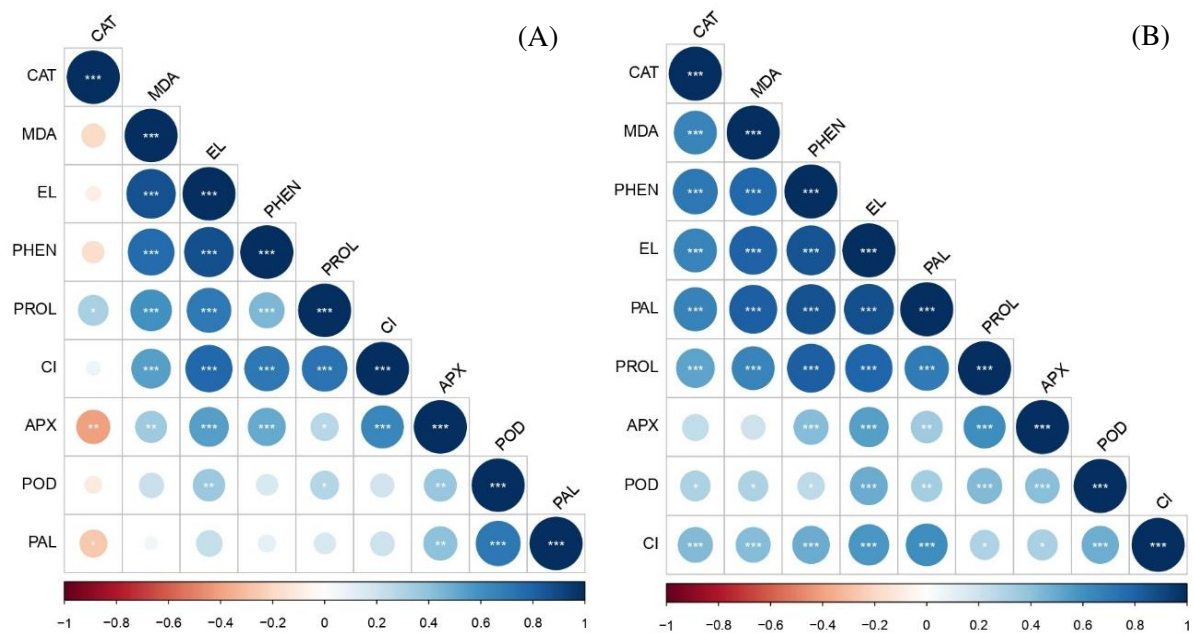


Figura 7: Mapa de calor da correlação de Pearson entre extravasamento de eletrólitos (EL), teor de malonaldeído (MDA), concentração de prolina (PROL), conteúdo de compostos fenólicos totais (PHEN), atividade da catalase (CAT), peroxidase (POD), ascorbato peroxidase (APX), fenilalanina amônio-liase (PAL) e índice de injúria por frio (CI) em cvs. de batata-doce BRS Cuia (A) e BRS Rubissol (B). As cores das barras indicam a natureza da correlação, onde 1 consiste em uma correlação perfeitamente positiva (azul escuro) e -1 significa uma correlação perfeitamente negativa (vermelho escuro). Correlações fortes são indicadas por círculos grandes, enquanto correlações fracas são indicadas por círculos pequenos. Os asteriscos dentro do círculo são os valores-P. (***, **, e * indicam significância a 0,01, 1 e 5%, respectivamente).

CONCLUSÃO

O armazenamento a 6 °C e o condicionamento induziram injúria por frio nas duas cultivares (BRS Cuia e BRS Rubissol) de batata-doce, com maior extravasamento de eletrólitos e teor de MDA. Ambos tratamentos estimularam estresse oxidativo e promoveu alterações na qualidade de processamento das raízes, com o escurecimento dos tecidos. A cv. BRS Rubissol apresentou características de maior tolerância comparado com a cv. BRS Cuia, com ausência de escurecimento da periderme e baixo índice de injúria por frio. Com o prolongamento do período de armazenamento a 6 °C e condicionamento, as raízes apresentaram perda da gradual da atividade das enzimas eliminadoras de ERO's. Este estudo mostrou que o condicionamento não foi eficaz em aumentar a tolerância à injúria por frio em raízes de batata-doce.

REFERÊNCIAS

AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011.

AMOAHA, R.S.; LANDAHL, S.; TERRY, L.A. The timing of exogenous ethylene supplementation differentially affects stored sweetpotato. **Postharvest Biology and Technology**, v.120, p.92-102, 2016.

ARAÚJO, N. O.; VÉRAS, M. L. M.; SANTOS, M. N. S.; ARAÚJO, F. F.; TELLO, J. P. J.; FINGER, F. L. Sucrose degradation pathways in cold-induced sweetening and its impact on the non-enzymatic darkening in sweet potato root. **Food Chemistry**, v. 312, p. 1-8, 2020.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of proteindye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

CAMPOS, R.; NONOGAKI, H.; SUSLOW, T.; SALTVEIT, M. E. Isolation and characterization of a wound inducible phenylalanine ammonia-lyase gene (LsPAL1) from Romaine lettuce leaves. **Physiologia Plantarum**, v. 121, n. 3, p. 429–438, 2004.

CHAKRABORTY, C.; ROYCHOWDHURY, R.; CHAKRABORTY, S.; CHAKRAVORTY, P.; GHOSH, D. A Review on Post-Harvest Profile of Sweet Potato. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 1894-1903, 2017.

CODY, R. **An Introduction to SAS University Edition**. Cary, NC. SAS Institute, 366p, 2015.

DÖRFFLING, K.; SCHULENBURG, S.; LESSELICH, G.; DÖRFFLING, H. Abscisic acid and proline levels in cold hardened winter wheat leaves in relation to variety-specific differences in freezing resistance. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 165, n. 4, p. 230-239, 1990.

FAN, W.; DENG, G.; WANG, H.; ZHANG, H.; ZHANG, P. Elevated compartmentalization of Na⁺ into vacuoles improves salt and cold stress tolerance in sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Physiologia Plantarum**, v. 154, n. 4, p. 560-571, 2015.

FU, L.; XU, B.T., XU, X.R.; QIN, X.S.; GAN, R.Y.; LI, H.B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 wild fruits from South China. **Molecules** v.15, n.12, p.8602-8617, 2010.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of biochemistry and biophysics**, v. 125, n. 2, p. 189-198, 1968.

HONG, K. Q.; XU, H.; WANG, J.; ZHANG, L.; HU, H.; JIA, Z.; GU, H.; HE, Q.; GONG, D. Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. **Scientia Horticulturae**, v. 151, p. 68–74, 2013.

IMAHORI, Y.; TAKEMURA, M.; BAI, J. Chilling-induced oxidative stress and antioxidant responses in mume (*Prunus mume*) fruit during low temperature storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 54-60, 2008.

JI, C. Y.; CHUNG, W. H.; KIM, H. S.; JUNG, W. Y.; KANG, L.; JEONG, J. C.; KWAK, S. S. Transcriptome profiling of sweetpotato tuberous roots during low temperature storage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 112, p. 97-108, 2017.

KEUNEN, E. L. S.; PESHEV, D.; VANGRONSVELD, J.; VAN DEN ENDE, W. I. M.; CUYPERS, A. N. N. Plant sugars are crucial players in the oxidative challenge during abiotic stress: extending the traditional concept. **Plant, cell & environment**, v. 36, n. 7, p. 1242-1255, 2013.

KHAN, A.A.; ROBINSON, D.S. Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. **Food Chemistry**, v. 49, n. 4, p. 407-410, 1994.

LI, D.; CHENG, Y.; DONG, Y.; SHANG, Z.; GUAN, J. Effects of low temperature conditioning on fruit quality and peel browning spot in ‘Huangguan’ pears during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 131, p. 68-73, 2017.

LI, X.; YANG, H.; LU, G. Low-temperature conditioning combined with cold storage inducing rapid sweetening of sweetpotato tuberous roots (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) while inhibiting chilling injury. **Postharvest Biology and Technology**, v. 142, p. 1-9, 2018.

LIMA, A.L.S.; DAMATTA, F.M.; PINHEIRO, H.; TOTOLA, M.R.; LOUREIRO, M.E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v.47, p.239-247. 2002.

MENOLLI, L. N.; FINGER, F. L.; PUIATTI, M.; BARBOSA, J. M.; BARROS, R. S. Atuação das enzimas oxidativas no escurecimento causado pela injúria por frio em raízes de batata – baroa. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 57-63, 2008.

MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in plant science**, v. 9, n. 10, p. 490-498, 2004.

MONDAL, K.; SHARMA, N. S.; MALHOTRA, S. P.; DHAWAN, K.; SINGH, R. Antioxidant systems in ripening tomato fruits. **Biologia Plantarum**, v. 48, n. 1, p. 49-53, 2004.

MUKUNYADZI, M. **A Study of Sweet potato Postharvest Handling and Marketing in Chiweshe (Mazowe District) in Zimbabwe**, Dissertation for award of MSc degree at Larenstein University, Wageningen, The Netherland; 56, 2009.

NUKUNTORNPRAKIT, O. A.; CHANJIRAKUL, K.; VAN DOORN, W. G.; SIRIPHANICH, J. Chilling injury in pineapple fruit: Fatty acid composition and antioxidant metabolism. **Postharvest Biology and Technology**, v. 99, p. 20-26, 2015.

PADDA, M. S. & PICHA, D. H. Effect of low temperature storage on phenolic composition and antioxidant activity of sweetpotatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 2, p. 176-180, 2008.

PAN, Y.; CHEN, L.; CHEN, X.; JIA, X.; ZHANG, J.; BAN, Z.; LI, X. Postharvest intermittent heat treatment alleviates chilling injury in cold-stored sweet potato roots through the antioxidant metabolism regulation. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 12, p. 1-9, 2019.

PICHA, D.H. Carbohydrate changes in sweet potatoes during curing and storage. **Journal American Society of Horticulture Science**, v. 112, p. 89-92, 1987.

RASEETHA, S.; OEY, I.; BURRITT, D. J.; HEENAN, S.; HAMID, N. Evolution of antioxidant enzymes activity and volatile release during storage of processed broccoli (*Brassica oleracea* L. italica). **LWT-Food Science and Technology**, v. 54, n. 1, p. 216-223, 2013.

RICE-EVANS, C.; MILLER, N.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in plant science**, v. 2, n. 4, p. 152-159, 1997.

SEVILLANO, L.; SANCHEZ-BALLESTA, M. T.; ROMOJARO, F.; FLORES, F. B. Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 4, p. 555-573, 2009.

VARGAS, P. F.; GODOY, D. R. Z.; ALMEIDA, L. C. F.; CASTOLDI, R. Agronomic characterization of sweet potato accessions. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 116-125, 2017.

WANG, K.; YIN, X. R.; ZHANG, B.; GRIERSON, D.; XU, C. J.; CHEN, K. S. Transcriptomic and metabolic analyses provide new insights into chilling injury in peach fruit. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 8, p. 1531-1551, 2017.

WANG, S. Q.; TANG, J.; HU, K. D.; HUANG, Z. Q.; YANG, F.; ZHANG, H. Y.; HU, LAN-YING; LI, YAN-HONG; YAO, GAI-FANG; ZHANG, H. Antioxidative System in Sweet Potato Root is Activated by Low Temperature Storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 8, p. 3824-3833, 2019.

WEI, T.; SIMKO, V.; LEVY, M.; XIE, Y.; JIN, Y.; ZEMLA, J. Package ‘corrplot’. Package ‘corrplot’. **Statistician**, v. 56, p. 316-324, 2017.

XIE, Z.; WANG, A.; LI, H.; YU, J.; JIANG, J.; TANG, Z.; MA, D.; ZHANG, B.; HAN, Y.; LI, Z. High throughput deep sequencing reveals the important roles of microRNAs during sweetpotato storage at chilling temperature. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2017.

YANG, H.; WU, F.; CHENG, J. Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response. **Food chemistry**, v. 127, n. 3, p. 1237-1242, 2011.

YANG, Z.; ZHENG, Y.; CAO, S. Effect of high oxygen atmosphere storage on quality, antioxidant enzymes, and DPPH-radical scavenging activity of Chinese bayberry fruit. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 57, n. 1, p. 176-181, 2008.

ZHANG, H.; HOU, J.; LIU, J.; ZHANG, J.; SONG, B.; XIE, C. The roles of starch metabolic pathways in the cold-induced sweetening process in potatoes. **Starch-Stärke**, v. 69, n. 1-2, p. 1-11, 2017.

ZHANG, Z.; ZHU, Q.; HU, M.; GAO, Z.; AN, F.; LI, M.; JIANG, Y. Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in stored mango fruit. **Food chemistry**, v. 219, p. 76-84, 2017.

ZHOU, B.; GUO, Z.; LIU, Z. Effects of abscisic acid on antioxidant systems of *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Sw. under chilling stress. **Crop science**, v. 45, n. 2, p. 599-605, 2005.

Adoçamento induzido pelo armazenamento refrigerado e sua influência na qualidade de *chips* de batata-doce

RESUMO: A exposição de raízes de batata-doce a baixas temperaturas durante o armazenamento pode causar o adoçamento induzido pelo frio, e conseqüentemente promover o escurecimento dos produtos fritos e sua baixa aceitação no mercado. Há evidências que o condicionamento pode induzir resistência a injúria por frio em produtos hortícolas, reduzindo o adoçamento induzido pelo frio, no entanto poucos estudos foram realizados com batata-doce. Este estudo teve como objetivo investigar o metabolismo dos açúcares em raízes de batata-doce, durante o armazenamento refrigerado e seu impacto no adoçamento e qualidade de fritura de *chips*. Para isso, raízes de batata-doce das cvs. BRS Cuia e BRS Rubissol foram submetidas a três tratamentos: armazenamento a 6 °C, 13 °C (controle) e condicionamento (10 °C por 7 dias, seguidas de armazenamento a 6 °C) e avaliadas quanto à perda de massa, açúcares solúveis totais, açúcares redutores e açúcares não redutores, sólidos insolúveis em álcool e coloração dos *chips* após fritura. O armazenamento a 6 °C e o condicionamento induziram o maior acúmulo de açúcares redutores e não redutores e escurecimento dos *chips* pela reação de Maillard. Este estudo mostrou que o condicionamento não foi eficaz em reduzir o adoçamento induzido pelo frio em raízes de batata-doce.

Palavras-chave: injúria por frio, metabolismo de carboidratos, qualidade pós-colheita.

Sweetening induced by cold storage and its influence on the quality of sweet potato chips

ABSTRACT: The exposure of sweet potato roots to low temperatures during storage can cause sweetening induced by cold, and consequently promote the darkening of fried products and their low acceptance in the market. There is evidence that conditioning can induce resistance to cold injury in vegetables, reducing cold-induced sweetening, however few studies have been conducted with sweet potatoes. This study aimed to investigate the sugar metabolism in sweet potato roots, during cold storage and its impact on sweetening and quality of frying chips. For this, cvs. Sweet potato roots. BRS Cuia and BRS Rubissol were submitted to three treatments: storage at 6 °C, 13 °C (control) and conditioning (10 °C for 7 days, followed by storage at 6 °C)

and evaluated for mass loss, soluble sugars total, reducing sugars and non-reducing sugars, solids insoluble in alcohol and coloring of the chips after frying. Storage at 6 °C and conditioning induced the greatest accumulation of reducing and non-reducing sugars and darkening of the chips by the Maillard reaction. This study showed that conditioning was not effective in reducing sweetness-induced sweetening in sweet potato roots.

Keywords: carbohydrate metabolism, cold injury, post-harvest quality.

INTRODUÇÃO

Na cadeia de comercialização da batata-doce, um dos fatores mais importantes para a manutenção da qualidade são as condições de armazenamento apropriadas (MUKUNYADZI et al., 2009; JI et al., 2017). O uso de baixas temperaturas pode ser eficaz para reduzir as alterações metabólicas e aumentar a vida útil das raízes de batata-doce, pela redução da brotação e deterioração, permitindo o fornecimento contínuo ao mercado e às indústrias de processamento (CHAKRABORTY et al., 2017; JI et al., 2017; PAN et al., 2019).

Entretanto, a exposição de raízes de batata-doce a baixas temperaturas, especialmente a 6 °C, pode induzir o adoçamento induzido pelo frio (CIS), um distúrbio fisiológico provocado pelo aumento expressivo de açúcares redutores glicose e frutose (SAKAMOTO et al., 2014; JI et al., 2017; ARAÚJO et al., 2020). Após o processamento em altas temperaturas, esses açúcares interagem com aminoácidos livres, numa reação não enzimática de Maillard, formando a acrilamida, um dos principais agentes carcinogênicos nocivos aos seres humanos, influenciando na qualidade e cor de *chips* de batata-doce, e resultando em danos para a indústria (MCKENZIE et al., 2013; KUMAR et al., 2018; ARAÚJO et al., 2020).

Uma das alternativas para atenuar os efeitos da injúria por frio e consequente acúmulo de açúcares redutores é o uso do condicionamento. O condicionamento consiste no armazenamento em temperaturas amenas, seguido de temperaturas mais baixas, promovendo maior resistência dos tecidos dos produtos hortícolas ao frio. (LI et al., 2018). Em manga, pera e pêsego, recentemente foi demonstrado que essa técnica aliviou os sintomas de injúria por frio (LI et al., 2017; WANG et al., 2017; ZHANG et al., 2017). Em batata-doce, Li et al. (2018) observaram que o condicionamento proporcionou a redução da injúria por frio e dos teores de açúcares na cv. Xinxiang.

Embora o uso de condicionamento seja uma estratégia bastante utilizada em frutas armazenadas em baixas temperaturas, com eficácia em aumentar a tolerância à injúria por frio, para a batata-doce, os estudos sobre alternativas em reduzir o acúmulo de açúcares redutores e adoçamento induzido pelo frio são escassos. Nessa perspectiva, o objetivo do trabalho foi investigar o metabolismo de açúcares em raízes de batata-doce, durante o armazenamento refrigerado e seu impacto no adoçamento e qualidade de fritura de *chips*.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e plantio

Mudas de batata-doce das cvs. BRS Rubissol e BRS Cuia foram obtidas da Empresa Frutplan LTDA e plantadas em camalhões no espaçamento de 1,0 × 0,4 m na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 20'' S e 42° 52' 40'' W, 651 m de altitude), no período de setembro de 2017 a fevereiro de 2018, correspondendo ao plantio de primavera.

Antes do plantio o solo foi preparado de forma convencional, com aração e gradagem e construção de camalhões de 30 cm de altura, com adubação de acordo com a análise química do solo e as recomendações técnicas para a cultura (calagem para o plantio com 100 g m² de calcário; adubação de plantio com 100 g m² de NPK 8-28-16; adubação com 50 g m² de NPK 8-28-16 cada 30 dias e irrigação contínua com uso de aspersores).

A colheita foi feita manualmente aos 130 dias após o plantio, e em seguida as raízes de 300 a 600 g livres de doenças e danos foram selecionadas e transportadas em caixas plásticas ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.

No laboratório, as raízes foram submetidas ao processo de cura conforme proposto por Amoah et al. (2016), pelo armazenamento a 30 °C e umidade relativa de 90% por 7 dias em incubadoras tipo B.O.D. Após o período de cura, as raízes foram armazenadas a 6 °C, 13 °C (controle) e condicionamento (armazenamento a 10 °C por 7 dias, seguido de armazenamento a 6 °C).

Para cada tratamento, foram coletadas amostras em cinco períodos aos 0, 15, 30, 45 e 60 dias de armazenamento e avaliadas quanto à perda de massa, açúcares solúveis totais, açúcares

reduzidores e açúcares não reduzidores, sólidos insolúveis em álcool e coloração dos *chips* após fritura.

Avaliação da perda de massa fresca (LFM)

A perda de massa fresca (LFM) foi obtida a partir da pesagem das raízes de batata-doce em balança analítica ao longo do armazenamento, e os resultados foram expressos em porcentagem de perda de massa fresca acumulada.

Extração dos carboidratos

Aproximadamente 5 g de amostras da polpa fresca foram moídas e homogeneizadas em etanol a 80% aquecido a 85 °C. Posteriormente foram centrifugadas a 13.000 g durante 10 min e para separar o sobrenadante, o precipitado foi extraído adicionalmente duas vezes com etanol a 80%. Os sobrenadantes foram reunidos e aferidos a 25 mL com 80% de etanol.

Quantificação dos açúcares solúveis totais (TSS)

Os açúcares solúveis totais (TSS) foram quantificados segundo o método fenol-sulfúrico (DUBOIS et al., 1956). O ensaio utilizou 0,25 mL do sobrenadante, 0,25 mL de fenol a 5% e 1,25 mL de H₂SO₄ e foi incubado a 30 °C por 20 min. Após o resfriamento, as amostras foram lidas a 490 nm. A densidade óptica observada foi plotada contra a curva padrão de sacarose (0-50 µg) e o conteúdo de TSS foi expresso como %TSS com base no peso fresco.

Quantificação dos açúcares reduzidores (RS) e açúcares não reduzidores (NRS)

Os açúcares reduzidores (RS) foram quantificados de acordo com a metodologia do ácido dinitrossalicílico (DNS) (GONÇALVES, et al. 2010), em que alíquota de 0,5 mL de sobrenadante e 0,5 mL de DNS foram adicionados em tubos e aquecidos em banho-maria a ferver por 5 min. Após a fervura foram deixados em temperatura ambiente até esfriarem e foram adicionados 4 mL de água e a absorbância foi aferida a 540 nm. O conteúdo do RS foi expresso em %RS com base no peso fresco, utilizando a curva padrão de frutose (0-1,0 mg). O conteúdo

de NRS foi determinado pela diferença entre o TSS e RS, com resultados expressos em % NRS com base no peso fresco.

Determinação dos sólidos insolúveis em álcool (AIS)

Os sólidos insolúveis em álcool (AIS) foram determinados pela metodologia descrita por Bonte e Picha (2000). Após a extração dos açúcares solúveis, o resíduo insolúvel (*pellet*) foi seco a 65 °C em estufa por 72 h, e posteriormente foram pesados e o resultado foi expresso em % AIS com base de peso fresco.

Avaliação da coloração dos chips após a fritura

Para avaliação da coloração dos *chips*, as raízes foram descascadas e higienizadas, em seguida foram processadas na forma de *chips* e fritos em óleo de soja refinado por 2 minutos a 180 °C (CAETANO et al., 2018) em fritadeira monitorada (Ford, Michigan, EUA). A análise foi baseada em uma escala de coloração, com as seguintes notas: (1): *chips* com a superfície totalmente clara, (2): *chips* com as bordas levemente escurecidas, (3): *chips* com mais de 50% da superfície escurecida e (4): *chips* com mais de 75% da superfície escurecida (Figura 1).

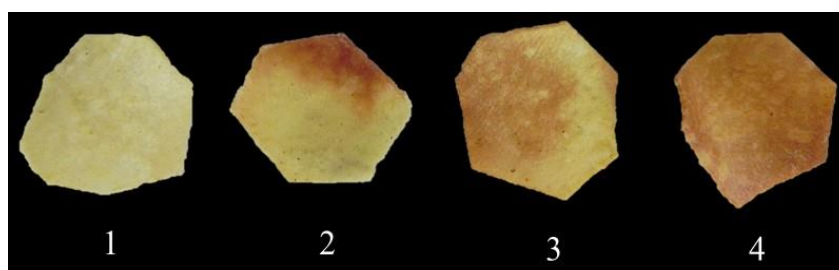


Figura 1. Notas da análise visual da coloração pós fritura de *chips* de batata doce.

Desenho experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida, tendo na parcela o fatorial 2 x 3, referente as duas cvs. de batata-doce (BRS Rubissol e BRS Cuia) e as três temperaturas de armazenamento (6 °C, 13 °C e condicionamento) e na subparcela os períodos de armazenamento (0, 15, 30, 45 e 60 dias), com quatro repetições por tratamento, considerando-se cada raiz como unidade experimental.

Os dados foram analisados por meio da análise de variância utilizando-se o SAS (CODY, 2015), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os dados foram submetidos a estatística descritiva de médias com desvio padrão. Os gráficos foram elaborados utilizando o *software* Sigma Plot 10.0. As correlações de Pearson entre as variáveis foram realizadas usando o pacote R 'corrplot' (WEI & SIMKO, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independentemente das temperaturas em que as cvs. de batata-doce foram armazenadas, houve aumento linear na perda de massa fresca ao longo do período de armazenamento. Aos 60 dias houve reduções da massa fresca em 8,36%, 10,65% e 5,36% para a cv. BRS Cuia (Figura 2A) e de 5,93%, 7,85% e 6,30% para a cv. BRS Rubissol (Figura 2B) armazenadas a 6 °C, 13 °C e com condicionamento, respectivamente. Os maiores percentuais diários de perda de massa foram de 0,72% para a cv. BRS Cuia e de 0,52% para a cv. BRS Rubissol armazenadas a 13 °C, podendo ser atribuído ao aumento na atividade respiratória (MADONNA et al., 2018).

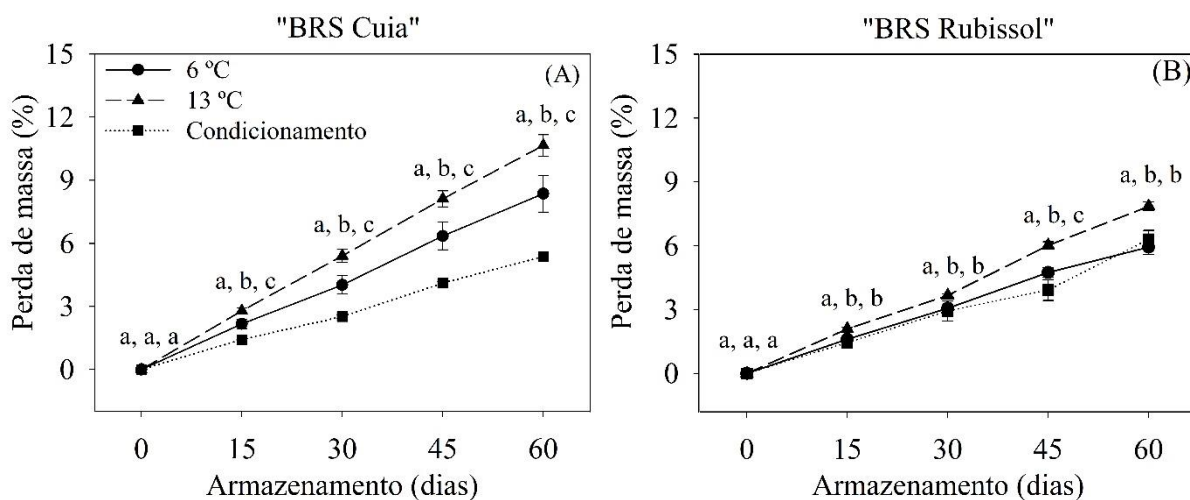


Figura 2: Perda de massa de raízes de batata-doce cv. BRS Cuia (A) e BRS Rubissol (B) submetidas a diferentes temperaturas de armazenamento. As barras verticais representam o desvio padrão da média. Temperaturas de armazenamento seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Acúmulo de açúcares em função do estresse por frio

Em ambas cvs. de batata-doce ocorreu acréscimo no percentual de açúcares solúveis totais (TSS) ao longo do período do armazenamento para todos os tratamentos. Ao final do período de armazenamento, os incrementos observados foram de 5,35, 5,35 e 6,85% para a cv. BRS Cuia (Figura 3A) e de 5,39, 3,24 e 8,10% para a cv. BRS Rubissol (Figura 3B), a 6 °C, 13 °C e do condicionamento, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado por Araújo et al. (2020) ao armazenarem raízes de batata-doce a 6 e 13 °C, constatando que a cv. BRS Rubissol e BRS Cuia, apresentaram percentagem de TSS maiores aos 60 dias de armazenamento a 6 °C, excedendo o valor observado a 13 °C por 2,23 e 2,92 vezes, respectivamente.

Um dos principais problemas relacionados ao metabolismo de açúcares é o equilíbrio entre a biossíntese e a degradação do amido, pois sob condições de baixas temperaturas com a quebra do amido resulta em acúmulo de açúcares solúveis. No presente trabalho, é possível que as raízes submetidas ao condicionamento e a 6 °C foram afetadas pelo frio, acarretando em danos na membrana do amiloplasto, tornando-a mais permeável às enzimas de hidrólise do amido, como a beta-amilase, enzima chave no acúmulo de açúcar solúvel sob estresse por frio, e, conseqüentemente ter promovido maior percentual de açúcares solúveis (KAPLAN & GUY, 2004; TARKOWSKI & VAN DEN ENDE, 2015).

Os percentuais de açúcares redutores (RS) aumentaram ao longo do período de armazenamento nas cvs. de batata-doce. A cv. BRS Cuia teve os maiores percentuais de RS no armazenamento a 6 °C e com o condicionamento, com 0,82% e 0,83%, respectivamente, aos 60 dias (Figura 3C). A cv. BRS Rubissol teve comportamento semelhantes e acumulou RS nas raízes a 6 °C e com condicionamento, com elevações de 0,29% e 0,43%, respectivamente, aos 60 dias de armazenamento (Figura 3D). Araújo et al. (2020) também observaram que o percentual de açúcares redutores na cv. BRS Rubissol e cv. BRS Cuia a 6 °C foram inferiores a 1% durante o armazenamento, mas aos 60 dias a cv. BRS Rubissol apresentou maiores percentuais de AR. Li et al. (2018) constataram que o maior acúmulo de açúcares redutores foram nas raízes da cv. Xinxiang submetidas ao condicionamento, corroborando os resultados observados no presente trabalho.

A sacarose entra no vacúolo, onde é clivada irreversivelmente em glicose e frutose pela invertase ácida solúvel, promovendo o acúmulo dos açúcares redutores (MCKENZIE et al.,

2005; SAKAMOTO et al., 2014; JI et al., 2017). Esses achados são evidenciados pela elevação dos RS ao longo do armazenamento da batata-doce de ambas cultivares (Figura 3C e 3D).

As raízes armazenadas a 6 °C e aquelas com condicionamento apresentaram os maiores percentuais de açúcares não-redutores (NRS) em ambas as cvs. ao longo do armazenamento. Para a cv. BRS Cuia, os maiores percentuais foram observados nas raízes do condicionamento, com 6,08% de NRS aos 60 dias. No mesmo período de armazenamento as raízes a 6 °C e 13 °C não diferiram no percentual de NRS, com 4,39% e 4,69%, respectivamente (Figura 3E). As raízes da cv. BRS Rubissol também apresentaram elevação do NRS ao longo do armazenamento a 6 °C e condicionamento, com 5,25 e 7,67% de NRS, respectivamente. Enquanto que as raízes a 13 °C tiveram percentuais inferiores, com 2,95% de NRS (Figura 3F). Porém, Araújo et al. (2020) nas mesmas cvs. constataram que o maior percentual de NRS foi observado nas raízes armazenadas a 6 °C.

É provável que o acúmulo de NRS nas raízes de batata-doce pode ser atribuído a baixa tolerância ao frio (ARAÚJO et al., 2020). Essas evidências indicam que os RS podem ter sido transportados para o citosol e convertidos em NRS (KRAUSE et al., 1998; LI et al., 2018), pela síntese de sacarose via sacarose fosfato sintase, uma vez que os NRS na cv. BRS Cuia do tratamento condicionamento e a 6 °C foram 7,25 e 5,35 vezes (Figura 3E) superiores aos RS (Figura 3C). Para a cv. BRS Rubissol, os percentuais de NRS foram 17,91 e 17,92 vezes (Figura 3F) maiores que os percentuais de RS (Figura 3D).

Em relação aos sólidos insolúveis em álcool (AIS), houve diferença significativa entre os tratamentos aos 30 e 60 dias de armazenamento para a cv. BRS Cuia e os valores mantiveram-se próximos durante o armazenamento (Figura 3G). Para a cv. BRS Rubissol, houve diferença significativa aos 15, 30 e 60 dias de armazenamento, com acentuada degradação durante o armazenamento. Ao final do período de avaliação, as raízes armazenadas a 13 °C apresentaram o maior percentual de AIS (27,93%), indicando maior teor de amido (Figura 3H).

Para Bonte & Picha (2000) os AIS em raízes de batata-doce indicam o teor de amido. É provável que a redução nos teores de AIS nas raízes armazenadas a 6 °C e no condicionamento pode ter ocorrido em virtude da degradação do amido, provavelmente via hidrolítica ou fosforolítica em hexose fosfatos, glicose ou maltose.

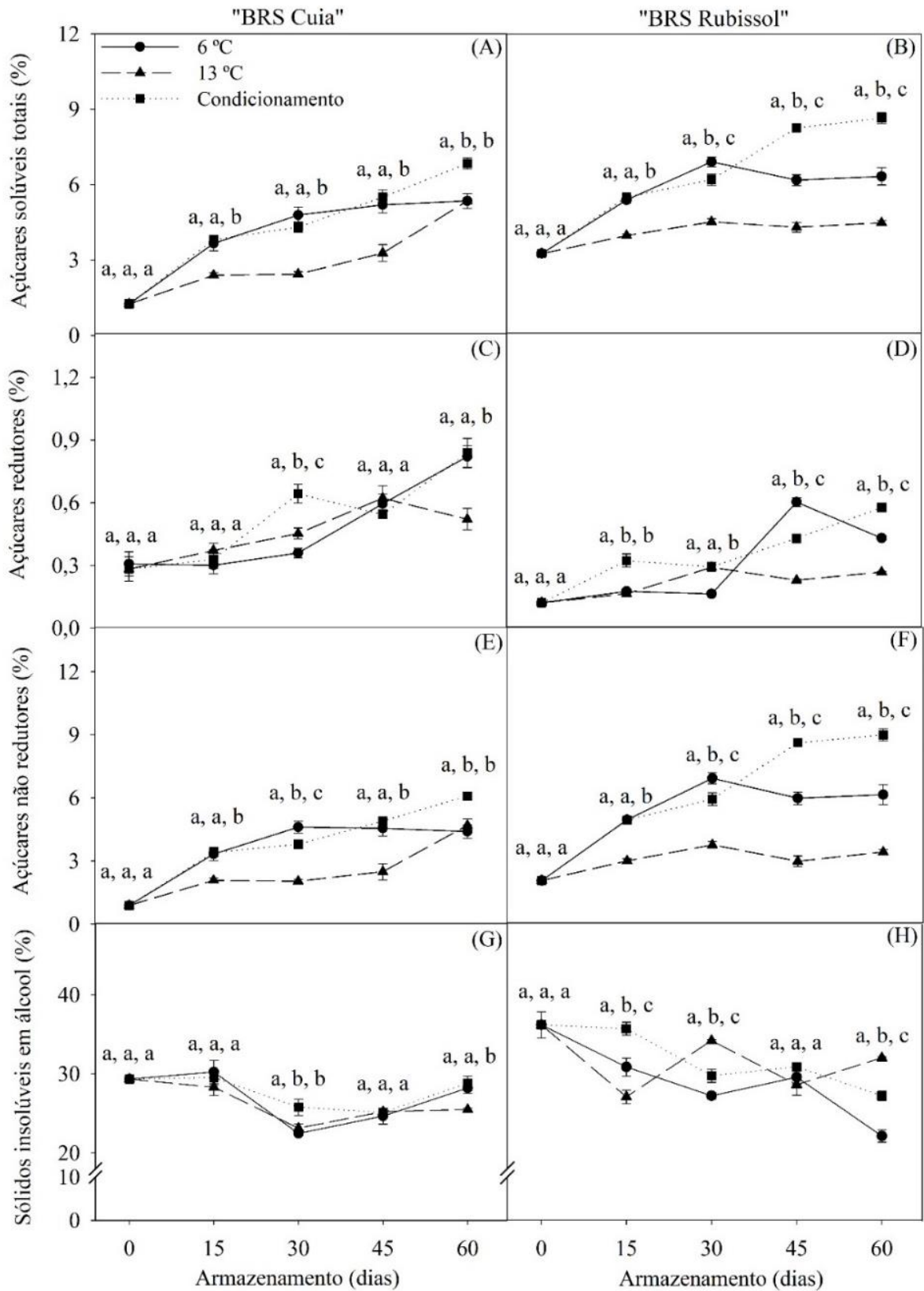


Figura 3: Açúcares solúveis totais, redutores, não redutores e sólidos insolúveis em álcool de raízes de batata-doce cvs. BRS Cuia (A, C, E e G) e BRS Rubissol (B, D, F e H) submetidas a diferentes temperaturas de armazenamento. As barras verticais representam o desvio padrão da

média. Temperaturas de armazenamento seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Escurecimento não enzimático (NED) dos chips de batata-doce

Independente das cultivares, a coloração dos *chips* fritos não diferiu no início do armazenamento. Para a BRS Cuia, verificou-se que os *chips* (Figura 4) apresentaram coloração mais escura, e, conseqüentemente notas superiores aos 60 dias (Figura 5A) no armazenamento a 6 °C e no tratamento de condicionamento (Figura 5A), indicando redução na qualidade da fritura, o que não foi observado nos *chips* das batatas-doces armazenadas a 13 °C.

Para a cv. BRS Rubissol, a coloração dos *chips* (Figura 4 e 5B) foi semelhante ao observado para a cv. BRS Cuia, o armazenamento a 6 °C e o condicionamento promoveram *chips* com coloração mais escura, e, em comparação aos *chips* do armazenamento a 13 °C. Resposta distinta foi relatada por Araújo et al. (2020), onde o grau de escurecimento dos *chips* da cv. BRS Rubissol apresentaram um aumento ao longo do período de armazenamento, porém não diferiu entre as temperaturas de 6 e 13 °C.

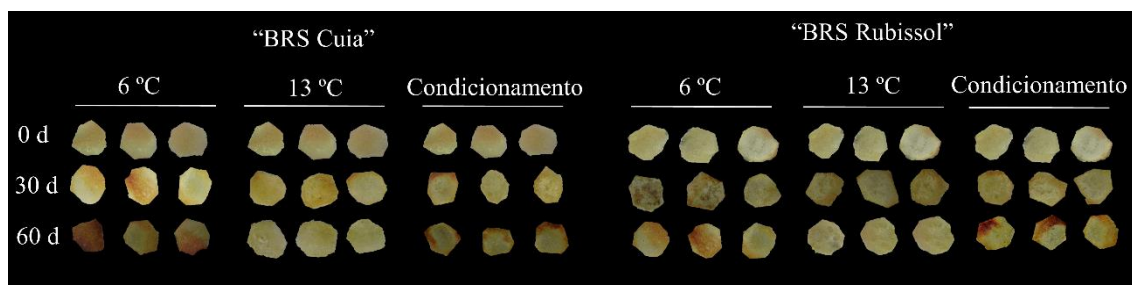


Figura 4: Análise visual dos *chips* de batatas-doces cv. BRS Cuia e BRS Rubissol submetidas a diferentes temperaturas de armazenamento.

Embora o armazenamento a 6 °C e o condicionamento tenham reduzido a perda de massa, as raízes de batata-doce nestas condições de armazenamento, podem ter aumentado a atividade de enzimas responsáveis pela conversão da sacarose em açúcares redutores, resultando em coloração escura dos *chips* de batata-doce pela reação de Maillard. Nessa reação, os açúcares redutores reagem com aminoácidos livres, promovendo a formação de compostos escuros com sabor desagradável, reduzindo a qualidade do produto final (MCKENZIE et al., 2013; ARAÚJO et al., 2016).

Esse comportamento também foi observado por Araújo et al. (2020) em raízes de batata-doce cv. BRS Cuia, BRS Rubissol e Beauregard armazenadas a 6 °C durante 60 dias e por Freitas et al. (2012) em tubérculos de batata (*Solanum tuberosum* L.) armazenados a 4 °C por 180 dias.

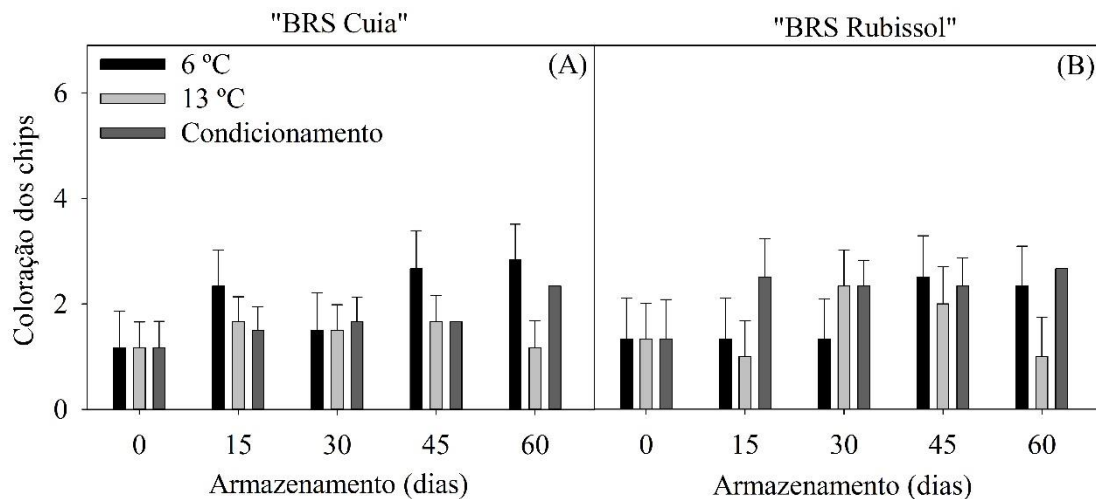


Figura 5: Notas da coloração dos *chips* de batata-doce cv. BRS Cuia (A) e BRS Rubissol (B) submetidas a diferentes temperaturas de armazenamento. As barras verticais representam o desvio padrão da média.

Os coeficientes de correlação de Pearson estão representados no mapa de calor da Figura 6. Para a cv. BRS Cuia, o NRS teve uma correlação altamente positiva com TSS ($r = 0,98$; $P = 0,01\%$). Para a cv. BRS Rubissol, o AIS se correlacionou negativamente com a maioria das variáveis, mas em relação ao TSS e NRS houve correlação altamente negativa, com ($r = -0,59$; $P = 0,01\%$) e ($r = -0,59$; $P = 0,01\%$), respectivamente. Assim como observado para a cv. BRS Cuia, também houve forte correlação entre o TSS e NRS com ($r = 0,99$; $P = 0,01\%$).

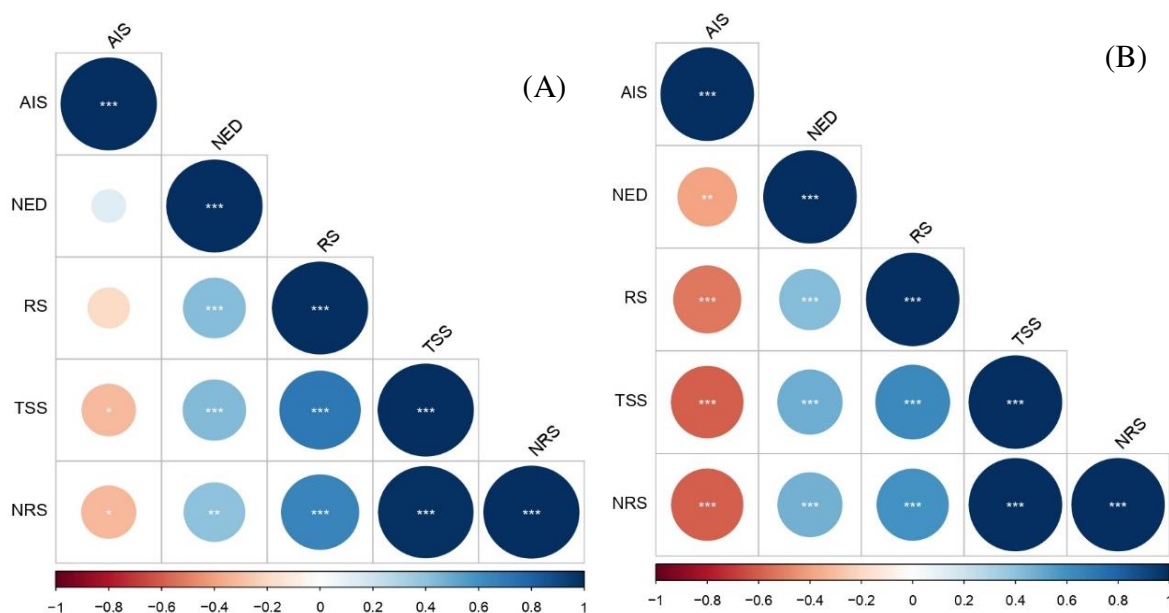


Figura 6: Mapa de calor da correlação de Pearson entre açúcares solúveis totais (TSS), açúcares redutores (RS) e açúcares não redutores (NRS), sólidos insolúveis em álcool (AIS) e coloração dos *chips* após fritura (NED) em cvs. de batata-doce BRS Cuia (A) e BRS Rubissol (B). As cores das barras indicam a natureza da correlação, onde 1 consiste em uma correlação perfeitamente positiva (azul escuro) e -1 significa uma correlação perfeitamente negativa (vermelho escuro). Correlações fortes são indicadas por círculos grandes, enquanto correlações fracas são indicadas por círculos pequenos. Os asteriscos dentro do círculo são os valores-P. (***, **, e * indicam significância a 0,01, 1 e 5%, respectivamente).

CONCLUSÃO

O armazenamento a 6 °C e o de condicionamento induziram o maior acúmulo de açúcares redutores, não redutores e escurecimento dos *chips* pela reação de Maillard nas cultivares de batata-doce BRS Cuia e BRS Rubissol. Este estudo mostrou que o condicionamento não foi eficaz em reduzir o adoçamento induzido pelo frio em raízes de batata-doce.

REFERÊNCIAS

AMOAHA, R.S.; LANDAHL, S.; TERRY, L.A. The timing of exogenous ethylene supplementation differentially affects stored sweetpotato. **Postharvest Biology and Technology**, v.120, p.92-102, 2016.

ARAÚJO, N. O.; VÉRAS, M. L. M.; SANTOS, M. N. S.; ARAÚJO, F. F.; TELLO, J. P. J.; FINGER, F. L. Sucrose degradation pathways in cold-induced sweetening and its impact on the non-enzymatic darkening in sweet potato root. **Food Chemistry**, v. 312, p. 1-8, 2020.

ARAÚJO, T. H.; PÁDUA, J. G.; SPOTO, M. H.; ORTIZ, V. D.; MARGOSSIAN, P. L.; DIAS, C. T.; MELO, P. C. Productivity and quality of potato cultivars for processing as shoestrings and chips. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 554-560, 2016.

BONTE, D. R. L.; PICHA, D. H. Carbohydrate-related changes in sweetpotato storage roots during development. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 125, n. 2, p. 200-204, 2000.

CAETANO, P. K.; MARIANO-NASSER, F. A. C.; MENDONÇA, V. Z.; FURLANETO, K. A.; DAIUTO, E. R.; VIEITES, R. L. Physicochemical and sensory characteristics of sweet potato chips undergoing different cooking methods. **Plant, cell & environment**, v. 36, n. 1, p. 176-185, 2013.

CHAKRABORTY, C.; ROYCHOWDHURY, R.; CHAKRABORTY, S.; CHAKRABORTY, P.; GHOSH, D. A Review on Post-Harvest Profile of Sweet Potato. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 1894-1903, 2017.

CHAPPER, M.; BACARIN, M. A.; PEREIRA, A. D. S.; LOPES, N. F. Amidolytic and an acid soluble invertase activities in potato tubers stored under two temperature conditions. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 597-601, 2004.

CODY, R. **An Introduction to SAS University Edition**. Cary, NC. SAS Institute, 366p, 2015.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v.28, n.3, p.350-356, 1956.

FREITAS, S. T.; PEREIRA, E. I. P.; GOMEZ, A. C. S.; BRACKMANN, A.; NICOLOSO, F.; BISOGNIN, D. A. Processing quality of potato tubers produced during autumn and spring and stored at different temperatures. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 91-98, 2012.

GONÇALVES, C.; RODRIGUES-JASSO, M. R.; GOMES, N.; TEIXEIRA, J. A.; BELO, I. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. **Analytical Methods**, v. 2, p. 2046-2048, 2010.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of biochemistry and biophysics**, v. 125, n. 2, p. 189-198, 1968.

HONG, K. Q.; XU, H.; WANG, J.; ZHANG, L.; HU, H.; JIA, Z.; GU, H.; HE, Q.; GONG, D. Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. **Scientia Horticulturae**, v. 151, p. 68–74, 2013.

JI, C. Y.; CHUNG, W. H.; KIM, H. S.; JUNG, W. Y.; KANG, L.; JEONG, J. C.; KWAK, S. S. Transcriptome profiling of sweetpotato tuberous roots during low temperature storage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 112, p. 97-108, 2017.

KAPLAN, F.; GUY, C. L. β -Amylase induction and the protective role of maltose during temperature shock. **Plant Physiology**, v. 135, n. 3, p. 1674-1684, 2004.

KRAUSE, K. P.; HILL, L.; REIMHOLZ, R.; HAMBORG NIELSEN, T.; SONNEWALD, U.; STITT, M. Sucrose metabolism in cold-stored potato tubers with decreased expression of sucrose phosphate synthase. **Plant, Cell & Environment**, v. 21, n. 3, p. 285-299, 1998.

KUMAR, D.; SINGH, B. P.; KUMAR, P. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. **Annals of Applied Biology**, v. 145, n. 3, p. 247-256, 2004.

KUMAR, J.; DAS, S.; TEOH, S. L. Dietary acrylamide and the risks of developing cancer: Facts to ponder. **Frontiers in nutrition**, v. 5, p. 1-12, 2018.

LI, D.; CHENG, Y.; DONG, Y.; SHANG, Z.; GUAN, J. Effects of low temperature conditioning on fruit quality and peel browning spot in 'Huangguan' pears during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 131, p. 68-73, 2017.

LI, X.; YANG, H.; LU, G. Low-temperature conditioning combined with cold storage inducing rapid sweetening of sweetpotato tuberous roots (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) while inhibiting chilling injury. **Postharvest Biology and Technology**, v. 142, p. 1-9, 2018.

MADONNA, M.; CALEB, O. J.; SIVAKUMAR, D.; MAHAJAN, P. V. Understanding the physiological response of fresh-cut cauliflower for developing a suitable packaging system. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 17, p. 179-186, 2018.

MCKENZIE, M. J.; CHEN, R. K. Y.; HARRIS, J. C.; ASHWORTH, M. J.; BRUMMELL, D. A. Post-translational regulation of acid invertase activity by vacuolar invertase inhibitor affects resistance to cold-induced sweetening of potato tubers. **Plant, cell & environment**, v. 36, n. 1, p. 176-185, 2013.

MCKENZIE, M. J.; SOWOKINOS, J. R.; SHEA, I. M.; GUPTA, S. K.; LINDLAUF, R. R.; ANDERSON, J. A. Investigations on the role of acid invertase and UDP-glucose pyrophosphorylase in potato clones with varying resistance to cold-induced sweetening. **American Journal of Potato Research**, v. 82, n. 3, p. 231-239, 2005.

MUKUNYADZI, M. **A Study of Sweet potato Postharvest Handling and Marketing in Chiweshe (Mazowe District) in Zimbabwe**, Dissertation for award of MSc degree at Larenstein University, Wageningen, The Netherland; 56, 2009.

PADDA, M. S. & PICHA, D. H. Effect of low temperature storage on phenolic composition and antioxidant activity of sweetpotatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 2, p. 176-180, 2008.

PAN, Y.; CHEN, L.; CHEN, X.; JIA, X.; ZHANG, J.; BAN, Z.; LI, X. Postharvest intermittent heat treatment alleviates chilling injury in cold-stored sweet potato roots through the antioxidant metabolism regulation. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 12, p. 1-9, 2019.

SAKAMOTO, T.; MASUDA, D.; NISHIMURA, K.; IKESHITA, Y. Relationship between invertase gene expression and sucrose concentration in the tuberous roots of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam.) during cold storage. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 89, n. 2, p. 229-235, 2014.

SMITH, A. M.; ZEEMAN, S. C.; SMITH, S. M. Starch degradation. **Annual Review Plant Biology**, v. 56, p. 73-98, 2005.

TARKOWSKI, Ł. P.; VAN DEN ENDE, W. Cold tolerance triggered by soluble sugars: A multifaceted countermeasure. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 1-7, 2015.

WANG, K.; YIN, X. R.; ZHANG, B.; GRIERSON, D.; XU, C. J.; CHEN, K. S. Transcriptomic and metabolic analyses provide new insights into chilling injury in peach fruit. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 8, p. 1531-1551, 2017.

WEI, T.; SIMKO, V.; LEVY, M.; XIE, Y.; JIN, Y.; ZEMLA, J. Package ‘corrplot’. Package ‘corrplot’. **Statistician**, v. 56, p. 316-324, 2017.

ZHANG, H.; HOU, J.; LIU, J.; ZHANG, J.; SONG, B.; XIE, C. The roles of starch metabolic pathways in the cold-induced sweetening process in potatoes. **Starch-Stärke**, v. 69, n. 1-2, p. 1-11, 2017.

ZHANG, Z.; ZHU, Q.; HU, M.; GAO, Z.; AN, F.; LI, M.; JIANG, Y. Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in stored mango fruit. **Food chemistry**, v. 219, p. 76-84, 2017.

Controle da brotação e metabolismo de carboidratos no armazenamento de raízes de batata-doce

RESUMO: A incidência de brotação é um dos aspectos negativos que mais influenciam na comercialização de raízes de batata-doce. Nessa perspectiva, os produtores de batata-doce buscam alternativas para reduzir o surgimento de brotos na etapa de armazenamento. No presente trabalho foram avaliados os efeitos da aplicação de metil jasmonato (MeJa) e ácido nonanóico no controle da brotação em raízes de batata-doce cv. BRS Cuia durante de armazenamento em temperatura ambiente, analisando alterações fisiológicas e bioquímicas, além de seu impacto na qualidade de *chips* após a fritura. Após o início da brotação, as raízes foram tratadas (vaporizadas) com $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato, 100 ppm de ácido nonanóico e controle. A aplicação de MeJa reduziu a incidência de brotação, bem como manteve a qualidade metabólica das raízes durante o armazenamento em temperatura ambiente, prolongando a vida útil e potencial de comercialização de raízes de batata-doce. A coloração dos *chips* após a fritura das batatas-doces que receberam o tratamento de MeJa foi menos escura que os *chips* dos demais tratamentos. A aplicação de ácido nonanóico não suprimiu a brotação das raízes, e conseqüentemente os *chips* apresentaram coloração escura.

Palavras-chave: ácido nonanóico, *Ipomoea batatas* L., metil jasmonato, regulador vegetal.

Sprout control and carbohydrate metabolism in the storage of sweet potato roots

ABSTRACT: Sprouting incidence is one of the negative aspects that most influence the commercialization of sweet potato roots. In this perspective, sweet potato producers are looking for alternatives to reduce the appearance of sprouts in the storage stage. In the present work, the effects of the application of methyl jasmonate (MeJa) and nonanoic acid in the control of sprouting in sweet potato roots cv. BRS Cuia during storage at room temperature, analyzing physiological and biochemical changes, as well as its impact on quality of chips after frying. After the start of sprouting, the roots were treated (sprayed) with 10 mmol L^{-1} methyl jasmonate, 100 ppm nonanoic acid and control. The application of MeJa reduced the incidence of sprouting, as well as maintained the metabolic quality of the roots during storage at room

temperature, prolonging the useful life and potential for commercialization of sweet potato roots. The color of the chips after frying the sweet potatoes that received the MeJa treatment was less dark than the chips of the other treatments. The application of nonanoic acid did not suppress the sprouting of the roots, and consequently the chips showed a dark color.

Keywords: nonanoic acid, *Ipomoea batatas* L., methyl jasmonate, plant regulator.

INTRODUÇÃO

A batata-doce é uma das raízes alimentícias mais ricas em fibras e vitaminas dietéticas com grande importância agrícola. Em virtude de sua versatilidade de preparo, é considerada uma das fontes de alimento mais nutritivas, e por causa disso tem aumentado seu cultivo no mundo todo, tornando-se uma das commodities econômicas, com grande produtividade e resistência a diversas condições ambientais.

A batata doce apresenta alta perecibilidade, com difícil preservação por grandes períodos após a colheita, portanto, é consumida em períodos curtos após ser colhida (LEE & LEE, 2017). As raízes são destinadas à comercialização são armazenadas em temperatura ambiente após a colheita, contudo, as condições de armazenamento em temperatura ambiente nem sempre são as mais adequadas para a conservação, pois reduz a vida útil destas raízes devido altas temperaturas e promove a indução do surgimento de brotos e perda de massa (murcha), com vida de prateleira que varia entre duas a quatro semanas (CHEEMA et al., 2013).

O surgimento de brotações em raízes de batata-doce promove diversas mudanças metabólicas (VAN DE POEL et al., 2015). Esse processo biológico é uma das principais causas das perdas de batata-doce durante o armazenamento, pois não reduz somente o número de raízes comercializáveis, como também ocasiona a redução do peso das raízes devido a evaporação intensa da água da superfície da brotação (TEPER-BAMNOLKER et al., 2010). Além disso, o processo de brotação pode prejudicar a etapa de comercialização, gerando prejuízos aos produtores. Portanto, o uso de supressores de brotação surge como uma alternativa para reduzir a incidência de brotação e manter a qualidade das raízes para o mercado (EL-SAYED et al., 2013).

A supressão ou inibição da brotação de produtos hortícolas na fase de armazenamento é feita com a utilização de produtos químicos, e seu mecanismo de atuação envolve alterações metabólicas, como estudado na batata (*Solanum tuberosum* L.) (SUGRI et al., 2017). Dentre os

supressores de brotação, com alta eficiência em reduzir o percentual de brotação destaca-se o metil jasmonato (MeJa). Os jasmonatos controlam o surgimento de brotos e melhora a qualidade de processamento de produtos hortícolas, dentre eles em rabanete (WANG, 1998; PIRBALOUTI et al., 2014). Entretanto, o papel de jasmonatos no controle da brotação em produtos hortícolas são escassos, especialmente para a batata-doce (ALLAH et al. 2018). Em estudo realizado por Wang (1998) os autores observaram que o tratamento por imersão com 10^{-4} M de MeJa reduziu significativamente a brotação de raízes de rabanete.

Outro possível supressor de brotação que pode ser utilizado é o ácido nonanóico, um herbicida não sintético, também chamado de ácido pelargônico, que ao ser aplicado nos vegetais pode causar lesões necróticas rapidamente (CIRIMINNA et al., 2019). Segundo Lederer et al. (2004), o ácido nonanóico possui toxicidade as plantas em virtude de a capacidade dos ácidos graxos penetrar e desestabilizar as membranas plasmáticas. Entretanto, não há estudos que investiguem o efeito de sua aplicação como supressor de brotação em raízes de batata-doce.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de metil jasmonato (MeJa) e ácido nonanóico no controle de brotação em raízes de batata-doce cv. BRS Cuia durante armazenamento em temperatura ambiente, analisando alterações fisiológicas e bioquímicas, além da qualidade de processamento de *chips* após a fritura.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e plantio

Mudas de batata-doce cv. BRS Cuia foram obtidas da Empresa Frutplan LTDA e plantadas com espaçamento de 1,0 m (entre camalhões) × 0,4 m (entre plantas) na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 20'' S e 42° 52' 40'' W, 651 m de altitude), no período de setembro de 2017 a fevereiro de 2018, correspondendo ao plantio de primavera.

Antes do plantio o solo foi preparado de forma convencional, com aração e gradagem e construção de camalhões de 30 cm de altura, com adubação de acordo com a análise química do solo e as recomendações técnicas para a cultura (calagem para o plantio com 100 g/m² de calcário; adubação de plantio com 100 g m⁻² de NPK 8-28-16; adubação com 50 g m⁻² de NPK 8-28-16 a cada 30 dias e irrigação contínua com uso de aspersores).

A colheita foi feita manualmente aos 130 dias após o plantio, e em seguida as raízes de 300 a 600 g livres de doenças e danos foram selecionadas e transportadas em caixas plásticas ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG. No laboratório, as raízes foram submetidas ao processo de cura proposto por Amoah et al. (2016), pelo armazenamento a 30 °C com umidade relativa de 90% por 7 dias em incubadoras tipo B.O.D.

Tratamento com ácido nonanóico e metil jasmonato (MeJa)

As raízes de batata-doce cv. BRS Cuia foram armazenadas a 25 °C até a quebra da dormência. Após o início da brotação, as raízes foram submetidas aos tratamentos: controle, 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato e 100 ppm de ácido nonanóico. Os produtos foram adquiridos da empresa Sigma-Aldrich® e a aplicação se deu por via de vaporização de acordo com o método descrito por Vaughn e Spencer (1991), com modificações. Um total de 20 raízes foram acondicionados em recipientes de 90 L contendo os compostos diluídos em 3 ml de etanol 95 % em uma placa de Petri sobre uma placa aquecedora. Cada placa de Petri foi preenchida por um papel filtro contendo 10 μM de metil jasmonato e 100 ppm de ácido nonanóico para cada 1kg de batata-doce. Após 2 horas acondicionadas, as raízes foram armazenadas em bancada com temperatura ambiente de ± 22 °C e umidade relativa de $\pm 90\%$ de umidade relativa. Raízes do controle foram tratadas com vaporização da solução de etanol 95% pelo mesmo período.

Para cada tratamento foram coletadas amostras aos 0, 10, 20, 30 e 40 dias após o armazenamento, a fim de verificar possíveis diferenças entre os tratamentos. Para cada intervalo de tempo avaliado, foi retirada uma raiz de cada repetição por tratamento, sendo 4 repetições para as análises destrutivas e avaliadas quanto a perda de massa, percentual de brotação, comprimento de brotos, açúcares solúveis totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, sólidos insolúveis em álcool, atividade da peroxidase e da polifenoloxidase, aparência das raízes e coloração dos *chips* após fritura.

Avaliação da perda de massa fresca (PMF)

Ao longo do armazenamento, as raízes de batata-doce foram pesadas em balança analítica e os resultados foram expressos em porcentagem de perda de massa fresca, como se

segue: $PMF = ((PF-PI)*100)/PI$. Em que: PMF = perda de massa fresca (%); PF = peso da matéria fresca final (g); e PI = peso da matéria fresca inicial (g).

Determinação do percentual de brotação e comprimento de brotos

O número de brotações foi determinado considerando brotos com tamanho superiores a 1 mm, os resultados foram expressos em % de brotação. O comprimento de brotações foi mensurado com paquímetro digital e os resultados foram expressos em mm.

Extração dos açúcares

Aproximadamente 5 g de amostras da polpa fresca foram trituradas e homogeneizadas em etanol a 80% aquecido a 85 °C. Posteriormente foram centrifugadas a 13.000 g durante 10 min e para separar o sobrenadante, o processo foi repetido duas vezes com etanol a 80%. Os sobrenadantes foram reunidos e aferidos até 25 mL com 80% de etanol.

Quantificação dos açúcares solúveis totais (AST)

Os açúcares solúveis totais (AST) foram quantificados segundo o método fenol-sulfúrico (DUBOIS et al., 1956). O ensaio utilizou 0,25 mL do sobrenadante, 0,25 mL de solução de fenol a 5% e 1,25 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e foi incubado a 30 °C por 20 min. Após o resfriamento, as amostras foram lidas a 490 nm. A densidade óptica observada foi plotada contra a curva padrão de sacarose (0-50 µg) e o conteúdo de AST foi expresso como %AST com base no peso fresco.

Quantificação dos açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR)

Os açúcares redutores (AR) foram quantificados de acordo com a metodologia do ácido dinitrossalicílico (DNS) (GONÇALVES, et al. 2010), em que alíquota de 0,5 mL de sobrenadante e 0,5 mL de DNS foram adicionados em tubos e incubados em banho-maria até a fervura. Após o arrefecimento, nos tubos foram adicionados 4 mL de água e a absorbância foi lida a 540 nm. O conteúdo do AR foi expresso em %AR com base no peso fresco, utilizando a

curva padrão de frutose (0-1,0 mg). O conteúdo de ANR foi determinado pela diferença entre o AST e AR, com resultados expressos em %ANR com base no peso fresco.

Determinação dos sólidos insolúveis em álcool (SIA)

Os sólidos insolúveis em álcool (SIA) foram determinados pela metodologia descrita por Bonte e Picha (2000). Após a extração dos açúcares solúveis, o resíduo insolúvel (*pellet*) foi seco a 65 °C em estufa por 72 h, e posteriormente foram pesados e o resultado foi expresso em %SIA com base de peso fresco.

Ensaio enzimático da peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO)

A atividade da POD foi baseada em um método descrito por Khan e Robinson (1994), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (1,80%), 0,5 mL de guaiacol (1,68%), 0,4 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0). As amostras foram lidas a 470 nm, a 25°C. E a atividade da PPO foi baseada em método descrito por Benjamin & Montgomery (1973) adaptado por Karsten et al. (2013), onde 0,1 mL de extrato enzimático foi acrescentado ao meio de reação contendo 0,5 mL de catequina (5 mM), 0,9 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 4,5). As amostras foram lidas a 420 nm a 25 °C, por 3 minutos.

A atividade das enzimas foi expressa como unidades de absorvância (AU) min⁻¹ mg⁻¹ de proteína. A concentração total de proteínas foi determinada no extrato usando albumina sérica bovina como padrão (BRADFORD, 1976).

Avaliação da coloração dos chips após a fritura

Para avaliação da coloração dos *chips*, as raízes foram descascadas e higienizadas, em seguida foram processadas na forma de *chips* e fritos em óleo de soja refinado por 2 minutos a 180 °C (CAETANO et al., 2018) em fritadeira monitorada (Ford, Michigan, EUA). A análise foi baseada em uma escala de coloração, com as seguintes notas: (1): *chips* com a superfície totalmente clara, (2): *chips* com as bordas levemente escurecidas, (3): *chips* com mais de 50% da superfície escurecida e (4): *chips* com mais de 75% da superfície escurecida (Figura 1).

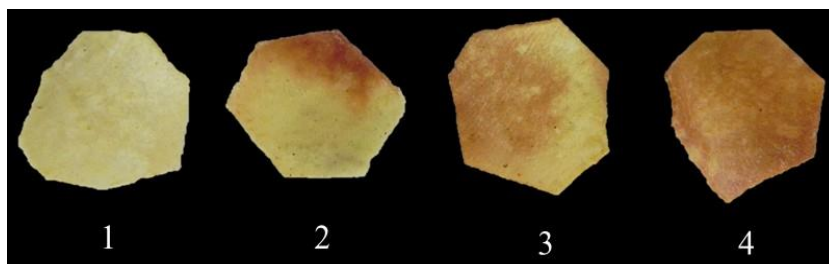


Figura 1. Notas da análise visual da coloração após a fritura de chips de batata doce.

Desenho experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida, tendo na parcela os supressores de brotação (controle, 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato e 100 ppm de ácido nonanóico) e na subparcela os períodos de armazenamento: 0, 10, 20, 30 e 40 dias, com quatro repetições por tratamento, considerando-se 2 raízes de batata-doce como a unidade experimental.

Os dados foram analisados por meio da análise de variância utilizando-se o SAS (CODY, 2015), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi utilizada estatística descritiva de médias com erro padrão. Os gráficos foram elaborados utilizando o software Sigma Plot 10.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve aumento da perda de massa ao longo do armazenamento para todos os tratamentos avaliados (Figura 2), porém, as raízes tratadas com ácido nonanóico apresentaram a maior perda (9,08%), aos 40 dias de armazenamento. Enquanto que o menor percentual de perda de massa foi observado nas raízes tratadas com MeJa (6,51%).

A perda de massa das raízes de batata-doce ao longo do armazenamento se deve à atividade respiratória e a transpiração que aumentam rapidamente com o surgimento de brotações e crescimento dos brotos, o que pode ter aumentado o processo de senescência, resultando em perda de massa e redução da vida útil (MANI et al., 2014; MADONNA et al., 2018). Allah et al. (2018) também observaram que a menor perda de massa foi em tubérculos de batata tratados com 0,01mM L^{-1} de MeJa.

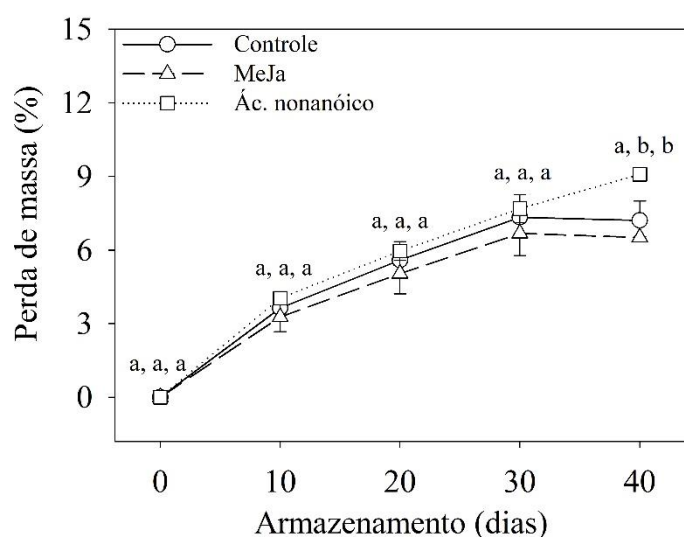


Figura 2: Perda de massa de raízes de batata-doce cv. BRS Cuia durante armazenamento por 40 dias em função da aplicação de supressores de brotação (controle, $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato e 100 ppm de ácido nonanóico).

O percentual de brotação mostrou aumentos ao longo do período de armazenamento para todos os tratamentos avaliados (Figura 3A). Porém, as raízes que receberam aplicação de ácido nonanóico mostraram maiores percentuais de brotação do que as dos tratamentos controle e MeJa durante o armazenamento, sobretudo aos 40 dias em que houve 92,59% de brotação (Figura 3A). Em relação ao comprimento de brotos (Figura 3B), houve um incremento até os 30 dias nas raízes do controle, obtendo-se neste período, o maior broto (30,13 cm). Por outro lado, as raízes que receberam aplicação de MeJa tiveram o comprimento de brotos reduzido a partir dos 10 dias, e, ao final do período de armazenamento apresentaram o menor valor observado (4,33 cm).

A incidência de brotação é um dos fatores que influenciam na rejeição da batata-doce pelos consumidores. Dessa forma, os produtores de batata-doce buscam adotar a aplicação de supressores de brotação durante o armazenamento da batata-doce visando a manutenção da qualidade das raízes (EL-SAYED et al., 2013). Wang et al. (1998) apontam que a aplicação de metil jasmonato inibe a brotação em produtos hortícolas que são armazenados em temperaturas ambientes, especialmente na etapa de comercialização. Outros trabalhos têm evidenciado que o ácido jasmônico atua na supressão de brotos, especialmente em batata (PLATONOVA & KORABLEVA, 1992; ABBDALA et al., 2002; PLATONOVA et al., 2010). Entretanto, em raízes de batata-doce, a aplicação pode reduzir o índice de brotação, prolongando a vida útil das raízes e aumentando o potencial de comercialização.

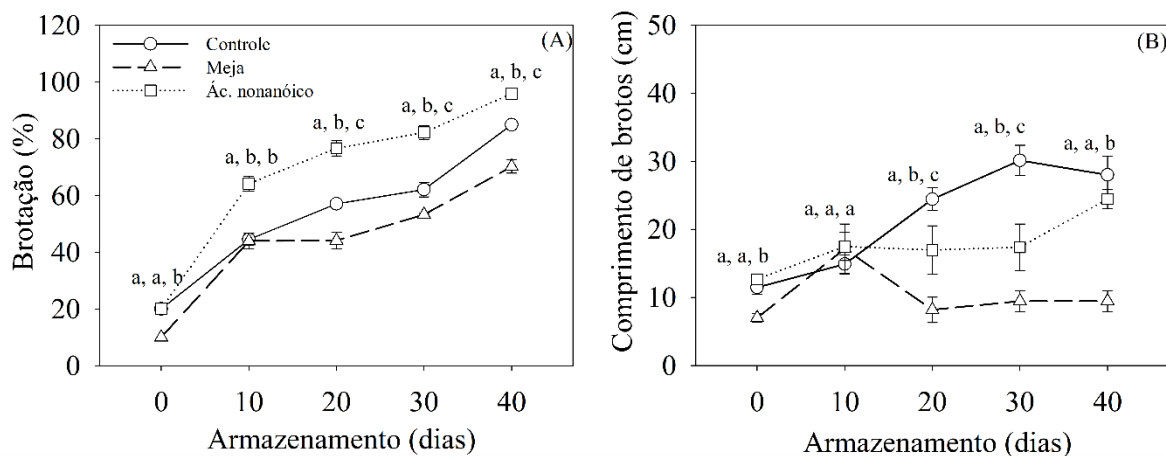


Figura 3: Percentual de brotação (A) e comprimento de brotos (B) de raízes de batata-doce cv. BRS Cuia durante armazenamento por 40 dias em função da aplicação de supressores de brotação (controle, 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato (MeJa) e 100 ppm de ácido nonanóico). Os dados representam a média \pm desvio padrão ($n = 5$). Letras minúsculas indicam diferenças entre os tratamentos em cada período de armazenamento, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As raízes de batata-doce do controle e das tratadas com ácido nonanóico apresentaram maior incidência de brotação durante o armazenamento quando comparadas ao tratamento com MeJa. As raízes do tratamento com MeJa exibiram poucas brotações e brotos com comprimento abaixo de 9 mm, evidenciando que a aplicação de MeJa pode suprimir o desenvolvimento de brotações em raízes de batata-doce (Figura 4). Esse comportamento também foi relatado anteriormente por Lulai et al. (1995) e Platonova et al. (2010), os quais relatam que os jasmonatos inibem o surgimento de brotos em batata (*Solanum tuberosum* L.).

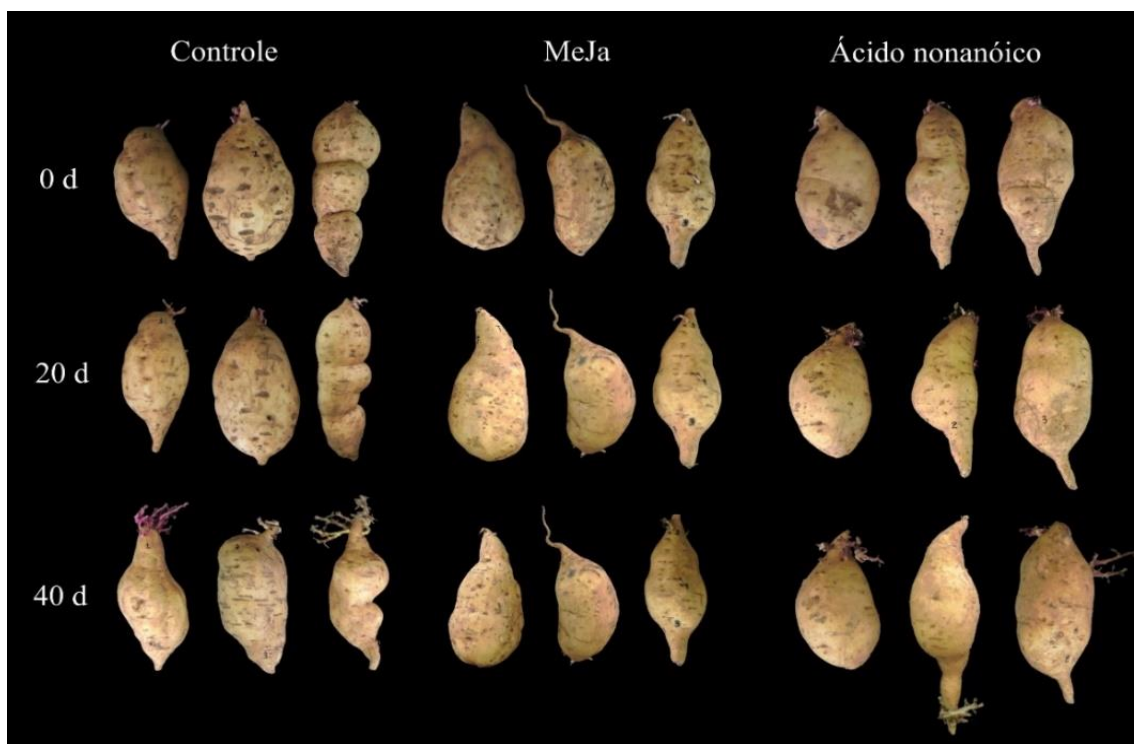


Figura 4: Aparência das raízes de batata-doce cv. BRS Cuia antes e após o armazenamento por 40 dias a 25 °C em função da aplicação de supressores de brotação (controle (sem tratamento), 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato e 100 ppm de ácido nonanóico).

Alterações nos carboidratos de raízes de batata-doce cv. BRS Cuia foram constatadas ao longo do armazenamento (Figura 5). Todavia, as raízes tratadas com MeJa mostraram maiores teores (2,62%) de AST até os 20 dias em relação ao controle e ao tratamento com ácido nonanóico, com posterior decréscimo até o final do período de armazenamento (Figura 5A).

A aplicação de ácido nonanóico nas raízes de batata-doce promoveu o maior acúmulo de AR até os 30 dias, com 0,63%. Por outro lado, o tratamento controle e o MeJa reduziram os AR após 10 dias armazenamento (Figura 5B). Altos percentuais de açúcares redutores não são recomendáveis, pois podem acarretar no escurecimento de produtos fritos de batata-doce, promovendo a formação de compostos escuros com sabor desagradável e, conseqüentemente baixa aceitação pelo consumidor, em virtude da baixa qualidade visual dos *chips* (KUMAR et al., 2004; MCKENZIE et al., 2005; ARAÚJO et al., 2016).

Estudos recentes relatam que a redução nos teores de AR ocorre em virtude do surgimento de brotação (JIA et al., 2019; FINGER et al., 2018; FOUKARAKI et al., 2016). Durante a brotação, o metabolismo celular modifica a síntese de compostos de reserva para a degradação, sendo assim, a sacarose é hidrolisada e usada no crescimento e desenvolvimento do broto (HAJIREZAEI et al. 2003). Esses achados corroboram os dados apresentados pelo

tratamento com MeJa, em que se observou os menores percentuais de brotação (Figura 3A) e consequente catabolismo de sacarose (Figura 5C) que pode ter aumentado o teor de açúcares redutores ao fim do armazenamento (Figura 5B).

O percentual de ANR oscilou durante o período de armazenamento nos tratamentos avaliados. Entretanto, aos 40 dias, as raízes de batata-doce do controle tiveram percentuais 1,40 vezes mais altos que nas raízes do tratamento MeJa e ácido nonanóico (Figura 5C).

Em relação aos SIA, as raízes do controle e tratamento com ácido nonanóico apresentaram os maiores valores até os 30 dias, sendo verificado o menor percentual (27,53%) nas raízes do tratamento MeJa neste mesmo período. Ao final do período de armazenamento os tratamentos não diferiram entre si, obtendo-se 31,50% de SIA (Figura 5D). Para Bonte & Picha (2000) os SIA em raízes de batata-doce indicam o teor de amido, e seu decréscimo nas raízes tratadas com MeJa pode ser atribuído ao fato que o amido foi a principal fonte de carbono para o acúmulo de AST (Figura 5A), como observado no presente trabalho.

Os resultados observados no presente trabalho indicam, possivelmente, que as raízes do controle e ácido nonanóico podem ter acumulado maior teor de amido devido a maior perda de massa nesses tratamentos, ao contrário ao observado nas raízes tratadas com MeJa. Através desses achados, pode-se inferir que a redução da porcentagem de brotação e comprimentos dos brotos (Figura 3 e Figura 4) nas raízes tratadas com MeJa ocorreu em virtude do aumento de substrato respiratório (NAWAZ et al., 2017).

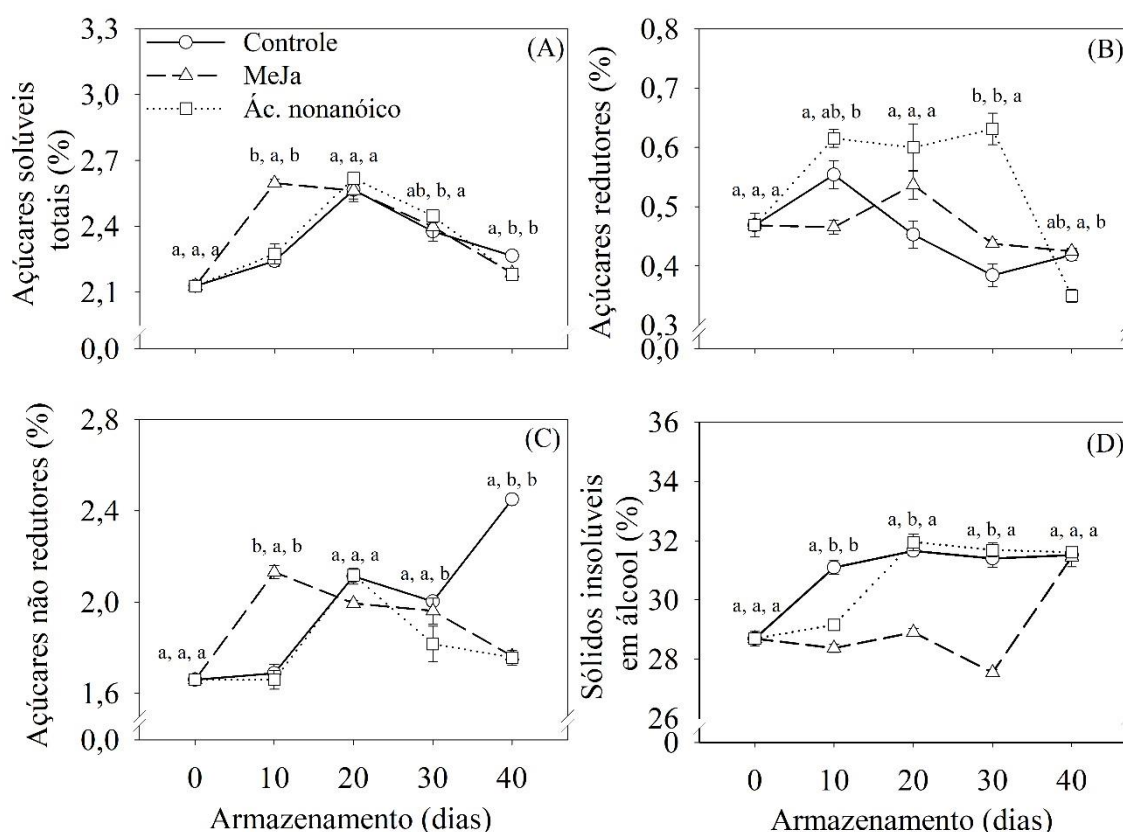


Figura 5: Açúcares solúveis totais (A), redutores (B), não-redutores (C) e sólidos insolúveis em álcool (D) de raízes de batata-doce cv. BRS Cuia durante armazenamento por 40 dias em função da aplicação de supressores de brotação (controle, $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato (MeJa) e 100 ppm de ácido nonanóico). Os dados representam a média \pm desvio padrão ($n = 5$). Letras minúsculas indicam diferenças entre os tratamentos em cada período de armazenamento, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Independente dos tratamentos utilizados, a coloração dos *chips* de batatas-doces não diferiu no início do armazenamento. Os *chips* do controle e tratamento com ácido nonanóico aos 20 e 40 dias apresentaram coloração mais escura (Figura 6), e, conseqüentemente notas superiores (Figura 7), indicando redução na qualidade de processamento de fritura. Os *chips* do tratamento MeJa exibiram coloração mais clara em comparação aos outros tratamentos, e, dessa forma mostraram notas de coloração inferiores (Figura 7).

O escurecimento dos *chips* de batata-doce do tratamento controle e ácido nonanóico se deve ao acúmulo de açúcares redutores, aos quais reduzem a qualidade de fritura. Além disso, a incidência de brotação pode ter promovido o acúmulo de açúcares solúveis e incremento na atividade das enzimas oxidativas (Figuras 6 e 6B), fato observado no presente trabalho que o percentual de brotação e comprimento dos brotos foram maiores nas raízes do tratamento

controle e ácido nonanoico (Figura 3A e 3B) (MCKENZIE et al., 2013; ABBASI et al., 2015). Os *chips* do tratamento MeJa apresentaram coloração clara, em virtude do menor teor de açúcares redutores (Figura 4B) durante o armazenamento, bem como da redução do percentual de brotação e comprimento de brotos (Figura 3A e 3B), evidenciando que o MeJa atua eficientemente no controle de brotação de raízes de batata-doce, e conseqüentemente na manutenção da qualidade de *chips* após a fritura.

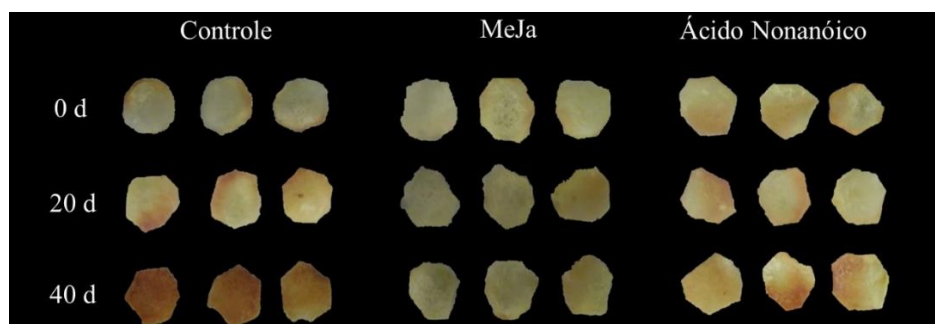


Figura 6: Análise visual da coloração dos *chips* de batata-doce cv. BRS Cuia antes e após o armazenamento em função da aplicação de supressores de brotação (controle (sem tratamento), 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato e 100 ppm de ácido nonanoico).

A coloração dos *chips* é um dos fatores mais importantes para a avaliação da qualidade e aceitação do produto final pelos consumidores, uma vez que *chips* mais escuros recebem baixa aceitação devido a presença de sabor desagradável e baixa qualidade visual. Os *chips* com coloração escura podem indicar que altos teores de açúcares redutores induziram o escurecimento não enzimático (ARAÚJO et al., 2016; KUMAR et al., 2004) pela reação de Maillard, em que os açúcares redutores reagem com aminoácidos livres, promovendo a formação de compostos escuros (MCKENZIE et al., 2013).

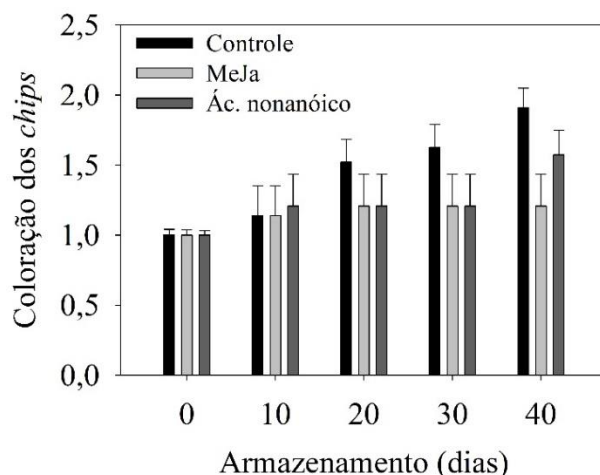


Figura 7: Médias da coloração dos *chips* de batata-doce cv. BRS Cuia durante armazenamento por 40 dias em função da aplicação de supressores de brotação (controle (sem tratamento), 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato e 100 ppm de ácido nonanóico). Os dados representam a média \pm desvio padrão ($n = 5$). Letras minúsculas indicam diferenças entre os tratamentos em cada período de armazenamento, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As atividades de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) aumentaram durante o armazenamento para todos tratamentos (Figuras 5A e 5B). Contudo, as raízes tratadas com MeJa tiveram a atividade da POD reduzida até os 30 dias. Porém as raízes do ácido nonanóico obtiveram a maior atividade da POD, com $9,48 \text{ UA min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ proteína (Figura 8A). A atividade da PPO aumentou em todos os tratamentos estudados ao longo do armazenamento, porém as raízes do controle e ácido nonanóico apresentaram superioridade (Figura 8B). Esses acréscimos podem ser atribuídos a reações de biodegradação relacionadas aos processos de senescência e deterioração das raízes da batata-doce (TANG et al., 2014; LIMA et al, 2019).

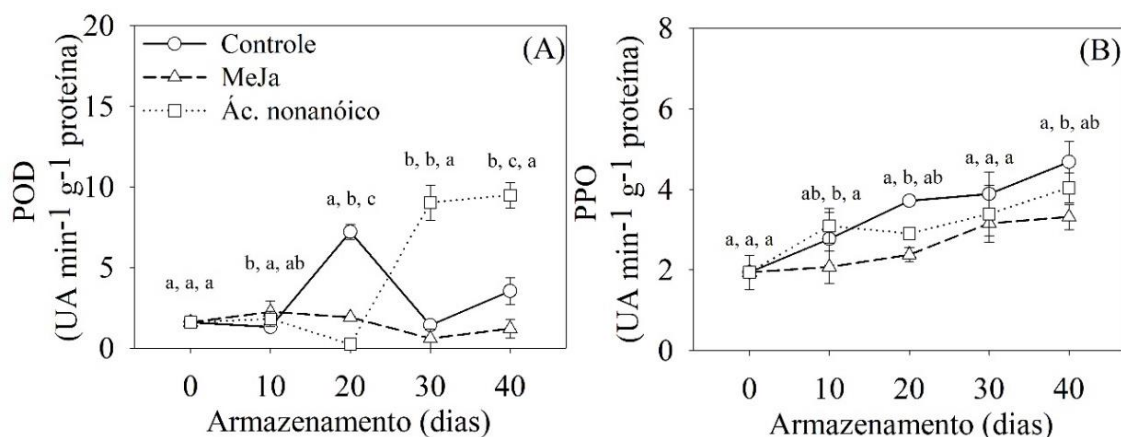


Figura 8: Atividade da peroxidase (A) e da polifenoloxidase (B) em raízes de batata-doce cv. BRS Cuia durante armazenamento por 40 dias em função da aplicação de supressores de

brotação (controle (sem tratamento), 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato e 100 ppm de ácido nonanoico). Os dados representam a média \pm desvio padrão (n = 5). Letras minúsculas indicam diferenças entre os tratamentos em cada período de armazenamento, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

A aplicação do metil jasmonato (MeJa) reduziu a incidência de brotação e manteve a qualidade metabólica das raízes durante o armazenamento em temperatura ambiente, prolongando a vida útil e potencial de comercialização de raízes de batata-doce. Além de que o tratamento com MeJa mostrou menores médias de coloração dos *chips* de batata-doce após fritura, mostrando melhor qualidade de processamento que os demais tratamentos.

REFERÊNCIAS

ABBASI, K. S.; MASUD, T.; ALI, S.; KHAN, S. U.; MAHMOOD, T.; QAYYUM, A. Sugar-starch metabolism and antioxidant potential in potato tubers in response to different antisprouting agents during storage. **Potato Research**, v. 58, n. 4, p. 361-375, 2015.

ALLAH, M. S. D; EL-ADGHAM, F. I.; EL-ARABY, S. M.; GHONEIM, I. M. Influence of jasmonic acid and chlorpropham treatments on sprouting, quality and storability of potato tubers during cold storage. **Alexandria Journal of Agricultural Sciences**, v. 63, n. 5, p. 303-311, 2018.

ARAÚJO, N. O.; VÉRAS, M. L. M.; SANTOS, M. N. S.; ARAÚJO, F. F.; TELLO, J. P. J.; FINGER, F. L. Sucrose degradation pathways in cold-induced sweetening and its impact on the non-enzymatic darkening in sweet potato root. **Food Chemistry**, v. 312, p. 1-8, 2020.

ARAÚJO, T. H.; PÁDUA, J. G.; SPOTO, M. H.; ORTIZ, V. D.; MARGOSSIAN, P. L.; DIAS, C. T.; MELO, P. C. Productivity and quality of potato cultivars for processing as shoestrings and chips. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 554-560, 2016.

BONTE, D. R. L.; PICHA, D. H. Carbohydrate-related changes in sweetpotato storage roots during development. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 125, n. 2, p. 200-204, 2000.

CHEEMA, M.U.A.; REESA, D.; COLGANA, R.J.; TAYLORB, M.; WESTBYA, A. The effects of ethylene, 1-MCP and AVG on sprouting in sweetpotato roots. **Postharvest Biology and Technology**, v.85, p. 89–93, 2013.

CIRIMINNA, R.; FIDALGO, A.; ILHARCO, L. M. PAGLIARO, M. Herbicides based on pelargonic acid: Herbicides of the bioeconomy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 6, p. 1476-1482, 2019.

EL-SAYED, S. F.; EL-HELALY, M. A.; EMAM, M. S.; ABDEL-GHAFFAR, M. A. Effect of some post-cold storage treatments on shelf life of sweet potato roots. **International Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants**, v. 5, p. 160-170, 2013.

FINGER, F. L.; SANTOS, M. M. D. S.; ARAUJO, F. F.; LIMA, P. C. C.; COSTA, L. C. D.; FRANÇA, C. D. F. M.; QUEIROZ, M. D. C. Action of Essential Oils on Sprouting of Non-Dormant Potato Tubers. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, p. 2 -11, 2018.

FOUKARAKI, S. G.; COOLS, K.; CHOPE, G. A.; TERRY, L. A. Impact of ethylene and 1-MCP on sprouting and sugar accumulation in stored potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 114, p. 95-103, 2016.

HAJIREZAEI, M. R.; BOÈRNKE, F.; PEISKER, M.; TAKAHATA, Y.; LERCHL, J.; KIRAKOSYAN, A.; SONNEWALD, U. Decreased sucrose content triggers starch breakdown and respiration in stored potato tubers (*Solanum tuberosum*). **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 382, p. 477-488, 2003.

HE, Y.; FUKUSHIGE, H.; HILDEBRAND, D. F.; GAN, S. Evidence supporting a role of jasmonic acid in Arabidopsis leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 128, n. 3, p. 876-884, 2002.

HU, X.; KUANG, S.; ZHANG, A. D.; ZHANG, W. S.; CHEN, M. J.; YIN, X. R.; CHEN, K. S. Characterization of starch degradation related genes in postharvest kiwifruit. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 12, p. 2112, 2016.

JIA, B.; XU, L.; GUAN, W.; LIN, Q.; BRENNAN, C.; YAN, R.; ZHAO, H. Effect of citronella essential oil fumigation on sprout suppression and quality of potato tubers during storage. **Food chemistry**, v. 284, p. 254-258, 2019.

KUMAR, D.; SINGH, B. P.; KUMAR, P. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. **Annals of Applied Biology**, v. 145, n. 3, p. 247-256, 2004.

LEE, B. H.; LEE, Y. T. Physicochemical and structural properties of different colored sweet potato starches. **Starch-Stärke**, v. 69, n. 3-4, p. 1600001, 2017.

LEDERER, B.; FUJIMORI, T.; TSUJINO, Y.; WAKABAYASHI, K.; AND BÖGER, P. Phytotoxic activity of middle-chain fatty acids II: peroxidation and membrane effects. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 80, n. 3, p. 151-156, 2004.

LI, X.; YANG, H.; LU, G. Low-temperature conditioning combined with cold storage inducing rapid sweetening of sweetpotato tuberous roots (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) while inhibiting chilling injury. **Postharvest Biology and Technology**, v. 142, p. 1-9, 2018.

LIMA, P. C. C.; SANTOS, M. N. S.; ARAÚJO, F. F.; TELLO, J. P. J.; FINGER, F. L. Sprouting and metabolism of sweet potatoes roots cv. BRS Rubissol during storage. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.3, p. 1-8, 2019.

LOEBENSTEIN, G. Sweet potato, a research neglected important food crop, regarding virus research and propagation systems: A review. **Austin Journal of Plant Biology**, v. 2, n. 1, p. 1-4, 2016.

LULAI, E.C.; ORR, P.H.; GLYNN, M.T. **Natural suppression of sprouting in stored potatoes using jasmonates**. U.S. Patent, 5, 436, 226 issued 25 de julho de 1995.

MADONNA, M.; CALEB, O. J.; SIVAKUMAR, D.; MAHAJAN, P. V. Understanding the physiological response of fresh-cut cauliflower for developing a suitable packaging system. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 17, p. 179-186, 2018.

MANI, F.; BETTAIEB, T.; DOUDECH, N.; HANNACHI, C. Physiological mechanisms for potato dormancy release and sprouting: a review. **African Crop Science Journal**, v. 22, n. 2, p. 155-174, 2014.

MCKENZIE, M. J.; CHEN, R. K. Y.; HARRIS, J. C.; ASHWORTH, M. J.; BRUMMELL, D. A. Post-translational regulation of acid invertase activity by vacuolar invertase inhibitor affects resistance to cold-induced sweetening of potato tubers. **Plant, cell & environment**, v. 36, n. 1, p. 176-185, 2013.

McKENZIE, M. J.; SOWOKINOS, J. R.; SHEA, I. M.; GUPTA, S. K.; LINDLAUF, R. R.; ANDERSON, J. A. Investigations on the role of acid invertase and UDP-glucose pyrophosphorylase in potato clones with varying resistance to cold-induced sweetening. **American Journal of Potato Research**, v. 82, n. 3, p. 231-239, 2005.

NAWAZ, A.; SHETEIWY, M. S.; KHAN, S. M.; BUKHARI, S. A. H.; DAWOOD, M.; GUAN, Y.; HU, J. Exploring the Mechanism of Exogenous Applied Methyl Jasmonate for Germination Inhibition in Hybrid Rice. **Pakistan Journal of Life & Social Sciences**, v. 15, n. 1, 2017.

PIRBALOUTI, A. G.; SAJJADI, S. E.; PARANG, K. A review (research and patents) on jasmonic acid and its derivatives. **Archiv der Pharmazie**, v. 347, n. 4, p. 229-239, 2014.

PLATONOVA, T. A.; EVSYUNINA, A. S.; KORABLEVA, N. P. Changes in the plastid apparatus of apical meristem cells of potato tubers upon growth regulation with jasmonic acid. **Applied biochemistry and microbiology**, v. 46, n. 3, p. 352-358, 2010.

PLATONOVA, T. A.; KORABLEVA, N. T. Changes in the Ultrastructure of Apical Meristem Cells in Potato during Transition from Dormancy to Growth. **Prikl. Biokhim. Mikrobiol**, v. 28, p. 760-770, 1992.

SAYYARI, M.; BABALAR, M.; KALANTARI, S.; MARTÍNEZ-ROMERO, D.; GUILLÉN, F.; SERRANO, M.; VALERO, D. Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. **Food Chemistry**, v. 124, n. 3, p. 964-970, 2011.

SMITH, A. M.; ZEEMAN, S. C.; SMITH, S. M. Starch degradation. **Annual Review Plant Biology**, v. 56, p. 73-98, 2005.

SUGRI, I.; MAALEKUU, B. K.; KUSI, F.; GAVEH, E. Quality and shelf-life of sweet potato as influenced by storage and postharvest treatments. **Trends in Horticultural Research**, v. 7, p. 1-10, 2017.

TANG, J.; HU, K.D.; HU, L.Y.; LI, Y.H.; LIU, Y.S.; ZHANG, H. Hydrogen Sulfide acts as a fungicide to alleviate senescence and decay in fresh-cut sweet potato. **HortScience**, v. 49, n. 7, p. 938-943, 2014.

TEPER-BAMNOLKER, P.; DUDAI, N.; FISCHER, R.; BELAUSOV, E.; ZEMACH, H.; SHOSEYOV, O.; ESHEL, D. Mint essential oil can induce or inhibit potato sprouting by differential alteration of apical meristem. **Planta**, v. 232, n. 1, p. 179-186, 2010.

VAN DE POEL, B.; SMET, D.; VAN DER STRAETEN, D. Ethylene and hormonal cross talk in vegetative growth and development. **Plant Physiology**, v.169, n.1, p.61–72, 2015.

WANG, C. Y. Methyl jasmonate inhibits postharvest sprouting and improves storage quality of radishes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 14, n. 2, p. 179-183, 1998.

WASTERACK, C. Jasmonates: an update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. **Annals of Botany**, v. 100, n. 4, p. 681-697, 2007.

WU, Q.; QU, H.; JIA, J.; KUANG, C.; WEN, Y.; YAN, H., GUI, Z. Characterization, antioxidant and antitumor activities of polysaccharides from purple sweet potato. **Carbohydrate Polymers**, v. 132, p. 31-40, 2015.

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos sugerem que o armazenamento de raízes de batata-doce a 6 °C e o condicionamento induzem injúria por frio nas duas cultivares (BRS Cuia e BRS Rubissol) de batata-doce, promovendo maior extravasamento de eletrólitos e teor de MDA e acúmulo de açúcares redutores e escurecimento de *chips* pela reação de Maillard. Entretanto, a cv. BRS Rubissol apresentou características de maior tolerância comparado com a cv. BRS Cuia, com ausência de escurecimento e baixo índice de injúria por frio. Além disso, o prolongamento do período de armazenamento nestas temperaturas induziu a perda da gradual da atividade das enzimas eliminadoras de ERO's. Este estudo mostrou que o condicionamento não foi eficaz em aumentar a tolerância à injúria por frio em raízes de batata-doce.

Outrossim, o tratamento com metil jasmonato reduziu o surgimento de brotações e manteve a qualidade das raízes durante o armazenamento em temperatura ambiente, prolongando a vida útil e potencial de comercialização de raízes de batata-doce. A qualidade dos *chips* após a fritura das batatas-doces que receberam o tratamento de metil jasmonato foi maior que nas batatas-doces dos demais tratamentos. Entretanto, o tratamento com ácido nonanóico não suprimiu a brotação das raízes, e conseqüentemente os *chips* apresentaram coloração escura.