

JEAN PAULO DE JESUS TELLO

**ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS DE BATATA-DOCE APÓS O
ARMAZENAMENTO REFRIGERADO**

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

Coorientadora: Fernanda Ferreira de Araújo

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

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

T

T274a Tello, Jean Paulo de Jesus, 1986-
2020 Alterações bioquímicas de batata-doce após o
armazenamento refrigerado / Jean Paulo de Jesus Tello. –
Viçosa, MG, 2020.
48 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Fernando Luiz Finger.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Enzimas. 2. Stress oxidativo. 3. Açúcares redutores.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 572.7

JEAN PAULO DE JESUS TELLO

**ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS DE BATATA-DOCE APÓS O
ARMAZENAMENTO REFRIGERADO**

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*.

APROVADO: 03 de março de 2020.

Assentimento:



Jean Paulo de Jesus Tello
Autor



Fernando Luiz Finger
Orientador

A Deus.

Aos meus pais, Eduardo e Maria Teresa.

Aos meus avos, Rita e Vicente (*in memoriam*).

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa – UFV e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa durante o curso de doutorado.

A minha família, em quem busco motivação para crescer cada vez mais, e assim retribuí-los.

Ao professor e orientador Fernando Luiz Finger, pela paciência, orientação e ensinamentos.

A minha coorientadora Fernanda Ferreira de Araújo pelas horas de dedicação e paciência nos ensinamentos.

Aos funcionários do Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita, Geraldo e José Maurício pelo auxílio durante a condução dos trabalhos. Da mesma maneira, aos funcionários da Horta Nova, pela colaboração nas atividades de campo.

Aos amigos e colegas com quem tive contato no Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita durante o decorrer do curso, em especial com aqueles de maior convivência e parceria, Mirelle, Paulinha, Marília, Nicolás, Marcelo, Mário, Rafaela e Karol.

RESUMO

TELLO, Jean Paulo de Jesus, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2020. **Alterações bioquímicas de batata-doce após o armazenamento refrigerado.** Orientador: Fernando Luiz Finger. Coorientadora: Fernanda Ferreira de Araújo.

O armazenamento de batata-doce em baixas temperaturas podem induzir injúria por frio e, conseqüentemente provocar o adoçamento induzido pelo frio. Este distúrbio influencia no escurecimento dos *chips*, causando prejuízos a cadeia de comercialização e subprodutos. O presente estudo teve o objetivo de avaliar as alterações bioquímicas de duas cultivares brasileiras de batata-doce após o armazenamento a baixas temperaturas. Foram utilizadas raízes das cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol armazenadas a 6 e 13 °C por 50 dias, seguido de 4 dias de exposição a temperatura ambiente (21 ± 2 °C). Ao longo dos 50 dias de armazenamento a 6 °C e 4 dias de acondicionamento ambiente, a cultivar BRS Rubissol obteve maior perda de massa fresca e esta esteve associada ao alto percentual de redução de amido (sólidos insolúveis em álcool) consumido pela respiração e transformado em açúcares redutores. Os açúcares solúveis totais da cultivar BRS Amélia armazenada a 6 °C foi maior que na temperatura de 13 °C, assim como os açúcares não redutores. Apesar das diferenças no teor de açúcares entre as cultivares, a escala de notas mostrou que o escurecimento dos *chips* foi semelhante. O índice de injúria por frio da região externa da batata-doce foi mais precoce na cultivar BRS Amélia 6 °C e mais tardio e semelhante entre as cultivares armazenadas a 6 °C, na região interna. A cultivar BRS Amélia teve maior conteúdo de prolina e teor de extravasamento de eletrólitos quando armazenadas a 6 °C por 50 dias. A atividade da ascorbato peroxidase foi induzida pelo armazenamento a 6 °C a partir dos 30 dias na ‘BRS Amélia’ e 40 dias em ‘BRS Rubissol’. O conteúdo de malondialdeído e compostos fenólicos totais na cultivar BRS Rubissol foram influenciados pelo armazenamento a 6 °C. Na ‘BRS Rubissol’ as raízes armazenadas a 6 °C tiveram pico de atividade da peroxidase precoce em relação a ‘BRS Amélia’, enquanto a polifenoloxidase foi superior 2,4 vezes se comparado com 13 °C. O armazenamento a 6 °C das cultivares de batata-doce BRS Amélia e BRS Rubissol teve efeitos depreciativos no processamento de *chips* a partir dos 30 dias e 4 dias de exposição ambiente, provocados pelas alterações do metabolismo dos carboidratos.

Palavras-chave: Enzimas. Stress oxidativo. Açúcares redutores. Recondicionamento. *Ipomoea batatas* L.

ABSTRACT

TELLO, Jean Paulo de Jesus, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2020. **Biochemical changes of sweet potatoes after storage at low temperatures.** Adviser: Fernando Luiz Finger. Co-adviser: Fernanda Ferreira de Araújo.

The storage of sweet potato at low temperatures induces chilling injury and consequently causes cold-induced sweetening. This disturbance influences the darkening of the chips, causing damage to the marketing chain and byproducts. The present study aimed to evaluate the biochemical alterations of two Brazilian sweet potato cultivars after storage at low temperatures. The cultivars BRS Amélia and BRS Rubissol were stored at 6 and 13 °C for 50 days followed by 4 days at room temperature (21 ± 2 °C). During the 50 days of storage at 6 °C and 4 days of reconditioning, BRS Rubissol presented the highest loss of fresh mass, which was associated with the high percentage of starch reduction (alcohol-insoluble solids) consumed by respiration and transformed into reducing sugars. The total soluble sugars content of BRS Amélia cultivar stored at 6 °C was higher than of the roots at 13 °C, as well as the non-reducing sugars. Despite the differences in sugar content between the cultivars, the scale of chips darkening was similar. The chilling injury index in the outer region of the sweet potato showed precocity in the cultivar BRS Amélia at 6 °C and was late and similar between the cultivars stored at 6 °C, in the internal region. The cultivar BRS Amélia had higher proline content and electrolyte leakage when stored at 6 °C for 50 days. Ascorbate peroxidase activity was induced by storage at 6 °C after 30 days in BRS Amélia and 40 days in BRS Rubissol. The malondialdehyde content and total phenolic compounds in the cultivar BRS Rubissol were influenced by storage at 6 °C. BRS Rubissol roots stored at 6 °C had an early peroxidase activity peak in relation to BRS Amélia, while polyphenoloxidase was 2.4 times higher compared to 13 °C. The storage of the sweet potato cultivars BRS Amélia and BRS Rubissol at 6 °C had a depreciating effect on the processing of chips after 30 days and 4 days of environmental exposure, provoked by alterations in the carbohydrates metabolism.

Keywords: Enzymes. Oxidative stress. Reducing sugars. Reconditioning. *Ipomoea batatas* L.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
OBJETIVOS	11
Objetivos Geral	11
Objetivos Específicos.....	11
REFERÊNCIAS	12
ARTIGO I: Metabolismo de carboidratos em raízes de batata-doce destinadas ao processamento de <i>chips</i> após o armazenamento refrigerado	15
Resumo	15
Abstract.....	15
Introdução	16
Material e Métodos	17
Material vegetal e tratamentos	17
Perda de massa fresca acumulada	18
Análise de carboidratos e sólidos insolúveis em álcool.....	18
Níveis de escurecimento dos <i>chips</i>	18
Análise estatística.....	19
Resultados e Discussão	19
Perda de massa fresca acumulada	19
Teores de carboidratos e sólidos insolúveis em álcool	20
Níveis de escurecimento dos <i>chips</i> de batata-doce pós-injúria.....	25
Conclusão.....	26
Referências.....	26
ARTIGO II: Respostas a injúria por frio de raízes de batata-doce após armazenamento refrigerado	31
Resumo	31
Abstract.....	31
Introdução	32
Material e Métodos	33
Material vegetal e tratamentos	33
Avaliação do índice de injúria por frio	34
Análise de compostos fenólicos totais	34
Determinação do conteúdo de prolina.....	34

Conteúdo de malondialdeído (MDA).....	35
Medição de extravasamento de eletrólitos	35
Análises enzimáticas	35
<i>Peroxidase (POD)</i>	35
<i>Ascorbato Peroxidase (APX)</i>	36
<i>Polifenoloxidase (PPO)</i>	36
Análise estatística.....	36
Resultados e Discussão	37
Índice de injúria por frio	37
Conteúdo de compostos fenólicos totais	38
Conteúdo de prolina	39
Conteúdo de MDA e extravasamento de eletrólitos	41
Peroxidase, polifeoloxidase e ascorbato peroxidase	42
Conclusão.....	44
Referências.....	44
CONCLUSÃO GERAL	48

INTRODUÇÃO GERAL

Originária da América do Sul, a batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma espécie perene e adaptada a diversas condições climáticas em todo o mundo (SHETH *et al.*, 2017). Suas raízes constituem de excelente fonte de energia e baixo índice glicêmico (CORDEIRO *et al.*, 2013), além de possuir fibra dietética, minerais, vitaminas, carotenoides, antocianinas e antioxidantes (MUSILOVÁ *et al.*, 2017). Devido a seus benefícios nutricionais a cultura obtém a terceira colocação em volume de produção entre raízes e tuberosas, e é considerado um produto de segurança alimentar (FIRON *et al.*, 2013; VARGAS *et al.*, 2017; FAOSTAT, 2019).

Em meia década, a produção brasileira de batata-doce aumentou exponencialmente e os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Bahia e Paraná concentram a maior parte da produção (IBGE, 2018). Além do consumo não industrializado o mercado de batata-doce na forma industrializada vem ganhando vários adeptos ao consumo, principalmente do tipo *chips* (CAETANO *et al.*, 2018). O baixo teor de umidade, maior crocância e principalmente coloração clara são algumas das características que os *chips* devem apresentar (TIMALSINA *et al.*, 2019). A cor é um dos parâmetros de qualidade mais importantes e está relacionado intimamente a percepção do consumidor (SEGNINI *et al.*, 1999).

Na cadeia de comercialização o fator mais importante para a manutenção da qualidade da batata-doce é o armazenamento em ambiente adequado. O armazenamento é realizado afim de manter a qualidade da raiz e ter a disposição o produto ao longo do ano, reduzindo doenças e distúrbios fisiológicos (CHAKRABORTY *et al.*, 2017). Sob temperatura ambiente a vida pós-colheita da batata-doce é curta, entre duas a quatro semanas (SUGRI *et al.*, 2017). Nessas condições, os efeitos envolvendo a respiração, perda de massa, brotação e infecção por patógenos podem se acentuar. Dessa forma, o armazenamento refrigerado pode ser uma ferramenta que pode prolongar a vida pós-colheita da cultura (PATHIRANA, 2008; SUGRI *et al.*, 2017).

Apesar dos benefícios do armazenamento refrigerado, temperaturas acima 13 °C induzem a brotação. Por outro lado, abaixo dessa temperatura podem ocasionar o surgimento do distúrbio fisiológico conhecido como injúria por frio ou *chilling injury* (PICHA, 1987; JACKMAN *et al.*, 1988; JI *et al.*, 2017; VITHU *et al.*, 2019). A injúria por frio envolve diversas alterações fisiológicas, com sintomas característicos e conhecidos em frutas e hortaliças durante ou após o armazenamento abaixo da temperatura crítica (RAISON, LYONS, 1986; VALENZUELA *et al.*, 2017). Os sintomas de algumas espécies sensíveis ao frio geralmente são semelhantes quando armazenadas sob temperaturas abaixo do limiar (LYONS, 1973). Uma

das alterações comuns da injúria por frio são manchas e depressões escurecidas na superfície externa do produto (LI *et al.*, 2018). No entanto, os sintomas também podem ser aparentes após serem removidos do ambiente refrigerado ou visíveis apenas no interior do produto (HEYES, 2018).

Outra limitação em raízes tuberosas influenciada por temperaturas abaixo de 8-10 °C é o distúrbio conhecido como adoçamento induzido pelo frio (LI *et al.*, 2018). O adoçamento é resultado do desbalanceamento entre a quebra do amido e a hidrólise da sacarose, resultando em acúmulo dos açúcares redutores glicose e frutose (McKENZIE *et al.*, 2013). Altos níveis de açúcares redutores causam efeito negativo na qualidade dos *chips* de batata-doce devido a reação com aminoácidos livres que interagem na reação não enzimática de Maillard, produzindo produtos de pigmentação escura e sabor intragável, o que reduz a aceitação por parte do consumidor (BHASKAR *et al.*, 2010; WIBERLEY-BRADFORD *et al.*, 2014). O sabor intragável é o resultado do acúmulo de acrilamida, substância considerada neorotóxica e cancerígena se consumida em altas concentrações (TAREKE *et al.* 2002).

Pesquisas anteriores descobriram que baixas temperaturas alteram também outras estruturas bioquímicas e fisiológicas em batata-doce, entre elas a conformação dos lipídios de membrana (YAMAKI, URITANI, 1972; XIE *et al.*, 2017). Esta alteração reduz a fluidez e permeabilidade da membrana plasmática e, conseqüentemente a produção de espécies reativas de oxigênio e intensificando o estresse oxidativo (JI *et al.*, 2017). O estresse oxidativo influencia o aspecto visual do produto *in natura* e está associado às enzimas peroxidase – POD e polifenoloxidase – PPO (MENOLLI *et al.*, 2008). Na presença de peróxido de hidrogênio a POD é capaz de catalisar a oxidação de compostos fenólicos (MENOLLI *et al.*, 2011; RAIMBAULT *et al.*, 2011), entretanto os resultados desta oxidação são polímeros de cor marrom (TREJO-MÁRQUEZ *et al.*, 2010). Por sua vez, a PPO utiliza oxigênio na oxidação de compostos fenólicos, e o produto são quinonas que participam na formação de melanoidinas, caracterizada pela cor marrom (LIMA *et al.*, 2002).

Alguns trabalhos recentes sobre a influência do armazenamento refrigerado em batata-doce foram realizados afim de determinar a temperatura ideal de armazenamento (JI *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2019; XIE *et al.*, 2019). Contudo, a temperatura de armazenamento e conseqüentemente as respostas sobre o mesmo vai depender da cultivar utilizada. No Brasil, o armazenamento de batata-doce a baixas temperaturas tem sido pouco estudado, assim como os efeitos do acondicionamento a temperatura ambiente e cultivares brasileiras como a BRS Amélia e BRS Rubissol.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Investigar as alterações bioquímicas em raízes de duas cultivares brasileiras de batata-doce após o armazenamento em baixas temperaturas.

Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do armazenamento refrigerado sobre o metabolismo de carboidratos em raízes de batata-doce destinadas ao processamento de *chips*.
- Estudar as respostas a injúria por frio das cultivares de batata-doce BRS Amélia e BRS Rubissol após o armazenamento das raízes sob baixa temperatura.

REFERÊNCIAS

- BHASKAR, P. B., WU, L., BUSSE, J. S., WHITTY, B. R., HAMERNIK, A. J., JANSKY, H., BUELL, C. R., BETHKE, P. C., JIANG, J. Suppression of the vacuolar invertase gene prevents cold-induced sweetening in potato. **Plant Physiology**, v. 154, n. 2, p. 939-48, 2010.
- CAETANO, P. K., MARIANO-NASSER, F. A. de C., MENDONÇA, V. Z. de, FURLANETO, K. A., DAIUTO, E. R., VIEITES, R. L. Physicochemical and sensory characteristics of sweet potato chips undergoing different cooking methods. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 434-440, 2018.
- 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.
- 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, n. 1, p. 12380-12384, 2013.
- FAOSTAT. Datos sobre alimentación y agricultura. Cultivos 2017. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acessado 05/06/2019.
- FIRON, N., LABONTE, D., VILLORDON, A., KFIR, Y., SOLIS, J., LAPIS, E., PERLMAN, T.S., DORON-FAIGENBOIM, A., HETZRONI, A., ALTHAN, L., NADIR, L. Transcriptional profiling of sweetpotato (*Ipomoea batatas*) roots indicates down-regulation of lignin biosynthesis and up-regulation of starch biosynthesis at an early stage of storage root formation. **BMC Genomics**, v. 14, n. 1, p. 460, 2013.
- HEYES, J. A. Chilling injury in tropical crops after harvest. **Annual Plant Reviews online**, v. 1, n. 1, p. 149-180, 2018.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura temporária. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acessado em 10 de novembro de 2018.
- JACKMAN, R. L., YADA, R. Y., MARANGONI, A., PARKIN, K. L., STANLEY, D. W. Chilling injury. A review of quality aspects. **Journal of Food Quality**, v. 11, n. 4, p. 253-278, 1988.
- 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, n. 1, p. 97-108, 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, n. 1, p. 1-9, 2018.

LIMA, A. L. S., DAMATTA, F. M., PINHEIRO, H. A., 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, n. 1, p. 239-247, 2002.

LYONS, J. M. Chilling injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, n. 1, p. 445-466, 1973.

McKENZIE, M., 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. **Plan, Cell & Environment**, v. 36, n. 1, p. 176-185, 2013.

MENOLLI, L. N., FINGER, F. L., BARBOSA, J. M., CORREIA, T. D., VIEIRA, L. M. Peroxidase activity in roots of arracacha affected by pH and temperature. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 513-518, 2011.

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.

MUSILOVÁ, J., BYSTRICKÁ, J., ÁRVAY, J., HARANGÓZO, L. Polyphenols and phenolic acids in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) roots. **Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences**, v. 11, n. 1, p. 82-87, 2017.

PATHIRANA, R., HARRIS, J. C., McKENZIE, M. J. A. A comparison of microtubers and field-grown tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.) for hexoses, sucrose and their ratios following postharvest cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 180-184, 2008.

PICHA, D. H. Chilling injury, respiration, and sugar changes in sweet potatoes stored at low temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 112, n. 3, p. 497-502, 1987.

RAIMBAULT, A.-K., MARIE-ALPHONSINE, P.-A., HORRY, J.-P., FRANCOIS-HAUGRIN, M., ROMUALD, K., SOLER, A. polyphenol oxidase and peroxidase expression in four pineapple varieties (*Ananas comosus* L.) after a chilling injury. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 342-348, 2011.

RAISON, J. K., LYONS, J. M. Chilling injury a plea for uniform terminology. **Plant, Cell and Environment**, v. 9, n. 1, p. 685-686, 1986.

SEGNINI, S., DEJMEK, P., ÖSTE, R. A low cost video technique for colour measurement of potato chips. **LWT - Food Science and Technology**, v. 32, n. 4, p. 216-222, 1999.

SHETH, S.G., DESAI, K.D., PATIL, S.J., NAVYA, K., CHAUDHARI VIBHUTI, L. Effect of integrated nutrient management on growth, yield and quality of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam]. **International Journal of Chemical Studies**, v. 5, n. 4, p. 346-349, 2017.

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

TAREKE, E., RYDBERG, P., KARLSSON, P., ERIKSSON, S., TÖRNQVIST, M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 17, p. 4998-5006, 2002.

TIMALSINA, P., PRAJAPATI, R., BHAKTARAJ, S., SHRESTHA, R., SHRESTHA, S., MITRA, P. Sweet potato chips development and optimization of chips processing variables. **Open Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 118-128, 2019.

TREJO-MÁRQUEZ, M. A., RAMÍREZ-VILLATORO, G., CAMACHO DE LA ROSA, N. A. Polyphenol oxidase and peroxidase activities in mangoes stored at chilling temperature. **Acta Horticulturae**, n. 864, p. 395-402, 2010.

VALENZUELA, J. L., MANZANO, S., PALMA, F., CARVAJAL, F., GARRIDO, D., JAMILENA, M. Oxidative stress associated with chilling injury in immature fruit: postharvest technological and biotechnological solutions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 7, p. 1-26, 2017.

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.

VITHU, P., DASH, S. K., RAYAGURU, K. Post-harvest processing and utilization of sweet potato: a review. **Food Reviews International**, v. 35, n. 8, p. 726-762, 2019.

WANG, S. Q., TANG, J., HU, K. D., HUANG, Z. Q., YANG, F., ZHANG, H. Y. HU, L. Y., LI, Y. H., YAO, G. F., 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.

WIBERLEY-BRADFORD, A., BUSSE, J. S., JIANG, J., BETHKE, P. C. Sugar metabolism, chip color, invertase activity, and gene expression during long-term cold storage of potato (*Solanum tuberosum*) tubers from wild-type and vacuolar invertase silencing lines of Katahdin. **BMC Research Notes**, v. 7, n. 801, p. 1-10, 2014.

XIE, Z., WANG, A., LI, H., YU, J., JIANG, J., TANG, Z., MA, D., ZHANG, B., HAN, XIE, Z., ZHOU, Z., LI, H., YU, J., JIANG, J., TANG, Z., MA, D., ZHANG, B., HAN, Y., LI, Z. High throughput sequencing identifies chilling responsive genes in sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam.) during storage. **Genomics**, v. 111, n. 5, p. 1006-1017, 2019.

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. 16578, 2017

YAMAKI, S., URITANI, I. Mechanism of chilling injury in sweet potato. Part V: Biochemical mechanism of chilling injury with special reference to mitochondrial lipid components. **Agricultural and Biology Chemistry**, v. 96, n. 1, p. 47-55, 1972.

Metabolismo de carboidratos em raízes de batata-doce destinadas ao processamento de *chips* após o armazenamento refrigerado

Jean Paulo de Jesus Tello^{1*}, Fernanda Ferreira de Araújo¹, Fernando Luiz Finger¹

¹Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia. Av. P.H. Rolfs, Campus Universitário, CEP 36570-900 – Viçosa, MG – Brasil. *jp_jt@hotmail.com

RESUMO

O *chips* de batata-doce vem ganhando adeptos ao consumo e a cor é um dos parâmetros de qualidade. O escurecimento dos *chips* está associado ao acúmulo de açúcares, distúrbio fisiológico denominado adoçamento induzido pelo frio (AIF). O objetivo foi avaliar o efeito do armazenamento refrigerado sobre o metabolismo de carboidratos em raízes de batata-doce destinadas ao processamento de *chips*. Foram utilizadas as cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol armazenadas a 6 e 13 °C por 0, 10, 20, 30, 40 e 50 dias e 4 dias de acondicionamento ambiente (21 ± 2 °C). Ao longo dos 50 dias de armazenamento a 6 °C e 4 dias de acondicionamento ambiente, a cultivar BRS Rubissol teve 11,33% de perda de massa fresca. Esta redução pode estar associada a quebra de amido, representado pelos sólidos insolúveis em álcool que teve diminuição de 10,78%. O acúmulo de açúcares redutores foi de 9,9 vezes maior na temperatura de 6 °C. Os açúcares solúveis totais em raízes da cultivar BRS Amélia armazenada a 6 °C foi 1,87 vezes maior que a 13 °C, e os açúcares não redutores foi superior em 1,6 vezes. Apesar das diferenças no teor de açúcares entre as cultivares, o escurecimento dos *chips* foi semelhante. Dessa forma, conclui-se que o armazenamento a 6 °C durante 50 dias e 4 dias de acondicionamento ambiente, influenciou o metabolismo de carboidrato nas cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol, mostrando-se suscetível ao AIF, provocando o escurecimento dos *chips* a partir dos 30 dias de armazenamento.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* L. Injúria por frio. Escurecimento não enzimático. Açúcares redutores.

ABSTRACT

Carbohydrate metabolism in sweet potato roots for chip processing after cold storage

Sweet potato chips have been gaining in popularity in the last years and color is one of the quality parameters in the consumers perception. The darkening of the chips is associated with the accumulation of sugars, a physiological disorder called cold-induced sweetening (AIF). The objective was to evaluate the effect of cold storage on the carbohydrate metabolism of sweet potato roots intended for chip processing. The cultivars BRS Amélia and BRS Rubissol were stored at 6 and 13 °C for 0, 10, 20, 30, 40 and 50 days, followed by 4 days of environmental reconditioning (21 ± 2 °C). During the 50 days of storage at 6 °C and 4 days of environment reconditioning, the cultivar BRS Rubissol had 11.33% of fresh weight loss. This reduction may be associated with the breakdown of starch, represented by alcohol-insoluble solids, which decreased by 10.78%. The accumulation of reducing sugar was 9.9 times higher at 6 °C. The total soluble sugars content of BRS Amélia stored at 6 °C was 1.87 times higher than at 13 °C, as well as the non-reducing sugars, which was 1.6 times higher. Despite the differences in sugar content between the cultivars, the darkening degree of the chips was similar. Thus, it is concluded that storage at 6 °C for 50 days followed by 4 days of environmental reconditioning, influenced the carbohydrate metabolism of BRS Amélia and BRS Rubissol cultivars, being susceptible to AIF, causing the chips to darken after 30 days of storage.

Keywords: *Ipomoea batatas* L. Chilling injury. Non-enzymatic browning. Reducing sugars.

INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma excelente fonte de carboidratos, podendo ser consumida na forma processada e não processada. Na forma processada, o tipo *chips* vem ganhando vários adeptos ao consumo (CAETANO *et al.*, 2018). Os *chips* devem apresentar características de baixo teor de umidade, crocância e principalmente coloração clara (TIMALSINA *et al.*, 2019). A cor é um dos parâmetros de qualidade fundamentais e está relacionado intimamente a percepção do consumidor (SEGNINI *et al.*, 1999).

A coloração e qualidade dos *chips* é influenciada pelas condições de armazenamento, e este é uma prática essencial para aumentar a disponibilidade de batata-doce ao longo do ano (CHAKRABORTY *et al.*, 2017). Sob temperatura ambiente a vida pós-colheita da batata-doce é curta, variando de duas a quatro semanas (SUGRI *et al.*, 2017), tornando-se assim, fundamental o armazenamento refrigerado. A temperatura ótima de armazenamento das batatas-doces está entre 13 e 16 °C (WOOLFE, 1992). O armazenamento em temperaturas

inferiores proporcionam o adoçamento induzido pelo frio (AIF) e, conseqüentemente *chips* mais escuros (PICHA, 1986; JI *et al.*, 2017).

Esse adoçamento ocorre em alimentos com elevado teor de amido como a raiz de batata-doce e varia de acordo com a cultivar, época de cultivo, colheita e forma de armazenamento, ocorrendo a transformação do amido em açúcares livres (AFFLECK *et al.*, 2012; TRUONG *et al.* 2014). Dentre esses açúcares, a sacarose (açúcar não redutor) é metabolizada a partir das enzimas invertases e sacarose síntese (HUANG *et al.*, 1999). A sacarose sintase converte a sacarose em UDP-glicose e frutose, e a invertase ácida em glicose e frutose, ambos açúcares redutores (ROITSCH, GONZALES, 2004). Durante as altas temperaturas de fritura (maiores que 180 °C), esses açúcares redutores ao reagirem com asparagina na reação não enzimática de Maillard formam as melanoidinas, que são responsáveis pela coloração escura dos *chips* e a acrilamida que se consumida em altas concentrações pode ser considerada neurotóxica e cancerígena (TAREKE *et al.* 2002; WIBERLEY-BRADFORD *et al.*, 2014; BASTOS, GUGLIUCCI, 2015).

Para minimizar o escurecimento de *chips* de tubérculos e raízes alguns pesquisadores estudaram alternativas para reduzir o AIF no produto *in natura* (MULLA *et al.*, 2011; CHEEMA *et al.*, 2013, DI FRANCESCO *et al.*, 2019), no entanto, o armazenamento refrigerado ainda é considerado o método de conservação pós-colheita mais simples e econômico. Dessa forma, vários estudos com armazenamento refrigerado de batata-doce foram realizados afim de determinar a temperatura para determinadas cultivares (HUANG *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2019).

Apesar de existir na literatura estudos com armazenamento refrigerado de batata-doce, as informações sobre o metabolismo de carboidratos após o armazenamento refrigerado e, principalmente sobre cultivares brasileiras como a BRS Amélia e BRS Rubissol são escassos. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do armazenamento refrigerado sobre o metabolismo de carboidratos em raízes de batata-doce destinadas ao processamento de *chips*.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e tratamentos

Estacas de batata-doce (*Ipomoea batatas*) das cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol foram obtidas da empresa Frutplan Ltda e cultivadas na Horta Experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, estado de Minas Gerais, Brasil (20°45'49"S e 42°49'28"O, 650 m de

altitude), no período de janeiro a junho de 2018. Todo o manejo cultural recomendado foi realizado até os 160 dias após o plantio (MONTES, 2013). Em seguida as raízes foram colhidas e transferidas ao Laboratório de Pós-Colheita e foram curadas a 30 °C e umidade relativa (UR) de 90% por 7 dias. Imediatamente após a cura, as raízes de batata-doce foram armazenadas a 6 ou 13 °C e 90% de UR durante 50 dias. A cada 10 dias as raízes foram retiradas e mantidas sob temperatura ambiente (21 ± 2 °C e 81% de UR) por 4 dias para posterior análise.

Perda de massa fresca acumulada

As raízes tuberosas foram pesadas ao longo do armazenamento antes e após o armazenamento refrigerado e os resultados expressos em porcentagem de perda de massa fresca acumulada.

Análise de carboidratos e sólidos insolúveis em álcool

Os carboidratos foram extraídos a partir da trituração, homogeneização e centrifugação de aproximadamente 5 g de polpa de batata-doce em etanol 80% fervente. A determinação do conteúdo dos açúcares solúveis totais (AST) foi realizada de acordo com o método do ácido fenol-sulfúrico (DUBOIS *et al.*, 1956). Os açúcares redutores (AR) foram aferidos de acordo com a metodologia do ácido dinitrossalicílico (DNS) (GONÇALVES *et al.*, 2010). Os teores de açúcares não redutores (ANR) foram obtidos pela diferença entre os teores de açúcares solúveis totais e os teores de açúcares redutores. Os resultados foram expressos em % de AST, AR e ANR na matéria fresca. O teor de sólidos insolúveis em álcool (SIA) foi determinado mediante a metodologia descrita por Bonte *et al.* (2000) e os resultados foram expressos em % de SIA na matéria fresca.

Níveis de escurecimento dos *chips*

As raízes foram descascadas, higienizadas e processadas na forma de *chips* com 2 mm de espessura. A fritura dos *chips* foi feita em óleo de soja refinado por 2 minutos a 180 °C em fritadeiras monitoradas (Ford, Michigan, EUA). De cada repetição a média da parcela experimental foi composta por 10 *chips*. Os níveis de escurecimento foi baseada na escala visual de notas descrita na Figura 1: 1 - *chips* com ausência de superfície escurecida; 2 - *chips* com até 25% da superfície escurecida; 3 - *chips* com 26 a 50% da superfície escurecida; 4 - *chips* com 51 a 75% da superfície escurecida; 5 - *chips* com mais de 75% da superfície escurecida.

Análise estatística

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em esquema experimental de parcela subdividida, com quatro repetições e a parcela constituída do fatorial 2x2, sendo 2 cultivares ('BRS Amélia' e 'BRS Rubissol'), 2 temperaturas (6 °C e 13°C) e a subparcela dos tempos de armazenamento (0, 10+4, 20+4, 30+4, 40+4 e 50+4 dias). De posse dos dados, estes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste F ($P \leq 0,05$), utilizando o software estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014).

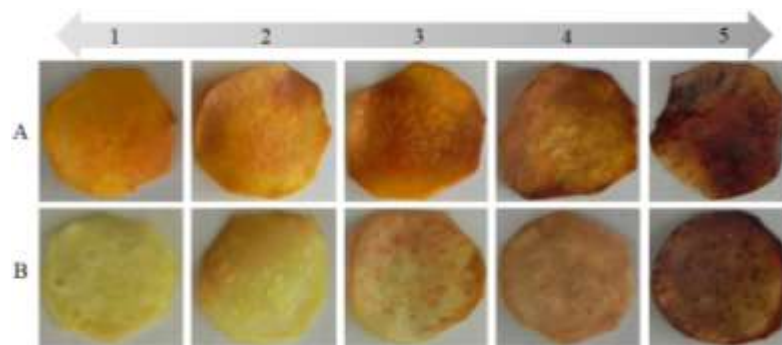


Figura 1 – Tabela de classificação de *chips* de batata-doce cv. BRS Amélia (A) e BRS Rubissol (B), após a fritura a 180 °C por 2 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perda de massa fresca acumulada

A perda de massa fresca das raízes de batata-doce armazenadas a 6 °C tiveram aumento significativo ($P \leq 0,05$) aos 54 dias na cv. BRS Amélia e aos 44 dias na cv. BRS Rubissol em relação a temperatura de 13 °C (Figura 2A e 2B). A perda de massa fresca nestes tempos foi de 8,25 e 11,33%, nas cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol, respectivamente armazenadas a 6 °C e com diferença de 1,62 e 1,87 vezes maior, quando comparado com as raízes armazenadas a 13 °C.

A respiração é um fator preponderante na perda de massa fresca quando o armazenamento é realizado em baixas temperaturas (PICHA, 1987b). Produtos hortícolas tropicais e subtropicais armazenados abaixo de 10 °C tendem a manifestar injúria por frio (JI *et al.*, 2017). O resultado deste distúrbio é a deterioração do produto, que pode ser maior que aqueles produtos mantidos em temperatura ambiente (ABD EL-WAHAB, 1973). Este efeito foi observado aos 54 e 44 dias de armazenamento nas raízes das cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol, respectivamente armazenadas a 6 °C, o que pode estar relacionado pelo sucessivo processo respiratório causado pelo estresse ao frio.

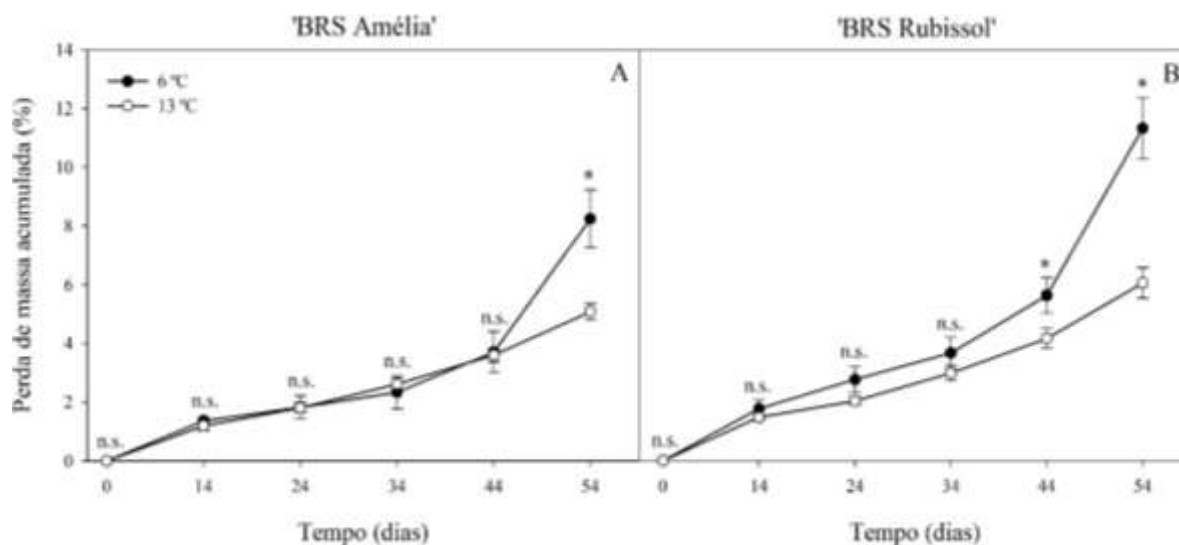


Figura 2 – Perda de massa fresca acumulada durante o armazenamento a 6 e 13°C em raízes de batata-doce cvs. BRS Amélia (A) e BRS Rubissol (B). Dados representam a média \pm erro padrão. n.s. e * indicam diferença não significativa ($P > 0,05$) e significativa ($P \leq 0,05$), respectivamente, pelo teste F.

A perda de massa fresca é um indicador para determinar a vida útil da batata-doce, pois a mesma induz alterações das características visuais como o murchamento da raiz (RAY, RAVI, 2005). Os resultados apresentados mostraram que tanto a perda de massa quanto o leve murchamento foram observadas aos 54 dias de armazenamento nas raízes armazenadas a 6 °C. Finger e Vieira (2007), afirmam que o percentual máximo de perda de massa fresca, sem o enrugamento ou murcha visível na superfície de produtos hortícolas frescos é de 10%, o que neste trabalho demonstrou estar abaixo na cv. BRS Amélia e acima na BRS Rubissol armazenada a 6 °C.

Teores de carboidratos e sólidos insolúveis em álcool

Os teores de açúcares solúveis totais (AST) das cultivares de batata-doce armazenadas a 6 °C foram superiores ao longo de todo o período de avaliação na cultivar BRS Rubissol e a partir de 10+4 dias na “BRS Amélia”. Na temperatura de 6 °C, as duas cultivares de batata-doce tiveram incremento total de 5,22 e 3,15% no teor de AST, respectivamente (Figura 3B). Apesar das raízes armazenadas a 13 °C terem obtido aumentos até os 20+4 dias, estas reduziram posteriormente e permanecendo no último dia de avaliação em 1,87 e 1,7 vezes menor em relação a 6 °C nas cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol, respectivamente.

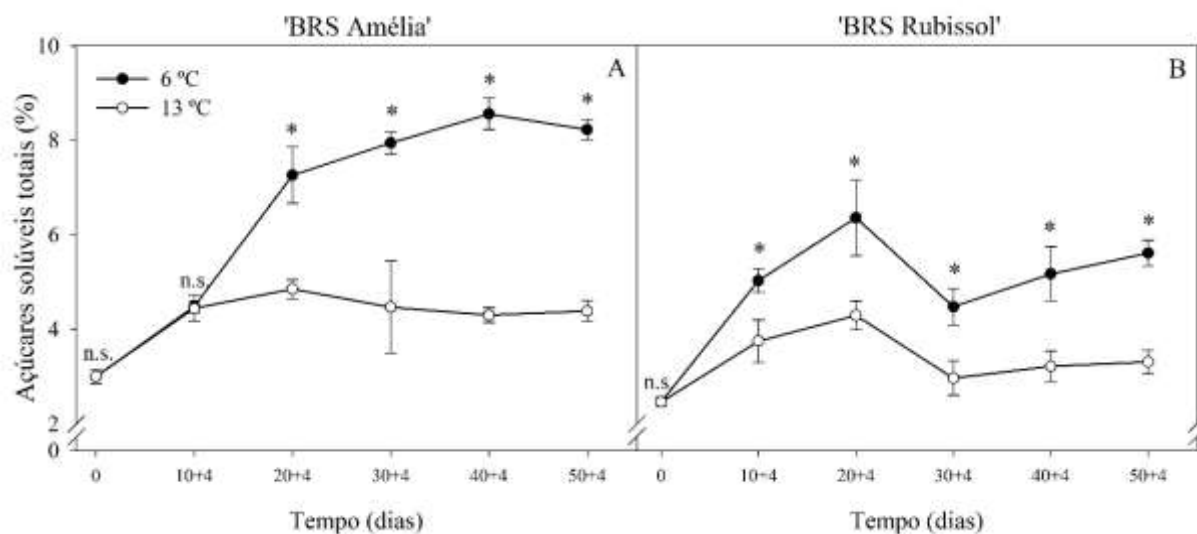


Figura 3 – Teores de açúcares solúveis totais em raízes de batata-doce das cvs. BRS Amélia (A) e BRS Rubissol (B) durante armazenamento a 6 e 13 °C e 4 dias de recondição ambiente. Dados representam a média \pm erro padrão. n.s. e * indicam diferença não significativa ($P > 0,05$) e significativa ($P \leq 0,05$), respectivamente, pelo teste F.

Os AST em raízes de batata-doce são compostos principalmente por glicose, frutose e sacarose. O armazenamento de batata-doce em condições ideais tem elevação natural destes carboidratos devido a degradação do amido pela respiração, no entanto, em temperatura abaixo da crítica (13 °C), os teores desses açúcares foram superiores devido ao estresse por frio. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores que identificaram diferença nos teores de AST ao comparar duas temperaturas de armazenamento de batata-doce. Ji *et al.* (2017) e Li *et al.* (2018), estudando cultivares asiáticas observaram que na temperatura de 4 °C os AST foram 2,06 e 1,4 vezes maior que a 13 °C, respectivamente. Acredita-se que os níveis de AST ajudam na proteção de células vegetais aos danos causados pelas baixas temperaturas (YUANYUAN *et al.*, 2009), atuando como osmólitos ou moléculas sinalizadoras (JI *et al.*, 2017). Durante o armazenamento ocorre a modificação da conformação e estrutura da membrana celular através de alterações na composição lipídica, resultando em menor permeabilidade e fluidez da membrana, causando aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e por consequência promovendo um estresse oxidativo (JI *et al.*, 2017). Diante disso, a presença de açúcares solúveis torna-se benéfico pois auxilia na eliminação de EROs produzidas durante o armazenamento refrigerado (JI *et al.*, 2017). Esses açúcares atuam como antioxidantes que participam diretamente da eliminação das EROs em respostas a condições de estresse (STOYANOVA *et al.*, 2011; KEUNEN *et al.*, 2013).

Os açúcares redutores (AR) nas raízes de batata-doce não apresentaram alterações significativas ($P > 0,05$) entre as temperaturas 6 e 13 °C até os 30 dias de armazenamento seguido de 4 de acondicionamento ambiente (Figura 4A e 4B). No entanto, o AR foi expressivamente crescente nos últimos tempos de armazenamento a 6 °C nas raízes de batata-doce. Nas raízes da cv. BRS Rubissol armazenadas a 6 °C o aumento de AR foi 9,9 vezes aos 50+4 dias (Figura 4B), comparado às raízes armazenadas a 13 °C, enquanto na cv. BRS Amélia o aumento foi 3,6 vezes aos 40+4 dias nas mesmas condições de armazenamento (Figura 4A).

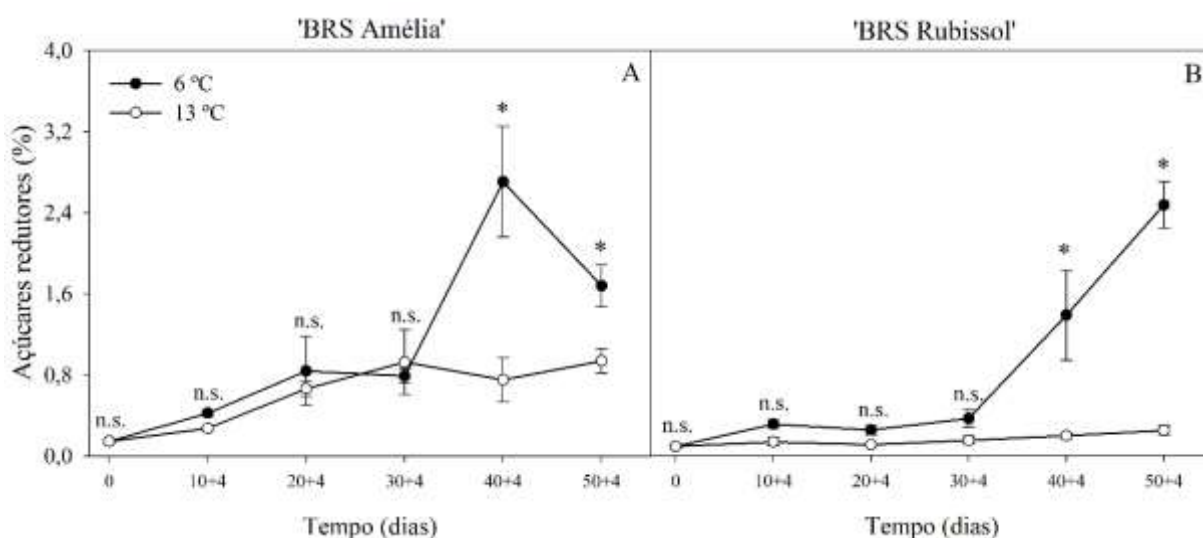


Figura 4 – Teores de açúcares redutores em raízes de batata-doce das cvs. BRS Amélia (A) e BRS Rubissol (B) durante armazenamento a 6 e 13 °C e 4 dias de acondicionamento ambiente. Dados representam a média \pm erro padrão. n.s. e * indicam diferença não significativa ($P > 0,05$) e significativa ($P \leq 0,05$), respectivamente, pelo teste F.

Os AR são constituídos principalmente por glicose e frutose. Para Picha (1987a) estes monossacarídeos se mostraram estáveis ou levemente crescentes em raízes de batata-doce armazenadas a 7 °C após 28 dias. Nas cultivares estudadas, neste experimento, o teor dos AR se manteve estável até os 30+4 dias a 6 °C (Figura 4). Aos 40+4 dias, o AR na cv. BRS Amélia aumentou acentuadamente 2,70%, seguido pelo decréscimo aos 50+4. Esta diminuição de AR pode estar relacionada ao aumento do consumo pela respiração e a baixa reposição a partir da degradação de sacarose. O oposto foi observado na cv. BRS Rubissol, que aumentou significativamente o AR no mesmo período, pois o balanço entre AR e sacarose depende da biossíntese e degradação desse dissacarídeo (SAKAMOTO *et al.*, 2014). Essa variação dos AR, nos dois últimos dias de armazenamento pode influenciar nas características sensoriais da batata-doce, como o adoçamento (JI *et al.*, 2017), refletindo na qualidade final do produto.

Os teores de açúcares não redutores (ANR) na cv. BRS Amélia armazenada a 6 °C foram superiores a partir dos 20+4 dias, com incremento de 2,59%, e superior em 1,6 vezes no último período de avaliação, em comparação com as raízes armazenadas a 13 °C (Figura 5A). A cv. BRS Rubissol apresentou significância ($P \leq 0,05$) nos dias 20 e 30+4 no armazenamento a 6 °C, contudo, os dois últimos períodos de armazenamento não foram significativos ($P > 0,05$), com teor médio de 3,22% aos 50+4 (Figura 5B).

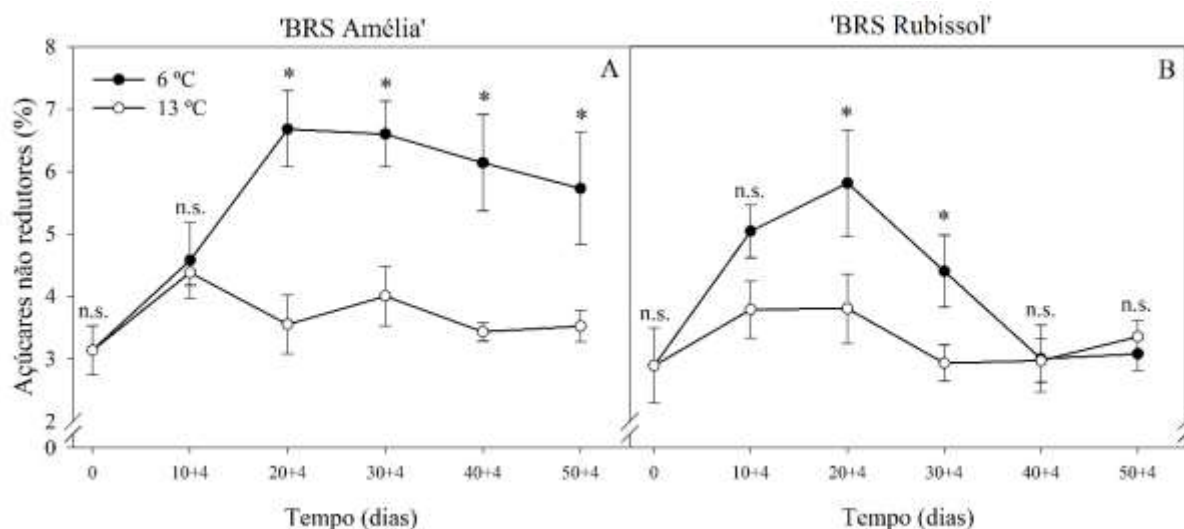


Figura 5 – Teores de açúcares redutores em raízes de batata-doce das cvs. BRS Amélia (A) e BRS Rubissol (B) durante armazenamento a 6 e 13 °C e 4 dias de recondicionamento ambiente. Dados representam a média \pm erro padrão. n.s. e * indicam diferença não significativa ($P > 0,05$) e significativa ($P \leq 0,05$), respectivamente, pelo teste F.

A sacarose é o principal açúcar não redutor, e as alterações do seu conteúdo são influenciados principalmente pelas enzimas invertase (Inv) e sacarose sintase (SuSy) (TAKAHATA *et al.*, 1995; HUANG *et al.*, 1999). A invertase ácida (Inv-AS) converte a sacarose em glicose e frutose, por outro lado a SuSy converte em UDP-glicose e frutose (KOCH, 2004; ROITSCH, GONZALES, 2004). Dessa forma, é possível que estas enzimas tenham obtido maior atividade na cv. BRS Rubissol armazenada a 6 °C elevando os AR (Figura 4 e 5). Entre os 0 e 20 dias de armazenamento e 4 de recondicionamento ambiente houve acúmulo no teor de ANR, variando entre 5,04 e 4,40% nas cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol, respectivamente e baixo teor de AR. No entanto, após este período houve redução de ANR e aumento de AR (Figura 4B e 5B), que possivelmente é decorrente da ação da Inv-AS e SuSy sobre o *pool* de sacarose. Em contrapartida, estas enzimas parecem ter baixa atividade na cv. BRS Amélia, o que transparece no baixo teor de AR nas raízes armazenadas a 6 °C (Figura 4A). Uma explicação plausível para isso, pode estar na baixa participação da Inv em virtude de seu

inibidor SPITI (HUANG *et al.*, 2008). Esses autores afirmam que para a Inv se tornar evidente na batata-doce armazenada a frio, a enzima deve exceder o seu inibidor.

Houve redução no teor de sólidos insolúveis em álcool (SIA) nas duas temperaturas e cultivares ao final da avaliação (Figura 6). A cv. BRS Amélia armazenadas a 6 e 13 °C tiveram reduções de 10,78 e 5,79%, respectivamente (Figura 6A). Em contrapartida, na cv. BRS Rubissol não foi significativo ($P > 0,05$) até os 30+4 dias, com queda significativa nas raízes armazenadas a 6 °C nos dois últimos tempos de armazenamento (Figura 6B). Nesta temperatura, a redução total de SIA foi 8,50%, enquanto em 13 °C foi de apenas 0,56%.

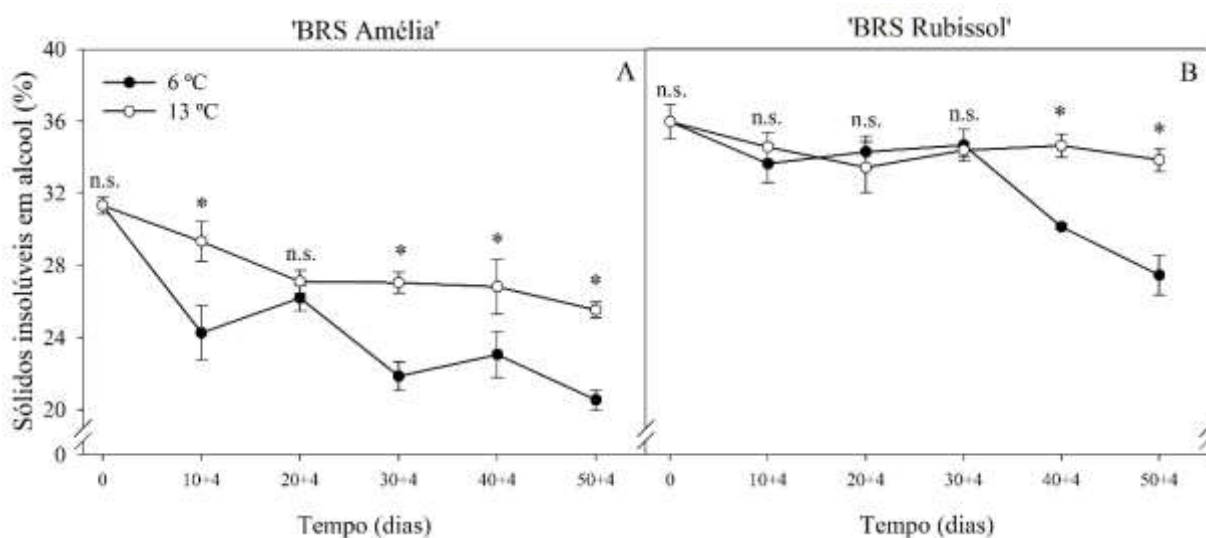


Figura 6 – Sólidos insolúveis em álcool em raízes de batata-doce das cvs. BRS Amélia (A) e BRS Rubissol (B) durante armazenamento a 6 e 13 °C e 4 dias de acondicionamento ambiente. Dados representam a média \pm erro padrão. n.s. e * indicam diferença não significativa ($P > 0,05$) e significativa ($P \leq 0,05$), respectivamente, pelo teste F.

O amido é o principal carboidrato acumulado em batata-doce (CARRIÓN *et al.*, 2011), correspondendo a cerca de 70% da massa seca (KOHYAMA, NISHINARI, 1992). Sua quantificação proximal através dos sólidos insolúveis em álcool tem sido realizada por alguns autores em batata-doce (BONTE *et al.*, 2000; YOON *et al.*, 2018), o que mostra sua eficácia na avaliação dos estudos nesta cultura. O amido pode ser degradado de forma hidrolítica ou fosforoliticamente (ZHANG *et al.*, 2017) e, conseqüentemente elevando os teores de açúcares solúveis (JI *et al.*, 2017). Esta elevação de AST foi observado em nossos resultados, sendo mais expressivo na cv. BRS Amélia. Apesar disso, as duas cultivares de batata-doce armazenadas a 6 °C tiveram reduções significativas de SIA e refletidas no maior acúmulo de AST (Figura 3 e 6), além de maior perda de massa fresca acumulada (Figura 2).

Nível de escurecimento em *chips* de batata-doce pós-injúria

O nível de escurecimento representado em escala de notas, dos *chips* de batata-doce, apresentaram diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre as temperaturas de armazenamento a partir dos 30 dias de armazenamento e 4 de exposição ambiente, com maior escala para as raízes armazenadas a 6 °C (Figura 7). As notas de escurecimento são de 2,9; 4,5 e 5,0 na cv. BRS Amélia e 3,1; 4,2 e 4,8 na 'BRS Rubissol', nos tempos 30, 40 e 50+4 dias, respectivamente. Esta diferença é observada a partir das Figuras 7B e 7D, que evidencia a extensão do escurecimento nos *chips* das cultivares e a diferença entre as temperaturas, nos últimos dias de armazenamento (30, 40 e 50+4 dias).

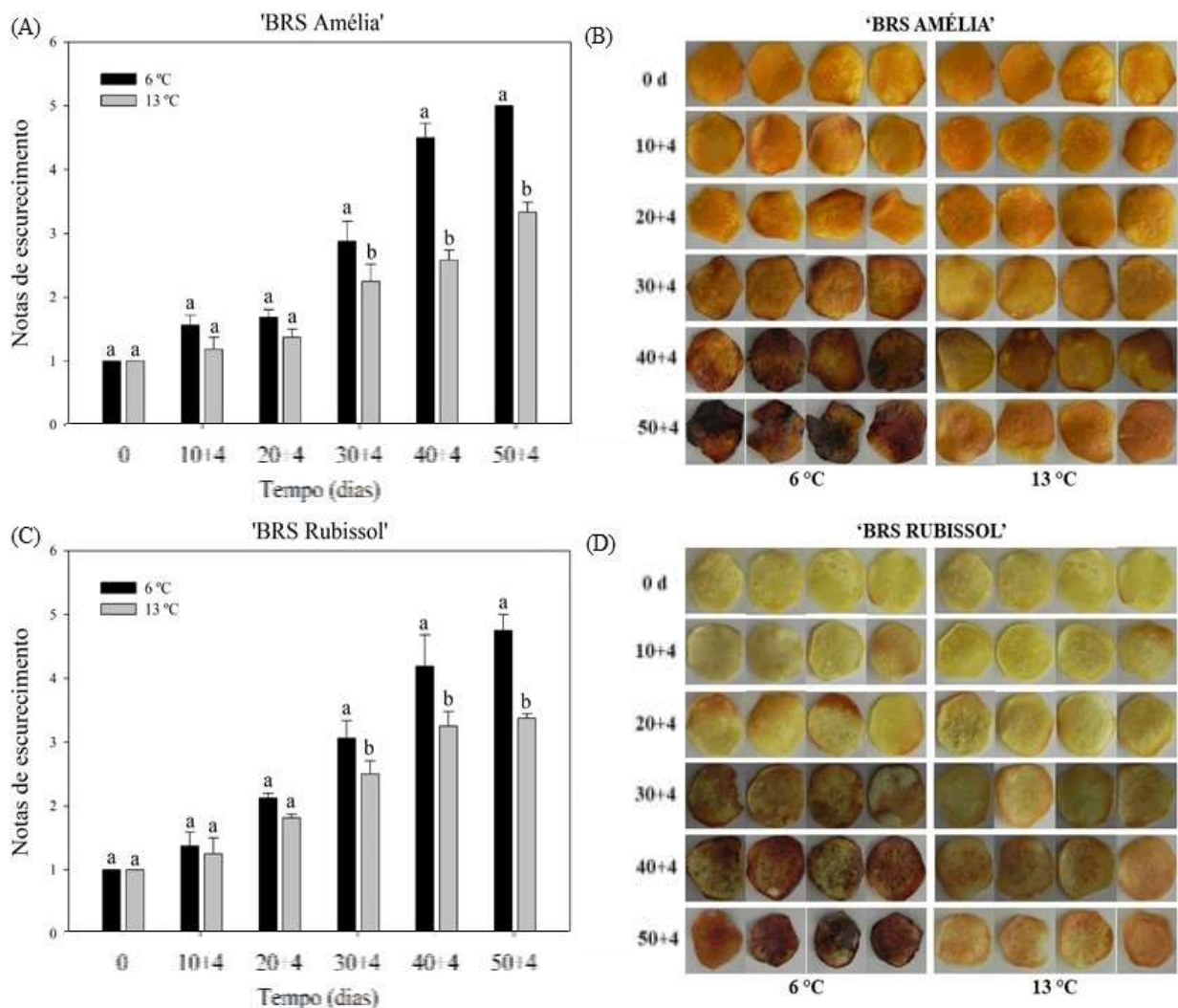


Figura 7 – Efeito do estresse por frio em *chips* de batata-doce armazenadas a 6 e 13 °C por 50 dias de armazenamento e 4 dias de acondicionamento ambiente. Notas de escurecimento (A e C) e alterações de cor dos *chips* (B e D) das cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol, após fritura a 180 °C por 2 minutos. Dados representam a média \pm erro padrão. Letras iguais no mesmo tempo de armazenamento indicam diferença não significativa ($P > 0,05$) e letras diferentes significativas ($P \leq 0,05$), pelo teste F.

A não significância ($P > 0,05$) das notas entre as temperaturas, no início do armazenamento são semelhantes aos achados de Picha (1986). Este autor avaliou o nível de escurecimento dos *chips* de batata-doce (polpa laranja e polpa branca) armazenadas a 7 e 15,6 °C durante 14 dias e não obteve diferença de nota entre as temperaturas, mas sim de açúcares redutores. Quantidades elevadas deste açúcar combinados com aminoácidos formam através da reação de Maillard a acrilamida, que através de reações subsequentes dão origem as melanoidinas e conferindo cor escura e sabor intragável (WIBERLEY-BRADFORD *et al.*, 2014).

Vários autores relacionaram a quantidade de acrilamida aos altos teores de açúcares redutores em batata (*Solanum tuberosum*) e batata-doce frita (BHASKAR *et al.*, 2010; Lim *et al.*, 2014), e os açúcares redutores ao armazenamento sob temperaturas abaixo da crítica (WIBERLEY-BRADFORD *et al.*, 2014). Dessa forma, sugere-se que o escurecimento dos *chips* de batata-doce nos três últimos tempos de avaliação, ocorre devido ao alto conteúdo de açúcares redutores, influenciado pelo armazenamento a baixa temperatura nas cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol.

CONCLUSÃO

O armazenamento de batata-doce a 6 °C durante 50 dias e 4 de acondicionamento ambiente influenciou negativamente o metabolismo dos carboidratos das cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol para o processamento em relação as raízes a 13 °C. O acúmulo de açúcares em ambas as cultivares identificou serem suscetíveis ao adoçamento induzido pelo frio, provocando o escurecimento dos *chips* a partir dos 30 dias de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- ABD EL-WAHAB, F. K. **Physiological studies on postharvest chilling injury of some tropical and sub-tropical fruits**. 1973. Ph.D. Thesys, Faculty of Agriculture, Ain Shams University, 1973.
- AFFLECK, I., SULLIVAN, J. A., TARN, R., YADA, R. Stability of eight potato genotypes for sugar content and french fry quality at harvest and after storage. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 1, p. 87-96, 2012.
- BASTOS, D. H. M., GUGLIUCCI, A. Contemporary and controversial aspects of the Maillard reaction products. **Current Opinion in Food Science**, v. 1, p. 13-20, 2015.

BHASKAR, P. B., WU, L., BUSSE, J. S., WHITTY, B. R., HAMERNIK, A. J., JANSKY, H., BUELL, C. R., BETHKE, P. C., JIANG, J. Suppression of the vacuolar invertase gene prevents cold-induced sweetening in potato. **Plant Physiology**, v. 154, n. 2, p. 939-48, 2010.

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

CAETANO, P. K., MARIANO-NASSER, F. A. de C., MENDONÇA, V. Z. de, FURLANETO, K. A., DAIUTO, E. R., VIEITES, R. L. Physicochemical and sensory characteristics of sweet potato chips undergoing different cooking methods. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 434-440, 2018.

CARRIÓN, T. H., ORTIZ, C. E., ZAPATA, R. M., RIVERA, L. E. Sugars and alcohol insoluble solids assessment for sweet potato cultivars recommended for Puerto Rico. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 95, n. 3-4, p. 223-231, 2011.

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., REES, D., COLGAN, R. J., TAYLOR, M., WESTBY, A. The effects of ethylene, 1-MCP and AVG on sprouting in sweetpotato roots. **Postharvest Biology and Technology**, v. 85, n.1, p. 89-93, 2013.

DI FRANCESCO, A., MARI, M., UGOLINI, L., PARISI, B., GENOVESE, J., LAZZERI, L., BARALDI, E. Reduction of acrylamide formation in fried potato chips by *Aureobasidium pullulans* L1 strain. **International Journal of Food Microbiology**, v. 289, n. 1, p. 168-173, 2019.

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. 1, p. 350-356, 1956.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FINGER, F. L., VIEIRA, G. **Controle da perda pós-colheita de água em produtos hortícolas**. (Caderno Didáticos 19). Viçosa: Editora UFV, 2007. 29 p.

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, n. 12, p. 2046-2048, 2010.

HUANG, Y. H., PICHA, D. H., KILILI, A. W., JOHNSON, C. E. Changes in invertase activities and reducing sugar content in sweetpotato stored at different temperatures. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 12, p. 4927-4931, 1999.

HUANG, C.-L., LIAO, W. C., CHAN, C.-F., LAI, Y.-C. Storage performance of Taiwanese sweet potato cultivars. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 12, p. 4019-4025, 2014.

HUANG, G.-J., SHEU, M.-J., CHANG, Y.-S., LU, T.-L., CHANG, H.-Y., HUANG, S.-S., LIN, Y.-H. Isolation and characterisation of invertase inhibitor from sweet potato storage roots. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 15, p. 2615-2621, 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, n. 1, p. 97-108, 2017.

KEUNEN, E. L. S., PESHEV, D., VANGRONSVELD, J., VAN DEN END, 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.

KOCH, K. Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 1, p. 235-246, 2004.

KOHYAMA, K., NISHINARI, K. Cellulose derivatives effects on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 1, p. 128-131, 1992.

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, n. 1, p. 1-9, 2018.

LIM, P. K., JINAP, S., SANNY, M., TAN, C. P., KHATIB, A. The influence of deep frying using various vegetable oils on acrylamide formation in sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) chips. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 1, p. 115-121, 2014.

MONTES, S. M. N. M. **Cultura da batata-doce: do plantio à comercialização**. Campinas: Instituto Agronômico, São Paulo, 2013. 80 p.

MULLA, M. Z., BHARADWAJ, V. R., ANNAPURE, U. S., VARIYAR, P. S., SHARMA, A., SINGHAL, R. S. Acrylamide content in fried chips prepared from irradiated and non-irradiated stored potatoes. **Food Chemistry**, v. 127, n. 4, p. 1668-1672, 2011.

PICHA, D. H. Carbohydrate changes in sweet potatoes during curing and storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 112, n. 1, p. 89-92, 1987a.

PICHA, D. H. Chilling injury, respiration, and sugar changes in sweet potatoes stored at low temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 112, n. 3, p. 497-502, 1987b.

PICHA, D. H. Influence of storage duration and temperature on sweet potato sugar content and chip color. **Journal of Food Science**, v. 51, n. 1, p. 239-240, 1986.

RAY, R. C., RAVI, V. Post harvest spoilage of sweetpotato in tropics and control measures. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, n. 1, p. 623-644, 2005.

ROITSCH, T., GONZÁLEZ, M. C. Function and regulation of plant invertases: sweet sensations. **Trends in Plant Science**, v. 9, n. 1, p. 606-613, 2004.

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.

SEGNINI, S., DEJMEK, P., ÖSTE, R. A low cost video technique for colour measurement of potato chips. **LWT - Food Science and Technology**, v. 32, n. 4, p. 216-222, 1999.

STOYANOVA, S., GEUNS, J., HIDEG, E., ENDE, W. V. D. The food additives inulin and stevioside counteract oxidative stress. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 62, n. 3, p. 207-214, 2011.

SUGRI, I., MAALEKUU, H. 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, n. 1, p. 1-10, 2017.

TAKAHATA, Y., NODA, T., SATO, T. Changes in carbohydrates and enzyme activities of sweetpotato lines during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, n. 1, p. 1923-1928, 1995.

TAREKE, E., RYDBERG, P., KARLSSON, P., ERIKSSON, S., TÖRNQVIST, M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 17, p. 4998-5006, 2002.

TIMALSINA, P., PRAJAPATI, R., BHAKTARAJ, S., SHRESTHA, R., SHRESTHA, S., MITRA, P. Sweet potato chips development and optimization of chips processing variables. **Open Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 118-128, 2019.

TRUONG, V.-D., PASCUA, Y. T., REYNOLDS, R., THOMPSON, R. L., PALAZOĞLU, T. K., ATAC MOGOL, B., GÖKMEN, V. Processing treatments for mitigating acrylamide formation in sweetpotato french fries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 1, p. 310-316, 2014.

WANG, S. Q., TANG, J., HU, K. D., HUANG, Z. Q., YANG, F., ZHANG, H. Y. HU, L. Y., LI, Y. H., YAO, G. F., 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.

WIBERLEY-BRADFORD, A., BUSSE, J. S., JIANG, J., BETHKE, P. C. Sugar metabolism, chip color, invertase activity, and gene expression during long-term cold storage of potato (*Solanum tuberosum*) tubers from wild-type and vacuolar invertase silencing lines of Katahdin. **BMC Research Notes**, v. 7, n. 801, p. 1-10, 2014.

WOOLFE, J. A. Postharvest procedures: I. Storage and cooking. *In*: WOOLFE, J. A. **Sweet potato: an untapped food resource**. Cambridge: University Press, 1992. p. 219-291.

YOON, H., NO, J., KIM, W., SHIN, M. Textural character of sweet potato root of Korean cultivars in relation to chemical constituents and their properties. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, n. 6, p. 1627-1637, 2018.

YUANYUAN, M., YALI, Z., JIANG, L., HONGBO, S. Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 10, p. 2004-2010, 2009.

ZHANG, K., WU, Z., TANG, D., LUO, K., LU, H., LIU, Y., DONG, J., WANG, X., Lv C., WANG, J., LU, K. Comparative transcriptome analysis reveals critical function of sucrose metabolism related-enzymes in starch accumulation in the storage root of sweet potato. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 914, 2017.

Respostas a injúria por frio de raízes de batata-doce após armazenamento refrigerado

Jean Paulo de Jesus Tello^{1*}, Fernanda Ferreira de Araújo¹, Fernando Luiz Finger¹

¹Universidade Federal de Viçosa-MG, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia. Av. P.H. Rolfs, Campus Universitário, CEP 36570-900 – Viçosa, MG – Brasil. *jp_jt@hotmail.com

RESUMO

O trabalho teve por objetivo estudar as respostas a injúria por frio das cultivares de batata-doce BRS Amélia e BRS Rubissol após o armazenamento das raízes sob baixa temperatura. Para isso, utilizou-se as cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol, as quais foram armazenadas a 6 ou 13 °C durante 0, 10, 20, 30, 40 e 50 dias e 4 dias de acondicionamento ambiente (21 ± 2 °C). Ao longo dos 50 dias de armazenamento a 6 °C e 4 dias de acondicionamento ambiente o índice de injúria por frio na região externa da batata-doce cv. BRS Amélia foi prematuro em relação a cv. BRS Rubissol. O índice de injúria na região interna das raízes de batata-doce, cultivar Amélia foi maior quando armazenadas a 6 °C a partir dos 40+4 dias. A cultivar BRS Amélia apresentou maior conteúdo de prolina e teor de extravasamento de eletrólitos quando armazenadas a 6 °C. O ascorbato peroxidase obteve atividade induzida pelo armazenamento a 6 °C a partir dos 30+4 dias na ‘BRS Amélia’ e 40+4 dias em ‘BRS Rubissol’. O conteúdo de malondialdeído e compostos fenólicos totais na cultivar BRS Rubissol foram influenciados pelo armazenamento a 6 °C. Na ‘BRS Rubissol’ as raízes armazenadas a 6 °C tiveram pico de atividade da peroxidase precoce em relação a ‘BRS Amélia’, enquanto a polifenoloxidase foi superior 2,4 vezes se comparado com 13 °C. O armazenamento das cultivares de batata-doce por mais de 50 dias a 6 °C, seguido de exposição ambiente causaram danos severos à raiz. As cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol apresentaram injúria por frio de maneira semelhante, podendo estabelecê-las como sensíveis a baixas temperaturas.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* L. Recondicionamento. Peroxidação lipídica. Enzimas oxidativas.

ABSTRACT

Biochemical responses of cold-stored sweet potato roots to chilling injury

The objective of this work was to study the responses of sweet potato cultivars BRS Amélia and BRS Rubissol to cold injury after storing the roots at low temperatures. The cultivars BRS Amélia and BRS Rubissol were stored at 6 and 13 °C for 50 days followed by 4 days of ambient reconditioning (21 ± 2 °C). During the 50 days of storage at 6 °C and 4 days of ambient temperature reconditioning, the chilling injury index in the outer region of the BRS Amélia sweet potato showed precocity in relation to BRS Rubissol cultivar. The injury index in the inner region of BRS Amélia sweet potato roots, was higher when stored at 6 °C from 40+4 days. BRS Amélia cultivar presented higher proline content and electrolyte leakage when stored at 6 °C. Ascorbate peroxidase activity was induced by storage at 6 °C from 30+4 days for 'BRS Amélia' and 40+4 days for 'BRS Rubissol'. The malondialdehyde content and total phenolic compounds in the cultivar BRS Rubissol were influenced by storage at 6 °C. 'BRS Rubissol' roots stored at 6 °C had an early peroxidase activity peak in relation to 'BR Amélia', while polyphenoloxidase was 2.4 times higher compared to 13 °C. The storage of the sweet potato cultivars over 50 days at 6 °C, followed by environmental exposure caused severe damage to the roots. The cultivars BRS Amélia and BRS Rubissol presented chilling injury damages in a similar way, which could designate them as sensitive to low temperatures.

Keywords: *Ipomoea batatas* L. Reconditioning. Lipid peroxidation. Oxidative enzymes.

INTRODUÇÃO

A refrigeração é considerada a tecnologia pós-colheita mais simples para reduzir o metabolismo dos produtos hortícolas, possibilitando diminuir a perda de água, respiração e o desenvolvimento de doenças pós-colheita (MENOLLI *et al.*, 2008; VITHU *et al.*, 2019). No entanto, em algumas espécies de origem tropical e subtropical, quando expostas a baixas temperaturas, ocorre um distúrbio fisiológico conhecido como injúria por frio (PATEL *et al.*, 2016).

As alterações resultantes da injúria por frio são mais perceptíveis na superfície externa do produto (ZOU *et al.*, 2014), o que leva à rejeição por parte dos consumidores e traz prejuízo para a cadeia de suprimento de produtos hortícolas. Além disso, os danos também podem ser aparentes somente quando forem removidos do ambiente refrigerado, ou ainda, pode ser detectável apenas no interior do produto (HEYES, 2018).

Nesse sentido, raízes de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) caracterizam-se como sensíveis ao armazenamento em baixas temperaturas (XIE *et al.*, 2017), sendo observado injúria

por frio sob temperaturas abaixo de 13 °C (PICHA, 1987; JACKMAN *et al.*, 1988). As principais características morfológicas observadas com armazenamento em temperaturas de 4 °C são lesões superficiais, escurecimento dos tecidos internos e suscetibilidade a patógenos, como a podridão mole e amolecimento generalizado (XIE *et al.*, 2019).

Quando os sintomas de injúrias já são visíveis nos tecidos significa que os danos são intensos e irreversíveis. Além das respostas morfológicas ocorrem modificações físicas da fase lipídica das membranas celulares e alterações específicas em proteínas, resultando em respostas secundárias que incluem aumento da produção de etileno, respiração e extravasamento de solutos, perda da compartimentalização celular e mudanças na atividade de enzimas (MENOLLI *et al.*, 2008).

Cabe destacar também que a temperatura ideal de armazenamento varia entre as cultivares de batata-doce, assim como suas respostas durante o armazenamento refrigerado (XIE *et al.*, 2019). Isso pode ser verificado pelos resultados encontrados por Ji *et al.* (2017) e Li *et al.* (2018), onde foi observado que o armazenamento a 4 °C da cv. Xinxiang sofreu injúria aos 7 dias de armazenamento, enquanto na cv. Yulmi essas respostas morfológicas foram observadas a partir de 6 semanas de armazenamento.

Embora sejam encontradas informações sobre o comportamento de raízes de batata-doce sob armazenamento em temperatura ideal (13°C) e baixas que promovam injúria por frio, ainda são escassas informações sobre as respostas bioquímicas de cultivares que são amplamente cultivadas no Brasil, destacando-se as cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol. Além disso, como é sabido que os sintomas são intensificados quando o produto é recondicionado à temperatura ambiente (LUENGWILAI, BECKLES, 2010), nossa pesquisa procurou estudar as respostas a injúria por frio das cultivares de batata-doce BRS Amélia e BRS Rubissol após o armazenamento das raízes sob baixa temperatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e tratamentos

Foram utilizadas duas cultivares de batata-doce da Embrapa Clima Temperado, BRS Amélia e BRS Rubissol. Os genótipos foram cultivados em área experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, Brasil (20°45'49"S e 42°49'28"O, 650 m de altitude), no período de janeiro a junho de 2018, seguindo-se as recomendações agronômicas necessárias (MONTES, 2013). A colheita e seleção das raízes foram realizadas manualmente aos 160 dias

após o transplante. As mesmas foram curadas a 30 °C e 90% de umidade relativa (UR) por 7 dias para cicatrização da periderme, e armazenadas a 6 ou 13 °C por 50 dias a 90% de UR. As raízes foram retiradas do armazenamento a cada 10 dias e mantidas por 4 dias sob temperatura ambiente (21 ± 2 °C e 81% de UR) para posterior avaliação.

Avaliação do índice de injúria por frio

Foram caracterizados como injúria por frio da região externa, as raízes de batata-doce que apresentassem manchas escuras e depressões na superfície da casca. Na região interna, o distúrbio fisiológico foi identificado pelo escurecimento nos anéis vasculares e/ou de forma desregular na superfície da polpa. Para isso, foram realizados cortes transversais das respectivas raízes de cada cultivar em cada tempo de armazenamento. O índice de injúria foi realizado a partir de uma escala subjetiva, onde: 1 - nenhum dano; 2 - com até 25% da superfície de dano; 3 - superfície com 26 a 50% de dano; 4 – superfície com 51 a 75% de dano; 5 – superfície com mais de 75% de dano. O índice de injúria por frio foi calculado de acordo com a fórmula de Pesis *et al.* (1994):

$$\text{Índice de injúria por frio} = \frac{\sum(\text{nível de injúria}) \times (\text{número de raízes neste nível})}{\text{número total de raízes}}$$

Análise de compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais foram determinados pelo método de Fu *et al.* (2010) com modificações, utilizando etanol 80% como extrator. Para a quantificação, em tubo de ensaio foi adicionado uma alíquota de 0,2 mL de extrato, 1,0 ml do reagente de Folin-Ciocalteu (1:10) e 0,8 mL de solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) a 7,5%. Posteriormente, os tubos permaneceram em temperatura de 25 °C por 30 minutos em ambiente escuro. Após este processo a absorbância das amostras foi aferida em espectrofotômetro a 760 nm, utilizando ácido gálico como padrão para confecção da curva. Os resultados foram expressos mg g⁻¹ na matéria fresca.

Determinação do conteúdo de prolina

A determinação de prolina foi realizada de acordo com Bates *et al.* (1973) com modificações. 100 mg de material vegetal (polpa) foram triturados em 2 ml de solução de ácido sulfossalicílico 3% (m/v) e centrifugado a 2.000 g por 10 minutos. Em tubo de ensaio, 1 mL do

sobrenadante (extrato), 1 mL de ninhidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial foram homogeneizados e colocados em água fervente por 1 hora. Posteriormente, a reação foi parada em gelo, e a absorvância aferida em 520 nm. Os resultados foram expressos em mmol de prolina g⁻¹ de matéria fresca.

Conteúdo de malondialdeído (MDA)

A peroxidação lipídica foi mensurada a partir da quantificação de malondialdeído (MDA), conforme metodologia proposta por Heath e Packer (1968). O conteúdo de MDA foi calculado usando o coeficiente de extinção de 155 nM⁻¹ cm⁻¹, sendo os valores expressos em nmol g⁻¹ de peso fresco.

Medição de extravasamento de eletrólitos

O extravasamento de eletrólitos foi medido de acordo com o método de Lima *et al.* (2002), com modificações. Discos com 10 mm de diâmetro da polpa de batata-doce de cada tratamento foram lavados em água deionizada para a retirada do conteúdo das células rompidas durante a remoção e, posteriormente, imersos em 20 ml de água deionizada. A condutividade elétrica inicial (L1) do líquido de suspensão foi lida em um condutivímetro (Digimed, modelo DM-31) após incubação por 6 horas, à temperatura ambiente. A porcentagem da condutividade total (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: $EEL\% = \left(\frac{L1}{L2}\right) \times 100$.

Análises enzimáticas

A coleta de amostras para as análises de peroxidase (POD) e ascorbato peroxidase (APX) foram constituídas de 0,3 g de polpa, o qual foram maceradas para extração enzimática. A homogeneização da amostra foi realizada em 2 mL de tampão de extração composto por 1% (m/v) de polivinilpirrolidona (PVP), 0,1 mM de EDTA, 1 mM de fluoreto de fenilmetilsufônico (PMSF) e 100 mM de fosfato de potássio, pH 7,0. Este homogeneizado seguiu para centrifugação por 15 minutos a 14.000 g e 4 °C. O sobrenadante foi utilizado para determinar a atividade das respectivas enzimas.

Peroxidase (POD)

A atividade da POD foi quantificada pelo método de Kar e Mishra (1976), onde o meio de reação foi constituído de 20 mM de guaiacol, 25 mM de tampão fosfato de potássio (pH 6,5)

e 20 mM de H₂O₂. A atividade foi determinada pela taxa de produção de tetraguaiacol a 470 nm e expressa em nmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína, utilizando-se o coeficiente de extinção molar de 26,6 mM⁻¹ cm⁻¹.

Ascorbato peroxidase (APX)

A atividade da APX foi baseada no método descrito por Nakano e Asada (1981) com algumas modificações. O extrato foi composto por 0,3 mM de H₂O₂, 50 mM de tampão fosfato de potássio (pH 7,8) e 0,25 mM de ácido ascórbico. A atividade enzimática foi acompanhada pela redução da absorbância durante 1 minuto a 290 nm e expressa em nmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína, utilizando-se o coeficiente de extinção molar de 2,8 mM⁻¹ cm⁻¹.

Polifenoloxidase (PPO)

A atividade da PPO foi realizada pelo método de Benjamin e Montgomery (1973), com algumas modificações. Aproximadamente 0,3 g de polpa foi macerada e homogeneizada em solução de extração contendo 1 mM de PMSF e 0,1 M de tampão fosfato de potássio (pH 6,5). Posteriormente, o mesmo foi centrifugado por 15 minutos a 14.000 g e 4 °C. O meio de reação foi constituído de 120 mM de pirocatecol, 0,1 M de extrato enzimático e tampão fosfato de potássio (pH 5,0). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 420 nm por 3 minutos. A atividade expressa em nmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína utilizou o coeficiente de extinção molar de 3450 M⁻¹ cm⁻¹

Análise estatística

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em esquema experimental de parcela subdividida, com quatro repetições, sendo a parcela constituída do fatorial 2x2, sendo duas cultivares ('BRS Amélia' e 'BRS Rubissol'), duas temperaturas (6 °C e 13°C) e na subparcela os seis tempos de armazenamento (0, 10+4, 20+4, 30+4, 40+4 e 50+4 dias). De posse dos dados, estes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste F ($P \leq 0,05$), utilizando o software estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índice de injúria por frio

O armazenamento refrigerado a 6 °C e 4 dias em temperatura ambiente promoveu alterações morfológicas na região externa e interna das raízes de batata-doce das cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol (Figura 1A e 1D). Aos 50 dias de armazenamento e 4 dias em temperatura ambiente (50+4 dias) as raízes apresentaram leve descoloração, lesões e depressões escurecidas na região externa e escurecimento na região interna, com padrão uniforme para 'BRS Amélia' e desuniforme para 'BRS Rubissol'. O armazenamento a 13 °C não interferiu na qualidade morfológica, não sendo observadas alterações significativas do dia 0 ao 50+4 dias. Esse escurecimento está associado a injúria por frio, o qual já foi relatado em batata-baroa e taioba (MENOLLI *et al.*, 2008; SOUZA, FINGER, 2014).

O índice de injúria por frio, no armazenamento a 6 °C foi maior, quando comparado com o armazenamento a 13 °C, independente da cultivar (Figura 1B, 1C, 1E e 1F). Para a cultivar BRS Amélia, o índice de injúria da região externa das raízes de batata-doce foram crescentes a partir dos 30+4 dias a 6 °C, com índice 2,25, atingindo 4,0 aos 50+4 dias (Figura 1B). Quanto a cv. BRS Rubissol o início da injúria a 6 °C ocorreu de forma mais tardia, aos 40+4 dias com índice 1,75 e chegando a 3,0 aos 50+4 dias (Figura 1C). A precocidade e maior extensão de danos causados pela injúria por frio na cultivar BRS Amélia em relação a BRS Rubissol são mostrados na Figura 1A. Por sua vez, na região interna, o armazenamento a 6 °C promoveu maior injúria por frio a partir de 40+4 dias nas duas cultivares (Figura 1E e 1F). Aos 50+4 dias, o armazenamento a 6 °C das cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol promoveu percentual de injúria superior ao armazenamento a 13 °C de 266,7 e 300% na região externa; 300 e 333,3% na região interna, respectivamente.

O desenvolvimento de lesões causadas pelo frio ocorre devido a sensibilidade de algumas espécies tropicais e subtropicais, como a batata-doce, a temperaturas abaixo de 10 °C (JI *et al.*, 2017). Li *et al.* (2018) observaram injúria por frio aos 7 dias de armazenamento a 4 °C na cv. Xinxiang, diferente da temperatura de 13 °C que não apresentou injúria. O armazenamento a 4 °C da cv. Yulmi promoveu escurecimento interno do tecido, lesões escuras e profundas na região externa, enquanto as raízes armazenadas a 13 °C não apresentaram esse declínio na qualidade morfológica (JI *et al.*, 2017). O frio provoca nas raízes de batata-doce um desequilíbrio na homeostase celular, proporcionando assim, desorganização das membranas,

que é impulsionada por processos oxidativos, que aumenta os níveis de espécies reativas de oxigênio (SEVILLANO *et al.*, 2009).

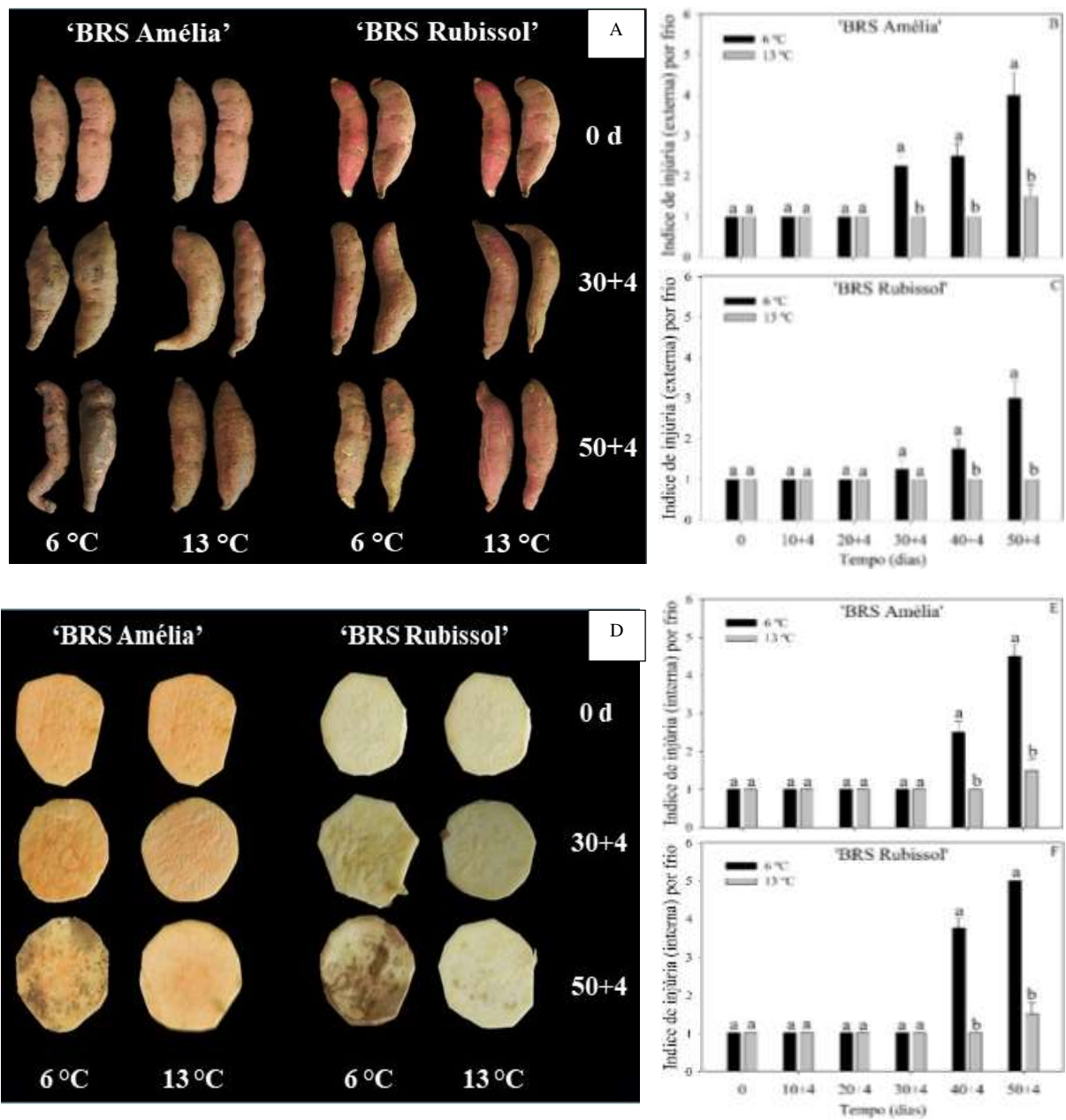


Figura 1 – Injúria por frio de raízes de batata-doce armazenadas a 6 e 13 °C por 50 dias e 4 de recondição ambiente, das regiões externa (A) e interna (D). Índice de injúria por frio da região externa e interna em cultivares BRS Amélia (B e E) e BRS Rubissol (C e F). Dados representam a média \pm erro padrão. Letras iguais no mesmo tempo de armazenamento indicam diferença não significativa ($P > 0,05$), e letras diferentes significativa ($P \leq 0,05$) pelo teste F.

Conteúdo de compostos fenólicos totais

O conteúdo de compostos fenólicos foi crescente ao longo do tempo de armazenamento nas cultivares e temperaturas estudadas (Figura 2A e 2B). A cv. BRS Amélia armazenada a 6

°C teve aumento significativo, atingindo valores de 51,68 mg EAG 100 g⁻¹ no último tempo de avaliação e 1,57 vezes maior que as raízes armazenadas a 13 °C (Figura 2A). Em contraste, a cv. BRS Rubissol obteve crescimento gradual, porém superior 2,35 vezes em comparação com o armazenamento a 13 °C aos 50+4 dias (Figura 2B).

O acúmulo de compostos fenólicos em raízes de batata-doce parece estar relacionado com o mecanismo de defesa contra pragas e doenças (HARRISON *et al.*, 2003). Além disso, Padda e Picha (2008) afirmaram que a injúria por frio também é um fator para a ativação da síntese destes compostos. Wang *et al.* (2019) observaram maior conteúdo de fenóis em cultivares de batata-doce armazenadas 4 °C quando comparado com a temperatura de 16 °C durante 12 e 16 dias. Resultado semelhante também foi encontrado por Ji *et al.* (2017), onde raízes de batata-doce armazenadas a 4 e 13 °C apresentaram diferença significativa no conteúdo total de fenóis em 6 semanas.

Conteúdo de prolina

O conteúdo de prolina na cv. BRS Amélia armazenada a 6 °C foi significativamente maior ($P \leq 0,05$) a partir dos 20+4 dias, alcançando 3,97 mmol g⁻¹ ao final do armazenamento (Figura 2C). Apesar das raízes armazenadas a 13 °C terem sido influenciadas pela baixa temperatura, inicialmente, o conteúdo de prolina se manteve constante a partir dos 20+4 dias com valores 10,34 vezes menor no último tempo de armazenamento, em relação a temperatura de 6 °C (Figura 2C). A cv. BRS Rubissol armazenada a 6 °C reduziu no conteúdo de prolina até os 40+4 dias, onde o conteúdo foi inferior à temperatura de 13 °C. Entretanto, no último tempo de avaliação (50+4 dias) o conteúdo de prolina foi superior 2,93 vezes em comparação com as raízes armazenadas a 13 °C, com 1,24 mmol g⁻¹ (Figura 2D).

Estes resultados são consistentes com os apresentados por Wang *et al.* (2019), no qual os autores observaram acréscimo de prolina nas raízes de batata-doce ao longo de 16 dias de armazenamento a 4 °C em comparação a temperatura de 16 °C. A prolina desempenha funções como regulador osmótico celular, mantém a turgescência, além de proteger a integridade proteica (LI *et al.*, 2014). Em situações de armazenamento a baixas temperaturas de produtos pós-colheita como frutos e hortaliças, a prolina é acumulada como estímulo de resposta à defesa contra o frio (GAO *et al.*, 2016; GE *et al.*, 2019). Isso leva a sugerir que a ‘BRS Amélia’ tem um mecanismo de adaptação mais imediato que a ‘BRS Rubissol’, quando submetidas a temperaturas abaixo da crítica. Os resultados apresentados são contundentes para tal afirmação

ao observar que o acúmulo de prolina na cv. BRS Amélia foi superior à BRS Rubissol, com acréscimo total de 2,68 mmol g⁻¹.

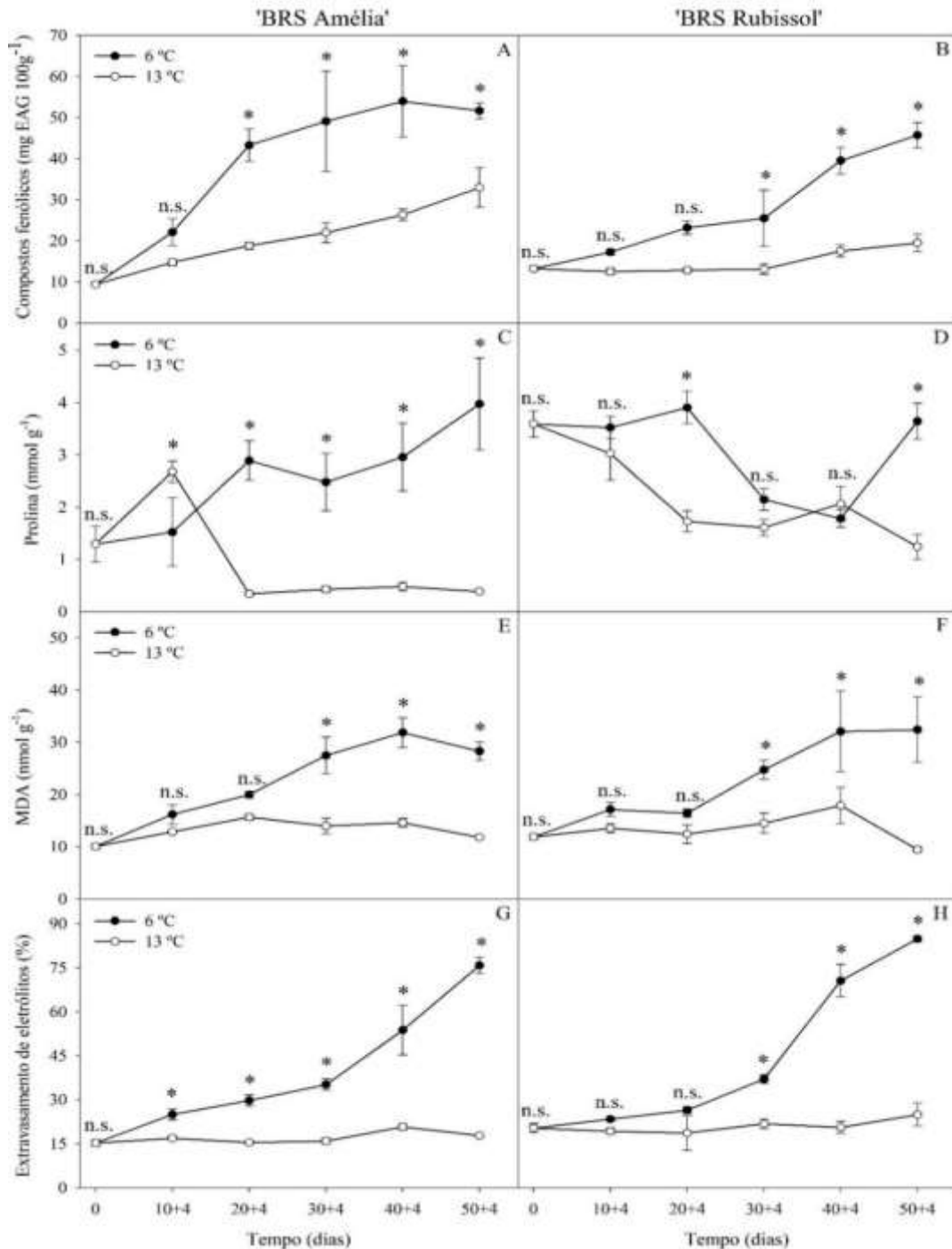


Figura 2 – Compostos fenólicos (A e B), prolina (C e D), MDA (E e F) e extravasamento de eletrólitos (G e H) em raízes de batata-doce cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol durante armazenamento a 6 e 13 °C e 4 de recondicionamento ambiente. Dados representam a média ± erro padrão. n.s. e * indicam diferença não significativa ($P > 0,05$) e significativa ($P \leq 0,05$), respectivamente, pelo teste F.

Conteúdo de MDA e extravasamento de eletrólitos

O conteúdo de malondialdeído (MDA) apresentou comportamento semelhante entre as cultivares estudadas ao longo do tempo de armazenamento (Figura 2E e 2F). Em raízes armazenadas a 6 °C o conteúdo de MDA não apresentou diferença significativa ($P > 0,05$) até os 20+4 dias quando comparado com 13 °C. A partir deste período, o armazenamento a 6 °C teve ligeiro aumento até os 50+4 dias, variando entre 27,48 e 28,28 nmol g⁻¹ na cv. BRS Amélia (Figura 2E) e de 24,71 a 32,39 nmol g⁻¹ na ‘BRS Rubissol’ (Figura 2F), sendo superior em 2,39 e 3,42 vezes, respectivamente em relação a temperatura de 13 °C ao final do tempo de armazenamento.

O conteúdo de MDA é considerado excelente indicador de danos na membrana durante o estresse para medir o grau da peroxidação lipídica, uma vez que o primeiro é o resultado final da ação do segundo (GE *et al.*, 2019). Com base nisso e nos resultados explanados (Figura 2E e 2F), entende-se que a temperatura de 6 °C influenciou na degradação oxidativa dos lipídeos, consideravelmente e de forma muito semelhante entre as cultivares. Ji *et al.* (2017) e Wang *et al.* (2019) também observaram acúmulo considerável de MDA em batata-doce sob baixas temperaturas ao longo do período de armazenamento.

Independente da temperatura, o extravasamento de eletrólitos foi semelhante quanto ao comportamento ao longo do armazenamento entre as duas cultivares estudadas (Figura 2G e 2H). As raízes das cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol armazenadas a 6 °C tiveram acréscimo gradual no extravasamento até os 30+4 dias, com aumento expressivo a partir desse tempo de armazenamento. O incremento total de extravasamento nesta temperatura foi de 4,97 e 4,17 vezes o valor inicial, nas cvs. BRS Amélia (Figura 2G) e BRS Rubissol (Figura 2H), respectivamente. A temperatura de armazenamento a 13 °C não influenciou no extravasamento de eletrólitos das cultivares estudadas, mantendo-se constante desde o início do armazenamento.

Assim como o MDA, o extravasamento de eletrólitos também é capaz de medir a extensão do dano ocasionado nas membranas a partir do lixiviado tecidual (CÔTÉ e al., 1993). O aumento deste extravasamento em produtos pós-colheita causado pela injúria por frio já está bem estabelecido na literatura. Em batata-doce, Li *et al.* (2018) observaram que o armazenamento a 4 °C por 28 dias aumenta consideravelmente o extravasamento em relação ao armazenamento a 13 °C. Estes resultados corroboram com os resultados apresentados, quanto a influência negativa da baixa temperatura sobre as raízes de batata-doce armazenadas aos 30+4 dias.

Peroxidase, polifenoloxidase e ascorbato peroxidase

As raízes de batata-doce, cultivar BRS Amélia, apresentaram maior atividade da peroxidase (POD) a partir dos 20+4 dias a 6 °C quando comparadas com as armazenadas a 13 °C (Figura 3A). Para a cv. BRS Rubissol foi verificado que as raízes armazenadas a 6 °C apresentaram maior atividade entre 20 e 40+4 dias em relação a 13 °C (Figura 3B). Na cv. BRS Amélia, as raízes armazenadas a 6 °C, atingiram o pico na atividade da POD aos 30+4 dias superando em 5,8 vezes a atividade observada a 13 °C (Figura 3A). Em contraste, o pico da POD na ‘BRS Rubissol’ armazenadas a 6 °C ocorreu de forma antecipada (20+4 dias), superando em 2,8 vezes a atividade obtida a 13 °C (Figura 3B).

A POD é uma oxirredutase normalmente induzida por condições de estresse biótico e abiótico (SINGH *et al.*, 2016). A sua ação em catalisar a oxidação de compostos fenólicos na presença de peróxido de hidrogênio a torna uma importante enzima desintoxicante (MENOLLI *et al.*, 2008; MENOLLI *et al.*, 2011; RAIMBAULT *et al.*, 2011). Contudo, o produto da oxidação dos fenólicos, as *o*-quinonas, são moléculas altamente reativas que se polimerizam em pigmentos marrons (TREJO-MÁRQUEZ *et al.*, 2010). Logo, a indução da atividade da POD a 6 °C pode estar envolvida no escurecimento da periderme das raízes de ambas as cvs. de batata-doce.

Além da POD, a reação catalisada pela polifenoloxidase (PPO) também é geralmente associada ao escurecimento enzimático característico da injúria por frio em frutos e hortaliças (MENOLLI *et al.* 2008; TREJO-MÁRQUEZ *et al.*, 2010). Na cv. BRS Amélia, as temperaturas estudadas praticamente não afetaram a atividade da PPO (Figura 3C). Em contraste, a atividade da PPO na cv. BRS Rubissol foi induzida pela temperatura de 6 °C, superando em até 2,4 vezes a atividade obtida a 13 °C, aos 50+4 dias, onde a atividade enzimática foi máxima (Figura 3D). Esses resultados sugerem que o mecanismo enzimático envolvido no escurecimento da periderme nas condições de injúria por frio difere entre os genótipos estudados. Na cv. BRS Amélia, o progresso do escurecimento externo da cv. BRS Rubissol em condição ambiente após a exposição a 6 °C parece estar mais relacionado com o aumento da POD que o da PPO. Por outro lado, o aumento na atividade da PPO, concomitante ao aumento do escurecimento da periderme da cv. BRS Rubissol, sugere que o acúmulo de compostos escurecidos resulta principalmente da oxidação dos compostos fenólicos pela PPO, enquanto a reação catalisada pela POD atuou mais como uma resposta inicial ao estresse (MENOLLI *et al.*, 2011).

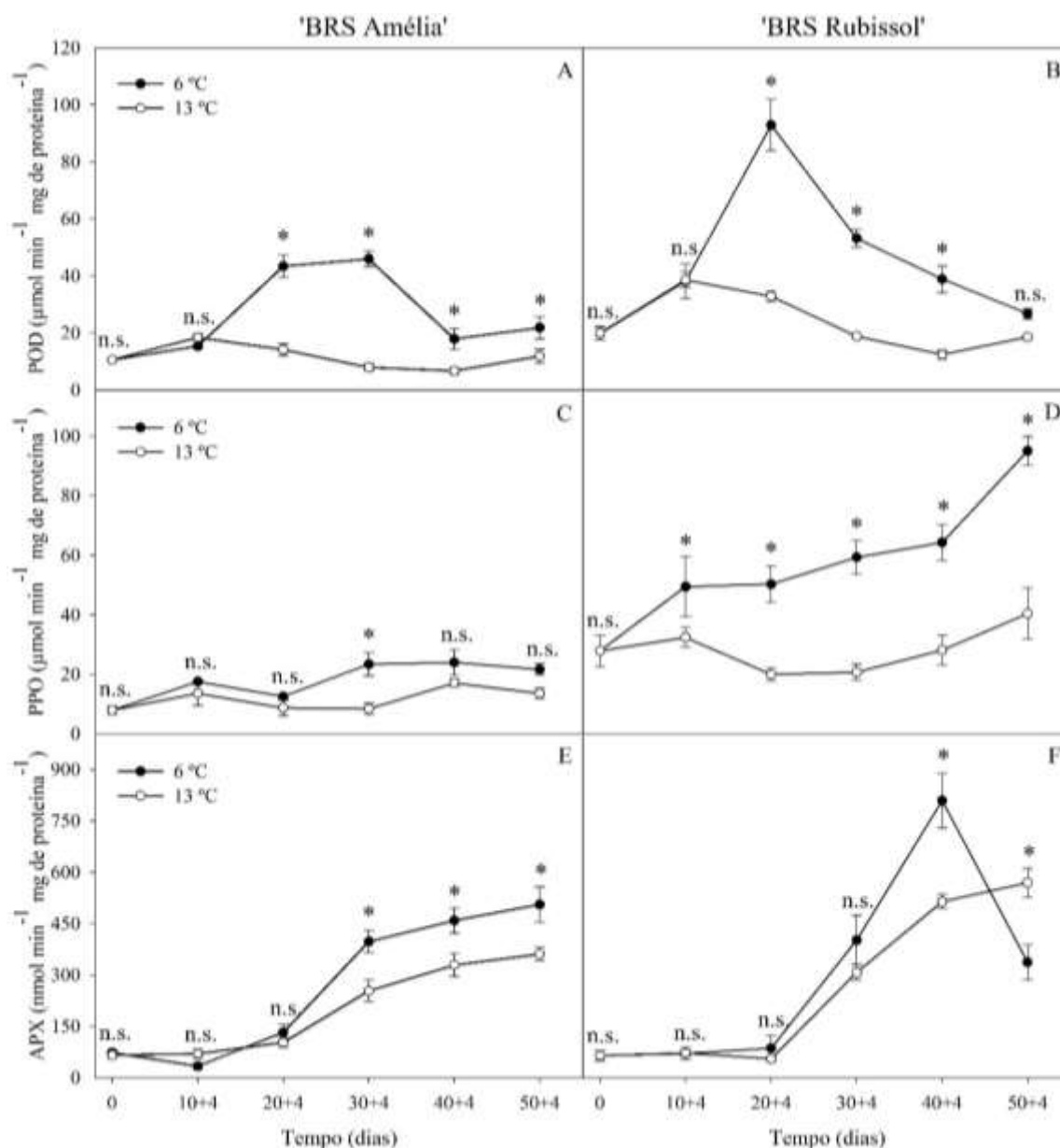


Figura 3 – Peroxidase (A e B), polifenoloxidase (C e D) e ascorbato peroxidase (E e F) em raízes de batata-doce cvs. BRS Amélia e BRS Rubissol durante armazenamento a 6 e 13 °C e 4 de recondição ambiente. Dados representam a média \pm erro padrão. n.s. e * indicam diferença não significativa ($P > 0,05$) e significativa ($P \leq 0,05$), respectivamente, pelo teste F.

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) praticamente não se alterou até os 20+4 dias, independentemente dos genótipos e temperaturas empregadas. A partir dos 30+4, a atividade da APX na cv. BRS Amélia foi induzida pela temperatura de 6 °C, alcançando valor de até 1,6 vezes ao obtido a 13 °C (Figura 3E). Na cv. BRS Rubissol, a atividade da APX submetida a temperatura de 6 °C foi superior a temperatura de 13 °C apenas aos 40+4 dias (Figura 3F). Embora a APX seja conhecida como um importante componente do sistema de proteção contra o estresse oxidativo, nas condições do presente estudo, o aumento da atividade

da APX na cv. BRS Amélia armazenada a 6 °C não foi suficiente para mitigar os danos causados pelo frio. Resultado semelhante foi observado em uma cultivar chinesa de batata-doce sensível ao frio (WANG *et al* 2019). Apesar do aumento na atividade da APX, a cultivar Yanshu 25 armazenada a 4 °C não foi capaz de amenizar os efeitos da injúria por frio ao comparar com a temperatura de 13 °C por 16 dias de armazenamento.

CONCLUSÃO

As raízes de batata-doce, cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol podem ser armazenadas até 20 dias a 6 °C e 4 dias em temperatura ambiente sem prejudicar a qualidade das raízes.

O armazenamento da batata-doce por 50 dias a 6 °C, seguido de 4 dias de temperatura ambiente causaram severos danos externos e internos às raízes. Esses danos estão intimamente relacionados às enzimas oxidativas e compostos fenólicos totais. Apesar do maior conteúdo de prolina, MDA, extravasamento de eletrólitos e APX no armazenamento a 6 °C e 4 dias em temperatura ambiente, estes não foram suficientes para responder ao grau de danos às raízes de batata-doce. Com isso, as cultivares BRS Amélia e BRS Rubissol apresentaram danos por injúria por frio de maneira próximas, podendo designa-las como sensíveis a baixas temperaturas.

REFERÊNCIAS

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.

BENJAMIN, N. D., MONTGOMERY, M. W. Polyphenol oxidase of royal ann cherries: purification and characterization. **Journal of Food Science**, v. 38, n. 5, p. 799-806, 1973.

CÔTÉ, F., THOMPSON, J. E., WILLEMOT, C. Limitation to the use of electrolyte leakage for the measurement of chilling injury in tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 3, n. 2, p. 103-110, 1993.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

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.

GAO, H., ZHANG, Z., LV, X., CHENG, N., PENG, B., CAO, W. Effect of 24-epibrassinolide on chilling injury of peach fruit in relation to phenolic and proline metabolisms. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, n. 1, p. 390-397, 2016.

GE, W., KONG, X., ZHAO, Y., WEI, B., ZHOU, Q., JI, S. (2019). Insights into the metabolism of membrane lipid fatty acids associated with chilling injury in post-harvest bell peppers. **Food Chemistry**, v. 295, n. 1, p. 26-35, 2019.

HARRISON, H. F., PETERSON, J. K., SNOOK, M. E., BOHAC, J. R., JACKSON, D. M. Quantity and potential biological activity of caffeic acid in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] storage root periderm. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 10, p. 2943-2948, 2003.

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. 1, p. 189-198, 1968.

HEYES, J. A. Chilling injury in tropical crops after harvest. **Annual Plant Reviews online**, v. 1, n. 1, p. 149-180, 2018.

JACKMAN, R. L., YADA, R. Y., MARANGONI, A., PARKIN, K. L., STANLEY, D. W. Chilling injury. A review of quality aspects. **Journal of Food Quality**, v. 11, n. 4, p. 253-278, 1988.

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, n.1, p. 97-108, 2017.

KAR, M., MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, n. 2, p. 315-319, 1976.

LI, P., ZHENG, X., LIU, Y., ZHU, Y. Pre-storage application of oxalic acid alleviates chilling injury in mango fruit by modulating proline metabolism and energy status under chilling stress. **Food Chemistry**, v. 142, n. 1, p. 72-78, 2014.

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, n. 1, p. 1-9, 2018.

LIMA, A. L. S., DAMATTA, F. M., PINHEIRO, H. A., 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, n. 1, p. 239-247, 2002.

LUENGWILAI, K., BECKLES, D. Climacteric ethylene is not essential for initiating chilling injury in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Alisa Craig. **Journal of Stored Products and Postharvest Research**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2010.

MENOLLI, L. N., FINGER, F. L., BARBOSA, J. M., CORREIA, T. D., VIEIRA, L. M. Peroxidase activity in roots of arracacha affected by pH and temperature. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 513-518, 2011.

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.

MONTES, S. M. N. M. **Cultura da batata-doce**: do plantio à comercialização. Campinas: Instituto Agronômico, São Paulo, 2013. 80 p.

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

PADDA, M., PICHA, D. Effect of low temperature storage on phenolic composition and antioxidant activity of sweetpotatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 1, p. 176-180, 2008.

PATEL, B., TANDEL, Y. N., PATEL, A. H., PATEL, B. L. Chilling injury in tropical and subtropical fruits: A cold storage problem and its remedies: A review. **International Journal of Science, Environment and Technology**, v. 5, n. 2, p. 1882-1887, 2016.

PESIS, E., MARINANSKY, R., ZAUBERMAN, G., FUCHS, Y. Prestorage low-oxygen atmosphere treatment reduces chilling injury symptoms in 'Fuerte' avocado fruit. **HortScience**, v. 29, n. 9, p. 1042-1046, 1994.

PICHA, D. H. Chilling injury, respiration, and sugar changes in sweet potatoes stored at low temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 112, n. 3, p. 497-502 1987.

RAIMBAULT, A.-K., MARIE-ALPHONSINE, P.-A., HORRY, J.-P., FRANCOIS-HAUGRIN, M., ROMUALD, K., SOLER, A. Polyphenol oxidase and peroxidase expression in four pineapple varieties (*Ananas comosus* L.) after a chilling injury. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 342-348, 2011.

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.

SINGH, R., SINGH, S., PARIHAR, P., MISHRA, R. K., TRIPATHI, D. K., SINGH, V. P., CHAUHANM D. K., PRASAD, S. M. Reactive oxygen species (ROS): Beneficial companions of plants' developmental processes. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1299, 2016.

SOUZA, C. S., FINGER, F. L. Reguladores vegetais sobre a brotação e crescimento de taioba refrigerada [*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott]. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 10, n. 1, p. 90-99, 2014.

TREJO-MÁRQUEZ, M. A., RAMÍREZ-VILLATORO, G., CAMACHO DE LA ROSA, N. A. Polyphenol oxidase and peroxidase activities in mangoes stored at chilling temperature. **Acta Horticulturae**, n. 864, p. 395-402, 2010.

VITHU, P., DASH, S. K., RAYAGURU, K. Post-harvest processing and utilization of sweet potato: a review. **Food Reviews International**, v. 35, n. 8, p. 726-762, 2019.

WANG, S. Q., TANG, J., HU, K. D., HUANG, Z. Q., YANG, F., ZHANG, H. Y. HU, L. Y., LI, Y. H., YAO, G. F., 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.

XIE, Z., WANG, A., LI, H., YU, J., JIANG, J., TANG, Z., MA, D., ZHANG, B., HAN, XIE, Z., ZHOU, Z., LI, H., YU, J., JIANG, J., TANG, Z., MA, D., ZHANG, B., HAN, Y., LI, Z. High throughput sequencing identifies chilling responsive genes in sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam.) during storage. **Genomics**, v. 111, n. 5, p. 1006-1017, 2019.

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, 2017

ZOU, Y., ZHANG, L., RAO, S., ZHU, X., YE, L. The relationship between the expression of ethylene-related genes and papaya fruit ripening disorder caused by chilling injury. **PLoS ONE**, v. 9, n. 12, p. 1-24, 2014.

CONCLUSÃO GERAL

O armazenamento das raízes de batata-doce a 6 °C das cultivares de batata-doce BRS Amélia e BRS Rubissol teve efeitos depreciativos no processamento de *chips* a partir dos 30 dias e 4 dias de temperatura ambiente, provocados pelas alterações do metabolismo dos carboidratos. Além disso, as raízes apresentaram modificações bioquímicas que comprometeram as características internas e externas.