

MARCELO RODRIGO KRAUSE

**AÇÃO DE INIBIDORES DE BROTAÇÃO APLICADOS NA PÓS-COLHEITA
DA BATATA**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

K91a Krause, Marcelo Rodrigo, 1995-
2019 Ação de inibidores de brotação aplicados na pós-colheita da
batata / Marcelo Rodrigo Krause. – Vicososa, MG, 2019.
viii, 45 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Fernando Luiz Finger.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Batata - Fisiologia pós- colheita. 2. Asterix. 3. Glifosato.
4. Paclobutrazol. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.216

MARCELO RODRIGO KRAUSE

**AÇÃO DE INIBIDORES DE BROTAÇÃO APLICADOS NA PÓS-COLHEITA
DA BATATA**

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

APROVADO: 19 de julho de 2019.

Paula Cristina Carvalho Lima
Paula Cristina Carvalho Lima

João Nacir Colombo
João Nacir Colombo

Fernanda Ferreira de Araújo
Fernanda Ferreira de Araújo
(Coorientadora)

Fernando Luiz Finger
Fernando Luiz Finger
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por guiar e abençoar os meus passos.

À minha família, em especial meus pais Helmar e Rosinéia, e meu irmão Marcos Paulo, por toda dedicação, apoio e motivação que sempre me proporcionaram.

Ao professor Fernando Luiz Finger, pela orientação e ensinamentos, contribuindo para minha formação profissional.

À Fernanda Ferreira de Araújo pela orientação, ensinamentos e dedicação.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia e o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela estrutura e oportunidade da realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

Aos funcionários do Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita de Produtos Hortícolas, Geraldo e José Maurício pelo auxílio durante a condução da pesquisa.

A todos os funcionários da Horta Nova, pela ajuda nas atividades de campo.

Aos amigos do Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita de Produtos Hortícolas pela amizade, conversas e ajuda na condução dos experimentos, em especial, Karol, Jean, Fernanda, Mário, Nicolas, Mirelle, Marília, André e Paulinha.

E um agradecimento especial a todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente para a obtenção do título de mestre em Fitotecnia.

BIOGRAFIA

MARCELO RODRIGO KRAUSE, filho de Helmar Krause e Rosinéia Kurth Krause, nasceu em 09 de novembro de 1995 na cidade de Santa Maria de Jetibá-ES.

Em 2018, graduou-se em Agronomia pelo Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Santa Teresa.

Em março de 2018 ingressou no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia em nível de mestrado, defendendo sua dissertação e obtendo o título de *Magister Scientiae* em julho de 2019.

RESUMO

KRAUSE, Marcelo Rodrigo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2019. **Ação de inibidores de brotação aplicados na pós-colheita da batata.** Orientador: Fernando Luiz Finger. Coorientadora: Fernanda Ferreira de Araújo.

Um dos grandes desafios na produção de batata (*Solanum tuberosum* L.) destinada ao processamento industrial é o controle da brotação durante o armazenamento. A brotação gera modificações no metabolismo dos carboidratos influenciando a qualidade de processamento dos tubérculos. Diante da necessidade de produtos eficazes no controle de brotação e preservação da qualidade da batata, o CIPC [Isopropil N- (3-clorofenil) carbamato] é o mais utilizado, porém devido a sua toxidez e efeitos sobre o meio ambiente, a utilização será limitada ou proibida em poucos anos. Portanto, com o intuito de encontrar produtos que possam substituir o CIPC, objetivou-se avaliar a ação da aplicação pós-colheita do glifosato e paclobutrazol (PBZ) sobre a brotação, o metabolismo dos carboidratos e coloração de fritura de tubérculos armazenados a 8 °C. O cultivo da batata cv. Asterix foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV) durante o período de julho a novembro de 2018. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida, sendo os tratamentos na parcela os inibidores de brotação: água (Controle-T1); 150 mg L⁻¹ de glifosato (T2); 300 mg L⁻¹ de glifosato (T3); 10 mg L⁻¹ de PBZ (T4); 100 mg L⁻¹ de PBZ (T5) e as subparcelas compostas pelos tempos de armazenamento: 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias, com quatro repetições. Os tubérculos foram imersos nas suas respectivas soluções por um minuto. Foram realizadas as seguintes análises: perda de massa fresca acumulada; número e comprimento de brotos; atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase; compostos fenólicos; incidência de brotação; sólidos insolúveis em álcool; açúcares solúveis totais, redutores e não redutores, e coloração após fritura. Os tubérculos tratados com 100 mg L⁻¹ de PBZ apresentam menor comprimento e número de brotos quando comparado ao tratamento com glifosato. A atividade da enzima peroxidase mostrou acréscimos em todos os tratamentos após o início da brotação. Houve maior atividade da enzima polifenoloxidase aos 60 dias de armazenamento nos tubérculos do controle e nos tratados com glifosato (150 mg L⁻¹). Não houve variação na quantificação de compostos fenólicos ao longo do período de armazenamento. Os tubérculos tratados com PBZ nas concentrações 10 e 100 mg L⁻¹ mostraram menor incidência de brotação ao longo do período de armazenamento, aumentando em 12,5% o período de dormência. A aplicação de 10 mg L⁻¹ de PBZ proporcionou menores

teores de açúcares redutores em uma maior extensão do período armazenamento e maiores valores de sólidos insolúveis em álcool. Os palitos de maior escurecimento, os quais foram atribuídos nota 2, foram observados em mais tempos de armazenamento para os tratamentos controle e glifosato 150 mg L⁻¹. O PBZ é mais eficiente no controle da brotação que o glifosato por proporcionar redução do número e comprimento dos brotos comparado aos demais tratamentos. Tubérculos tratados com PBZ na concentração de 10 mg L⁻¹ apresentam menor incidência de brotação e taxa de degradação de amido, maior teor de sólidos insolúveis em álcool, e manutenção dos açúcares redutores dentro da faixa preconizada para processamento industrial. Contrariamente, a aplicação de glifosato não é efetiva em reduzir a incidência de brotação, apresentando baixos teores de sólidos insolúveis em álcool e altos teores de açúcares redutores, e uma redução da qualidade de processamento industrial.

ABSTRACT

KRAUSE, Marcelo Rodrigo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2019. **Action of sprout inhibitors applied at post-harvest of potato.** Advisor: Fernando Luiz Finger. Co-advisor: Fernanda Ferreira de Araújo.

One of the main challenges in the production of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for industrial processing is the control of sprouting during storage. Sprouting causes changes in carbohydrate metabolism influencing the processing quality of the tubers. Faced with the need for effective products to control sprouting and preserve potato quality, CIPC [Isopropyl N-(3-chlorophenyl) carbamate] is the most widely used potato sprout inhibitor, but due to toxic effects and environmental issues, its use will be limited or prohibited within a few years. Therefore, in order to find products that could replace the CIPC, the aim of this study was to evaluate the effect of the post-harvest application of glyphosate and paclobutrazol (PBZ) on sprouting, carbohydrate metabolism and frying quality of potato tubers stored at 8 °C. Potatoes of the cultivar Asterix were grown at Federal University of Viçosa (UFV) during the period from July to November 2018. The experimental design was completely randomized in split-plot scheme, with the treatments in the plot being the sprouting inhibitors: water (Control-T1); 150 mg L⁻¹ glyphosate (T2); 300 mg L⁻¹ glyphosate (T3); 10 mg L⁻¹ PBZ (T4); 100 mg L⁻¹ PBZ (T5) and the subplots the storage times: 0, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 days, with four replicates. The tubers were immersed in their respective solutions for one minute. The following analyzes were performed: loss of accumulated fresh mass, number and length of sprouts, peroxidase and polyphenoloxidase activity, phenolic compounds content, sprouting incidence, alcohol-insoluble solids, total soluble sugars, reducing and non-reducing sugars, and color after frying. Tubers treated with 100 mg L⁻¹ of PBZ presented less and smaller sprouts when compared to glyphosate. Peroxidase activity increased for all treatments after sprouting began. For polyphenol oxidase, higher activity was observed at 60 days of storage in the control and glyphosate (150 mg L⁻¹). There was no variation of phenolic compounds content over the storage time. In general, tubers treated with PBZ at 10 and 100 mg L⁻¹ showed a lower incidence of sprouting throughout storage and increased the dormancy period in 12.5%. The application of 10 mg L⁻¹ of PBZ provided lower reducing sugar content over a longer storage and higher values of alcohol-insoluble solids. French fries, which were assigned grade 2, were observed at more storage times for the control and glyphosate 150 mg L⁻¹ treatments. Paclobutrazol is more efficient than glyphosate to control sprouting because it reduces the number and length of sprouts compared to other treatments. Tubers treated with

paclobutrazol at a concentration 10 mg L^{-1} present lower incidence of sprouting and starch degradation rate, higher content of alcohol-insoluble solids, and maintain the reducing sugars content within the range recommended for industrial processing. In contrast, glyphosate is not effective in reducing the incidence of sprouting, presenting low levels of alcohol-insoluble solids, high levels of reducing sugars and a reduction in the quality for industrial processing.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS.....	3
ARTIGO I: EFEITO DO GLIFOSATO E PACLOBUTRAZOL NO CONTROLE DA BROTAÇÃO E NA ATIVIDADE DA ENZIMÁTICA DE TUBÉRCULOS DE BATATA.....	7
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS.....	22
ARTIGO II: METABOLISMO DE CARBOIDRATOS E QUALIDADE DE PROCESSAMENTO DE TUBÉRCULOS DE BATATA COM APLICAÇÃO DE INIBIDORES DE BROTAÇÃO.....	26
RESUMO.....	26
ABSTRACT.....	27
MATERIAL E MÉTODOS.....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS.....	40
CONCLUSÃO GERAL	45

INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L.) pertence à família Solanaceae e é considerada uma das mais importantes fontes de alimento para a população humana em virtude da elevada produtividade e qualidade nutricional de seus tubérculos (SEGATTO et al., 2004; EVANGELISTA et al., 2011). Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a área cultivada com batata no planeta é de aproximadamente 19,5 milhões de hectares, distribuídos por mais de 150 países (FAO, 2017). No Brasil, estima-se que o cultivo de batata representa uma área 125,7 mil hectares localizados principalmente nas regiões Sul e Sudeste (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BATATA, 2016).

No território nacional, a maioria da produção é destinada para comercialização *in natura*, entretanto, o mercado de batatas pré-fritas congeladas está em crescimento. Para atender essa demanda houve um aumento de 11,8% da área plantada destinada à indústria de batata no Brasil, alcançando uma área cultivada de 20 mil hectares, com perspectivas de aumento para as próximas safras (ANUÁRIO 2017-2018). Dentre as cultivares mais utilizadas para processamento destaca-se a Asterix, que é uma cultivar semi-tardia, de pele vermelha, rendimento bastante elevado, tubérculos numerosos e ovais-alongados (ABBA, 2019). Embora apresente ótimos teores de matéria seca, característica desejada em batata destinada a indústria, essa cultivar possui como desvantagem a rápida quebra de dormência e o surgimento da brotação durante o armazenamento (BRAUN, 2007).

O surgimento da brotação está relacionado às condições fisiológicas e de armazenamento dos tubérculos (OWOLABI et al., 2013). A presença de brotações causa aumento da atividade metabólica o que ocasiona alterações na textura, provocando murchamento, e por consequência, reduzindo a massa, a qualidade nutricional e de processamento dos tubérculos (SORCE et al., 2005). Nesse sentido, tornam-se fundamentais o uso de técnicas que possibilitem prolongar o tempo de dormência dos tubérculos durante o armazenamento.

Para aumentar o período de dormência e retardar o início da brotação, o uso de baixas temperaturas é uma das alternativas adotadas. Entretanto, quando os tubérculos são armazenados sob temperaturas inferiores a 10 °C, ocorre aumento dos níveis de açúcares (glicose e frutose) devido à degradação do amido, provocando o adoçamento da batata (BERVALD et al., 2010). O adoçamento causa o escurecimento durante a fritura, que é atribuída à reação de Maillard, quando o grupo carbonila dos açúcares redutores interagem

com o grupo amino do aminoácido ou proteína, produzindo melanoidinas, reduzindo a qualidade ou, em casos mais extremos, impedindo a comercialização do produto (RICHARDSON et al., 1990).

Nesse sentido, para aumentar o tempo de armazenamento de batata torna-se necessária a associação de baixas temperaturas e aplicação de inibidores de brotação. O CIPC [Isopropil N- (3-clorofenil) carbamato], que está em uso há mais de 50 anos, é o inibidor mais difundido e comumente utilizado para batatas destinadas ao processamento e consumo *in natura* (SMITH & BUCHER, 2012; PAUL et al., 2016). Sua popularidade em relação aos organoclorados está relacionada com sua eficácia e menor toxidez devido à sua fácil decomposição. Porém, após algumas décadas de uso, estudos relacionados ao impacto ambiental do produto e a formação de novos compostos durante a sua degradação revelaram seu potencial tóxico para o meio ambiente e carcinogênico para os seres humanos (SMITH & BUCHER, 2012). Diante dessas informações, a Agência de Proteção do Ambiente dos EUA aprovou uma redução expressiva dos resíduos do CIPC admissíveis em batatas frescas nos Estados Unidos de 30 a 50 mg kg⁻¹ e a União Europeia também reduziu a tolerância para 10 mg kg⁻¹ de batata (EUROPEAN COMMISSION, 2008; EPA, 2012). Com isso, acredita-se que seu uso será limitado ou proibido em poucos anos.

Nesse contexto, existe uma preocupação por parte dos pesquisadores em investigar a potencialidade de novos produtos para essa finalidade. A aplicação de óleos essenciais de eugenol e mentol foi eficiente em reduzir a perda de massa e a brotação (FINGER et al., 2018). Os óleos de palmorosa (*Cymbopogon martinii*) e ajowan (*Trachyspermum ammi*) inibiram a brotação, reduziram a taxa de acúmulo de açúcares redutores e a expressão de genes chave do processo de brotação (SHUKLA et al., 2019). Entretanto, esses compostos não retardam o início da brotação, mas sim, atuam de modo a danificar fisicamente o broto em desenvolvimento e suprimir o seu alongamento, sendo necessária mais de uma aplicação para que o controle seja efetivo (KLEINKOPF et al., 2003).

Na busca por produtos que atuem de modo a aumentar o período de dormência e retardar a brotação, assim como o CIPC, foram realizados trabalhos com glifosato e paclobutrazol (PBZ) (PAUL & EZEKIEL, 2006; NYANKANGA et al., 2018). O glifosato, assim como o PBZ, atua de forma sistêmica no tubérculo, promove mudanças fisiológicas, contribuindo para redução das brotações. O glifosato pertence ao grupo químico glicina substituída, seu mecanismo de ação é a inibição da 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato-sintase

envolvida na via do chiquimato (KASUBA et al., 2017). Esse composto interfere na produção de aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, essenciais para o crescimento das plantas (YAMADA & CASTRO, 2007). O PBZ pertence ao grupo dos triazóis e interfere na biossíntese de giberelinas (PADILLA et al., 2015). Essa molécula altera o balanço hormonal de tecidos vegetais, diminuindo a divisão celular no meristema (JALEEL et al., 2007; UTAMI et al., 2016).

Assim como o CIPC, o glifosato também é um herbicida, porém a justificativa de sua utilização está relacionada com a sua maior segurança toxicológica e ambiental que o CIPC (PAUL et al., 2014). Essa maior segurança se deve a sua via de atuação: como atua na via do chiquimato, e esta existe apenas em plantas e microorganismos, o glifosato pode ser considerado menos tóxico para seres humanos (MARÍA et al., 2006). Já o PBZ possui registro de utilização em manga e para tratamento de sementes de tomate (BRASIL, 2019), com potencial de expansão para mais culturas agrícolas.

Diante disso, acredita-se que o uso de glifosato e PBZ possa ser efetivo no controle de brotação de batata da cv. Asterix, em armazenamento refrigerado. Tal hipótese baseia-se nos trabalhos citados, em que esses inibidores são considerados eficientes no controle de brotação durante o armazenamento dos tubérculos em temperatura ambiente e em diferentes cultivares. Porém, são necessários estudos que avaliem a eficácia do glifosato e PBZ em batatas cv. Asterix sob armazenamento a 8 °C.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO 2017-2018. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2017-2018.aspx>> Acesso em: 25 abr. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BATATA – ABBA. **Variedades–Asterix**. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/images/variedades/asterix.pdf>> Acesso em: 14 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BATATA, 2016. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2018/01/%C3%81REA-PRODU%C3%87%C3%83O-E-PRODUTIVIDADE.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2019

BERVALD, C. M. P.; BACARIN, M. A.; DEUNER, S.; TREVIZOL, F. C. Variação do teor de carboidratos em genótipos de batata armazenados em diferentes temperaturas. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 477-483, 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **AGROFIT**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 15 jun. 2019.

BRAUN, H. **Qualidade pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata influenciada por doses de nitrogênio**. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

EPA, 2012. **Pesticide Reregistration Status**. Environmental Protection Agency. Disponível em: <http://www.EPA.gov/pesticides/reregistration/status_page_c.htm> Acesso em: 05 abr. 2019

EUROPEAN COMMISSION, 2008. **Commission Regulation (EC) No. 149/2008 of 29 January 2008 amending Regulation (EC) N°. 396/2005 of the European Parliament and of the Council by establishing Annexes II, III and IV setting maximum residue levels for products covered by Annex I thereto**. European Union, Brussels, 2006.

EVANGELISTA, R. M.; NARDIN, I.; FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Qualidade nutricional e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 8, p. 953-960, 2011.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (Roma, Itália). **FAOSTAT: Crops**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>>. Acesso em: 10 abr. 2019

FINGER, F. L.; SANTOS, M. M. D. S.; ARAUJO, F. F.; LIMA, P. C. C.; COSTA, L. C. D.; FRANÇA, C. D. F. M.; QUEIROZ, M. D. C. Action of Essential Oils on Sprouting of Non-Dormant Potato Tubers. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, p. 1-10, 2018.

JALEEL, C. A.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; PANNEERSELVAM, R. Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. To paclobutrazol treatment under salinity. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 29, n. 3, p. 205-209, 2007.

KAŠUBA, V.; MILIĆ, M.; ROZGAJ, R.; KOPJAR, N.; MLADINIĆ, M.; ŽUNEC, S.; VRDOLJAKIVAN, A. L.; PAVIČIĆ, I.; ČERMAK, A. M. M.; PIZENT, A.; LOVAKOVIĆ, B. T.; ŽELJEŽIĆ, D. Effects of low doses of glyphosate on DNA damage, cell proliferation and oxidative stress in the HepG2 cell line. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 23, p. 19267-19281, 2017.

KLEINKOPF, G. E.; OBERG, N. A.; OLSEN, N. L. Sprout inhibition in storage: current status, new chemistries and natural compounds. **American Journal of Potato Research**, v. 80, n. 5, p. 317-327, 2003.

MARÍA, N.; BECERRIL J. M.; GARCA-PLAZAOLA, J. I., HERNANDEZ, A. H.; FELIPE, M. R.; FERNÁNDEZ-PASCUAL M. New insights on glyphosate mode of action in nodular metabolism: role of shikimate accumulation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 7, p. 2621–2628, 2006.

NYANKANGA, R. O.; MURIGI, W. W.; SHIBAIRO, S. I.; OLANYA, O. M.; LARKIN, R. P. Effects of foliar and tuber sprout suppressants on storage of ware potatoes under tropical conditions. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 5, p. 539-548, 2018.

OWOLABI M. S.; OLOWU R. A.; LAJIDE L.; OLADIMEJI M. O.; PADILLA-CAMBEROS E. FLORES-FERNÁNDEZ J. M. Inhibition of potato tuber sprouting during storage by the controlled release of essential oil using a wick application method. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 83–87, 2013.

PADILLA, I. M.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; OLMOS, E.; BURGOS, L.; PIQUERAS, A. Effects of growth retardants on sprouting and development of apricot (*Prunus armeniaca* L.) and neem (*Azarchta indica* A. Juss.) nodal buds. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 122, n. 2, p. 285-297, 2015.

PAUL, V.; EZEKIEL, R. Sprout suppression of potato tubers stored at 18° C by pre-and post-harvest application of sub-lethal doses of glyphosate. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 11, n. 3, p. 300-305, 2006.

PAUL, V.; EZEKIEL, R.; PANDEY, R. Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 1-18, 2016.

PAUL, V.; PANDEY, R.; EZEKIEL, R.; KUMAR, D. Potential of glyphosate as a sprout suppressant for potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers during storage. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 293-305, 2014.

RICHARDSON, D.L.; DAVIES, H.V.; ROSS, H.A.; MACKAY, G.R. Invertase activity and its relations to hexose accumulation in potato tubers. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, p. 95- 99, 1990.

SEGATTO, F. B.; BISOGNIN, D. A.; BENEDETTI, M.; RAMPELOTTO, M. V.; TEIXEIRA, F. N. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004.

SHUKLA, S.; PANDEY, S. S.; CHANDRA, M.; PANDEY, A.; BHARTI, N.; BARNAWAL, D.; CHANOTIYA, C. S.; TANDON, S.; DAROKAR, M. P.; KALRA, A. Application of essential oils as a natural and alternate method for inhibiting and inducing the sprouting of potato tubers. **Food Chemistry**, v. 284, p. 171-179, 2019.

SMITH M. J.; BUCHER, G. Tools to study the degradation and loss of the N-phenyl carbamate chlorpropham – comprehensive review. **Environment International**, v. 49, p. 38-50, 2012.

SORCE C.; LORENZI R.; PARISI B.; RANALLI P. Physiological mechanisms involved in potato (*Solanum tuberosum*) tuber dormancy and the control of sprouting by chemical suppressants. **Acta Horticulturae**, v. 684, p. 177–186, 2005.

UTAMI, N.; DEVY, L.; ARIANTO, A. Growth and Yield Response of Rodent Tuber (*Typhonium flagelliforme* (Lodd.) Blume) under Different Light Intensities and Concentrations of Paclobutrazol. **Journal Jamu Indonesia**, v. 1, n. 3, p. 29-35, 2016.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. **Informações Agronômicas**, v. 119, p. 1-32, 2007.

**EFEITO DO GLIFOSATO E PACLOBUTRAZOL NO CONTROLE DA BROTAÇÃO
E NA ATIVIDADE DA ENZIMÁTICA DE TUBÉRCULOS DE BATATA**

RESUMO

Um dos grandes desafios na produção de batata (*Solanum tuberosum* L.) destinada à indústria é o controle da brotação durante o armazenamento. O CIPC é o produto mais utilizado, porém devido a sua toxidez e efeitos no meio ambiente, seu uso será limitado ou proibido em poucos anos. Diante disso, existe uma procura por produtos que possam ser utilizados de forma eficaz no controle de brotação. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a ação da aplicação pós-colheita do glifosato e paclobutrazol (PBZ) sobre a brotação de batata durante o armazenamento refrigerado. O cultivo da batata cultivar Asterix foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV) durante o período de julho a novembro de 2018. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida, sendo os tratamentos na parcela os inibidores de brotação: água (Controle-T1); 150 mg L⁻¹ de glifosato (T2); 300 mg L⁻¹ de glifosato (T3); 10 mg L⁻¹ de PBZ (T4); 100 mg L⁻¹ de PBZ (T5) e as subparcelas composta pelos tempos de armazenamento: 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 dias com quatro repetições. Os tubérculos foram imersos nas respectivas soluções por um minuto e, posteriormente armazenados a 8 °C. Foram avaliados a perda de massa fresca acumulada; número e comprimento de brotos; atividade das enzimas peroxidase (POD) e polifenolxidase (PPO); e, compostos fenólicos. Os tubérculos tratados com PBZ a 100 mg L⁻¹ apresentaram menor comprimento e número de brotos quando comparado ao tratamento com glifosato. A atividade da enzima peroxidase mostrou acréscimos em todos os tratamentos após o início da brotação. Houve maior atividade da enzima polifenoloxidase aos 60 dias de armazenamento nos tubérculos do controle e nos tratados com glifosato (150 mg L⁻¹). Não houve variação dos compostos fenólicos ao longo do tempo de armazenamento. O PBZ é mais eficiente no controle da brotação quando comparado ao glifosato e ao controle, pela redução do número e comprimento dos brotos nos tubérculos de batata cv. Asterix durante o armazenamento a 8 °C. A atividade enzimática da POD não é influenciada pela aplicação dos inibidores de brotação. Tubérculos controle e tratados com glifosato na concentração 150 mg L⁻¹ apresentam aumento na atividade da PPO próximo ao período de brotação.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum tuberosum* L.; Asterix; aplicação pós-colheita

EFFECTS OF GLYPHOSATE AND PACLOBUTRAZOL ON POTATO TUBER SPROUT CONTROL AND ENZYMATIC ACTIVITY

ABSTRACT

One of the main challenges in the production of potato (*Solanum tuberosum* L.) for the industry is the control of sprouting during storage. CIPC is the most widely used potato sprout inhibitor, but due to toxic effects and environmental issues, its use will be limited or prohibited within a few years. Thus, there is a demand for other products that can be used effectively to control sprouting of storage potatoes. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of post-harvest application of glyphosate and paclobutrazol (PBZ) on potato sprouting during refrigerated storage. Potatoes of the cultivar Asterix were grown at Federal University of Viçosa (UFV) during the period from July to November 2018. The experimental design was completely randomized in split-plot scheme, with the treatments in the plot being the sprouting inhibitors: water (Control-T1); 150 mg L⁻¹ glyphosate (T2); 300 mg L⁻¹ glyphosate (T3); 10 mg L⁻¹ PBZ (T4); 100 mg L⁻¹ PBZ (T5) and the subplots the storage times: 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 days, with four replicates. The tubers were immersed in their respective solutions for one minute and then stored at 8 °C. The following variables were evaluated: loss of accumulated fresh mass; number and length of shoots; activity of the peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO) enzymes; and phenolic compounds content. The tubers treated with 100 mg L⁻¹ of PBZ present lower length and number of shoots, when compared to glyphosate. Peroxidase activity increased for all treatments after sprouting. For polyphenoloxidase, higher activity was observed at 60 days of storage in the control and glyphosate (150 mg L⁻¹) treatments. There was no variation in phenolic compounds content over the storage time. Paclobutrazol is more efficient in sprout control as compared to glyphosate and control by reducing the number and length of sprouts in potatoes of cv. Asterix during storage at 8 °C. The enzymatic activity of POD is not influenced by the application of sprout inhibitors. Control and glyphosate-treated tubers at the concentration of 150 mg L⁻¹ show an increase in PPO activity near the budding period.

KEYWORDS: *Solanum tuberosum* L.; Asterix; postharvest application

INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das principais culturas alimentícias do mundo. Estima-se que em 2017 foram produzidos cerca 388 milhões de toneladas de tubérculos, ocupando o quarto lugar na produção mundial, depois do arroz, trigo e milho (FAO, 2017). Destaca-se como um dos vegetais mais utilizados na indústria de processamento de alimentos (XIE et al., 2018), sendo a batata frita muito apreciada e consumida na maioria dos países.

A cadeia produtiva de batata pré-frita congelada difere da cultivada para consumo *in natura* e alguns desafios precisam ser superados por parte dos agricultores e pesquisadores. Um deles é desenvolver tecnologias para permitir o armazenamento em períodos que não são adequados para o desenvolvimento da cultura (ABB, 2016).

Um dos principais problemas durante o armazenamento é a brotação, que promove redução da qualidade nutricional e de processamento dos tubérculos de batata, representando perdas de 15-25% quando também considerado o ataque por microrganismos e murchamento (SORCE et al., 2005; MEHTA & SINGH, 2016). O surgimento da brotação está relacionado às condições fisiológicas e de armazenamento dos tubérculos (OWOLABI et al., 2013). Condições adequadas de armazenamento reduzem a incidência de doenças e de brotação, mantendo a qualidade do processamento (GÓMEZ-CASTILLO et al., 2013).

Nesse sentido, o armazenamento em condições de baixa temperatura é uma estratégia para controlar a brotação. Essas temperaturas quando muito baixas podem proporcionar o aumento das concentrações de açúcares redutores e, durante o processo de fritura devido as altas temperaturas esses açúcares reagem com asparagina livre na reação de Maillard, promovendo o escurecimento não enzimático e a formação de acrilamida, uma substância tóxica (JIA et al., 2019). Por sua vez, o escurecimento enzimático na batata está associado principalmente às atividades das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) que podem causar perdas substanciais nos atributos nutricionais e sensoriais (LOAIZA & SALTVEIT, 2001). Assim, para armazenamento a longo prazo tem-se adotado temperaturas de 8 a 12 °C associados ao uso de inibidores de brotação (GÓMEZ-CASTILLO et al., 2013; PAUL et al., 2016).

O Isopropil N(3-clorofenil) carbamato (CIPC) é o principal inibidor de brotação utilizado pela indústria de batatas em todo o mundo (MOHAMMED et al., 2015). Entretanto, estudos relacionados ao impacto do produto e a formação de novos compostos durante a sua

degradação revelaram que o CIPC é tóxico ao meio ambiente e carcinogênico para os seres humanos (SMITH & BUCHER, 2012). Diante disso, a Agência de Proteção do Ambiente aprovou uma redução significativa dos resíduos do CIPC admissíveis em batatas frescas nos Estados Unidos ao nível de 30 a 50 mg kg⁻¹ e a União Europeia tem a tolerância de 10 mg kg⁻¹ (EUROPEAN COMMISSION, 2008; EPA, 2012).

Diante da redução e possivelmente proibição de uso de CIPC nos próximos anos, pesquisadores de vários países estão realizando diversas pesquisas com o intuito de encontrar produtos eficazes no controle de brotação de tubérculos de batata durante o armazenamento. Dentre os resultados das pesquisas, foi relatada eficácia no controle de brotação com o uso de paclobutrazol (PBZ) e glifosato. A aplicação pós-colheita de 100 e 150 mg L⁻¹ de glifosato reduziu o número e comprimento de brotos para a cultivares Kufri Jyoti quando os tubérculos foram armazenados em temperatura ambiente (PAUL & EZEKIEL 2006). Para as cultivares Asante, Kenya Mpya e Shanghi, a aplicação foliar de PBZ na concentração de 250 mg L⁻¹ aos 30 dias após a emergência da batata, foi efetivo em prolongar o período de dormência e reduzir o número de brotos durante o armazenamento a 23 °C (NYANKANGA et al., 2018). Contudo, para a cv. Asterix e em condições de armazenamento refrigerado a eficácia desses produtos ainda não foram testados.

Considerando a importância de controlar a brotação em tubérculos de batata durante o armazenamento refrigerado, este trabalho teve como objetivo avaliar a ação da aplicação pós-colheita do glifosato e paclobutrazol sobre a brotação e atividade enzimática da batata cv. Asterix durante o período de armazenamento a 8 °C.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

As plantas de batata cultivar Asterix foram cultivadas na Unidade de Pesquisa e Extensão do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG, no período de julho a novembro do ano de 2018. O município de Viçosa situa-se à uma altitude de 694 m, latitude de 20° 45' 14" Sul e longitude de 42° 52' 55" Oeste, com classificação de Köppen do tipo Cwa, definido pelo clima tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno. Para o plantio, foram utilizados tubérculos de batata-semente

previamente brotados, com brotos de aproximadamente 2 cm. O espaçamento entre linhas de cultivo foi de 0,80 m e entre plantas de 0,30 m.

A adubação foi realizada no sulco de plantio, incorporando-se 220 kg ha⁻¹ de N (uréia); 324 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples); 20 kg ha⁻¹ de Mg (sulfato de magnésio); 1,1 kg ha⁻¹ de Bórax; 2,2 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco; 2,4 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre e 0,2 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (FONTES, 2005).

A condução da cultura foi realizada de acordo com as recomendações de Fontes (2005). A amontoa foi realizada aos 25 dias após o plantio (DAP) da cultura. As irrigações foram efetuadas por aspersão convencional, sendo suspensa vinte dias antes da colheita. O controle de pragas e doenças foi realizado com a aplicação de defensivos químicos com os ingredientes ativos Carbofuran, Mancozeb, Oxicloreto de Cobre e Deltametrin.

As ramas secaram naturalmente e, aos 120 DAP, os tubérculos foram colhidos, selecionados, padronizados quanto ao tamanho (entre 100 – 200 g) e transportados em caixas plásticas ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita de Produtos Hortícolas da UFV, em Viçosa-MG. No laboratório, os tubérculos foram imersos por um minuto em água (T1); glifosato (ROUNDUP ORIGINAL DI) nas concentrações 150 mg L⁻¹ (T2), 300 mg L⁻¹ (T3) do ingrediente ativo (i. a); paclobutrazol (CULTAR® 250 SC) nas concentrações 10 mg L⁻¹ (T4), 100 mg L⁻¹ (T5) do i. a (PAUL & EZEKIEL, 2006 adaptado; ARAUJO, 2018). Para melhorar a fixação do produto aos tubérculos, em cada solução foi adicionada Tween 20 na concentração 0,5%. Após a aplicação os tubérculos foram armazenados por 120 dias em temperatura de 8°C e umidade relativa do ar de 90% (FINGER et al., 2018).

Avaliações

Perda de massa fresca acumulada

Em cada unidade experimental foram selecionados e identificados cinco tubérculos. Nos tempos de armazenamento (0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias) foram realizadas a pesagem dos tubérculos para obtenção da massa fresca e a determinação da perda de massa fresca acumulada em relação à massa inicial, utilizando-se a seguinte equação: $PMFA = 100 - [(MF * 100) / MF_{inicial}]$; Em que: PMFA = perda de massa fresca acumulada (%); MF= massa fresca (g), no tempo de armazenamento da avaliação; MF_{inicial} = massa fresca inicial (g), no dia 0.

Número e comprimento de brotos

Após o aparecimento do broto (“olho”) foi realizada a contagem do número de brotos por tubérculo em cada avaliação nos tempos de armazenamento. O comprimento foi mensurado com auxílio de um paquímetro digital (mm) a partir do momento que os brotos apresentavam 3 mm e, determinado assim, o comprimento médio de broto do tubérculo.

Peroxidase (POD) e Polifenolxidase (PPO)

Em cada tempo de armazenamento foram coletadas 5 g de polpa de batata e congeladas em nitrogênio líquido e posteriormente armazenadas congeladas. De cada amostra foram triturados 0,3 g de material vegetal (polpa), utilizando-se 1 mL de solução tampão de extração, composta por fosfato de sódio 0,1 M, pH 6,5, polivinilpirrolidona (PVP-40) 1% e Triton X a 1%. Em seguida foram centrifugados a 17.000 g, durante 30 minutos a 4° C (LAGRIMINI et al., 1997; com modificações). O sobrenadante foi utilizado para quantificação da atividade enzimática.

Para a determinação da atividade enzimática da POD, uma alíquota de 500 µL do extrato enzimático foi adicionada ao meio de reação (0,5 mL de guaiacol (1,68 %), 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 7,0) e 0,5 mL de H₂O₂ (1,8 %)), completando-se com água destilada o volume para 3 mL. A atividade enzimática foi analisada em espectrofotômetro, observando-se a variação na absorbância em comprimento de onda de 470 nm, a 30 °C por 3 minutos e expressa em UA/min/mg de proteína (LAGRIMINI et al., 1997).

Para a determinação da atividade enzimática da PPO, uma alíquota de 100 µL do extrato enzimático foi adicionada ao meio de reação contendo 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 7,0), acrescido de 0,5 mL de catecol (120 mM), completando-se o volume para 3,0 mL com água destilada. A atividade enzimática foi analisada em espectrofotômetro, por meio da variação na absorbância em comprimento de onda de 420 nm, a 30 °C por 3 minutos e expressa em UA/min/mg de proteína (KAVRAYAN & AYDEMIR, 2001).

A quantificação das enzimas foi realizada com base na quantidade de proteína presente no extrato. Assim, com o mesmo extrato foi quantificada a proteína solúvel total pelo método de Bradford (1976), adotando-se albumina soro bovina como padrão.

Compostos Fenólicos Totais

Para avaliar o conteúdo de compostos fenólicos totais foi utilizado o método de Fu et al. (2010). Nas avaliações dos tempos de armazenamento, foram coletados 5 g de polpa de batata, depositados em frascos com álcool 80% a 65 °C e armazenadas a uma temperatura de 4 °C. As amostras foram trituradas com auxílio de um politron a 14.000 g e vertidas em tubo falcon para centrifugação a 2.000 g durante 10 minutos, sendo repetido duas vezes e completando-se o volume final do extrato alcoólico para 25 ml. Para a quantificação foi retirada uma alíquota de 0,5 ml e misturada com 2,5 mL do reagente de Folin-Ciocalteu (1:10) e 0,8 mL de solução de carbonato de sódio (NaCO_3) a 7,5%, em tubo de ensaio. A solução foi homogeneizada em vórtex e permaneceu à temperatura de 25 °C por 30 minutos. Após essa etapa, foi medida a absorvância das amostras em espectrofotômetro a 760 nm, com utilização de ácido gálico como padrão e os resultados expressos em mg por 100 g de massa fresca.

Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcela subdividida com quatro repetições. Os tratamentos da parcela foram constituídos pela aplicação dos inibidores de brotação: água (Controle-T1); 150 mg L⁻¹ de glifosato (T2); 300 mg L⁻¹ de glifosato (T3); 10 mg L⁻¹ de paclobutrazol (T4); 100 mg L⁻¹ de paclobutrazol (T5). Os tratamentos da subparcela foram constituídos pelos tempos de armazenamento: 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 dias. Para as análises destrutivas foram utilizados dois tubérculos por unidade experimental em cada um dos tempos de armazenamento, enquanto para as análises não destrutivas foram utilizados cinco tubérculos.

Análise Estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk e Lilliefors) e de homocedasticidade (Bartlett e Levene), pressupostos para a validação da análise de variância. Após atenderem aos pressupostos, os tratamentos dentro dos tempos de armazenamento foram submetidos à análise de variância e comparados por meio do teste

Tukey. Todos os procedimentos foram realizados utilizando-se o programa R Core Team versão 3.4.4 adotando-se um α de até 0,05 (R CORE TEAM, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independente do tratamento aplicado não houve diferença significativa no acúmulo de perda de massa fresca dos tubérculos de batata, mas sim, ao longo do tempo de armazenamento (Figura 1). A perda de massa fresca determina, em parte, a longevidade do armazenamento e também a manutenção da qualidade (GUPTA et al., 2015). Em tubérculos saudáveis e sem brotação, a perda de massa é causada principalmente pela respiração e transpiração (HELTOFT et al., 2016). Assim, acredita-se que as aplicações dos inibidores de brotação não causaram danos aos tubérculos, resultando em perdas de massa semelhante durante todo o período de dormência dos tubérculos.

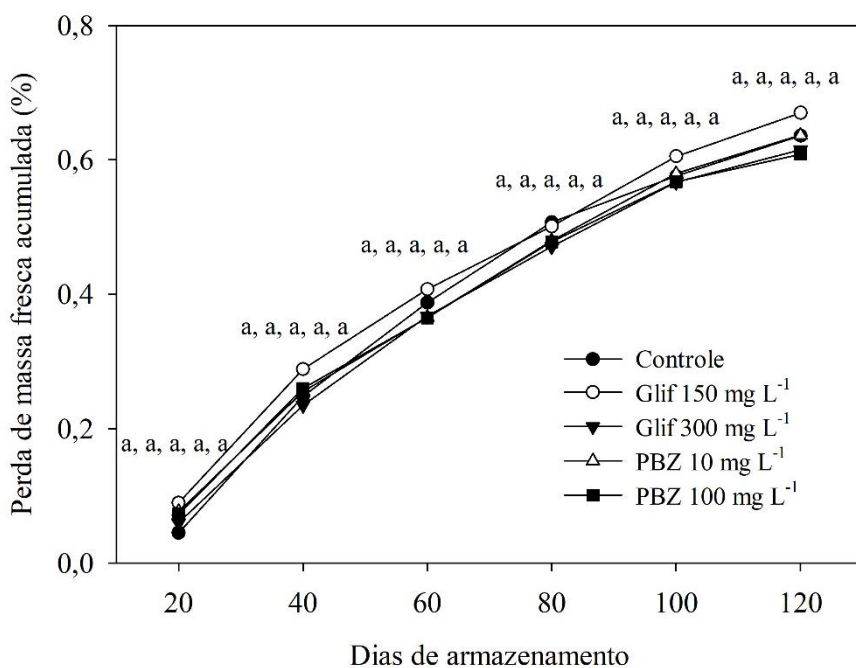


Figura 1. Perda de massa fresca acumulada de tubérculos de batata ‘Asterix’ em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Os dados foram transformados em Log(x) para análise de variância. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

A partir da quebra de dormência, a brotação contribui significativamente para aumento da perda de massa, e correlações positivas são observadas entre essa variável e aumento da brotação (GUPTA et al., 2015; AZAD et al., 2017). Entretanto, alguns desses inibidores não são capazes de promover essa redução da perda de massa (DANIELS-LAKE et al., 2011). Assim, mesmo após a quebra de dormência ocorrida aos 80 dias de armazenamento (Figura 2), não houve um aumento na taxa de perda de massa com o início da brotação independente do tratamento aplicado (Figura 1).

De acordo com o aspecto visual, observa-se que a brotação para os tubérculos controle e os que foram imersos em glifosato iniciou-se aos 80 dias de armazenamento, enquanto os que receberam aplicação de PBZ apresentavam-se dormentes (Figura 2). Aos 120 dias de armazenamento, todos os tubérculos apresentavam-se com brotações, porém, a aplicação de PBZ nas concentrações 10 e 100 mg L⁻¹ e glifosato (300 mg L⁻¹) resultou em redução do tamanho dos brotos.

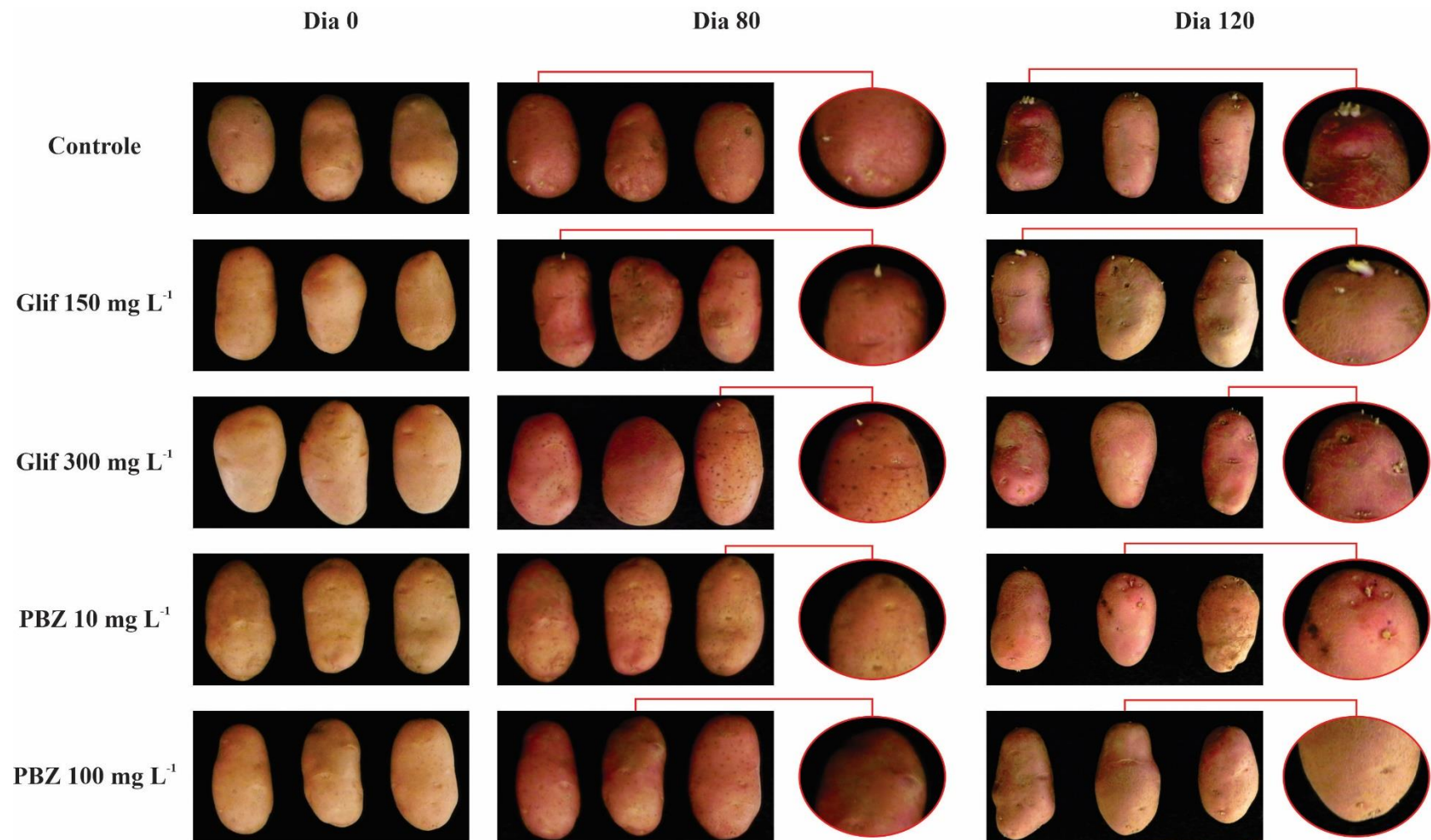


Figura 2. Aspecto visual dos tubérculos de batata ‘Asterix’ em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento a 8 °C.

Para a variável número de brotos, houve aumento ao longo do tempo de armazenamento em todos tratamentos (Figura 3). A quebra de dormência ocorreu aos 80 dias para os tubérculos controle, glifosato (150 e 300 mg L⁻¹); aos 90 dias para PBZ na concentração de 10 mg L⁻¹ e, aos 100 dias para PBZ na concentração de 100 mg L⁻¹ (Figura 3). Os tubérculos tratados com PBZ na concentração de 100 mg L⁻¹, quando comparado ao controle, apresentaram menor número de brotos entre 90 e 110 dias de armazenamento. Os demais tratamentos não diferem do controle em todos os tempos.

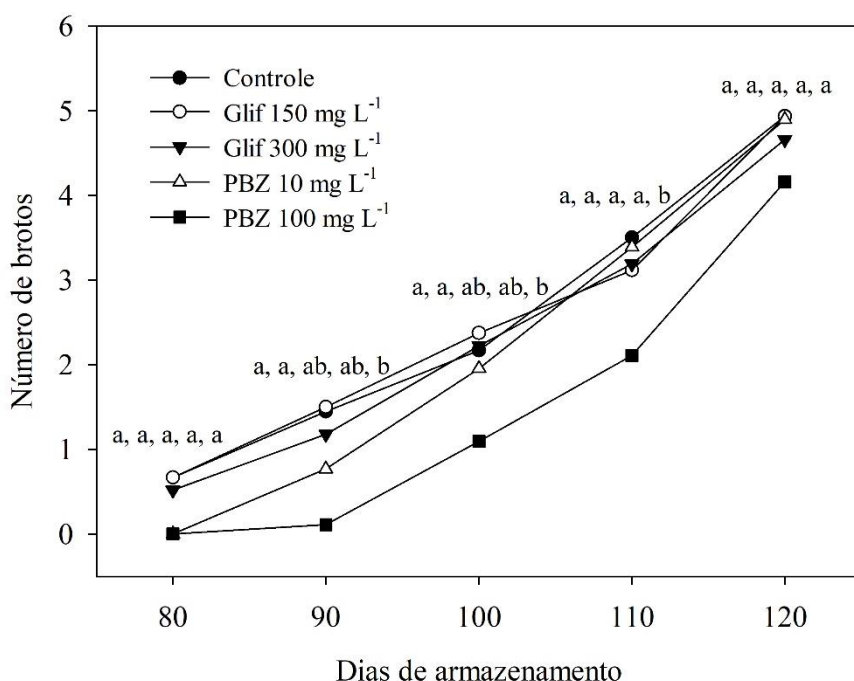


Figura 3. Número de brotos de tubérculos de batata ‘Asterix’ em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Os dados foram transformados em \sqrt{x} para análise de variância. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

A dormência do tubérculo durante o armazenamento pós-colheita é compreendida como a fase fisiológica na qual a brotação não ocorre mesmo sob condições favoráveis (ABASSI et al., 2015). Prolongar a dormência no armazenamento proporciona batatas de maior qualidade para processamento industrial (FREITAS et al., 2012). Dentro desse contexto, o aumento do período de dormência com a aplicação de 100 mg L⁻¹ de PBZ pode ser atribuído à inibição da biossíntese de giberelina (GA), resultando em baixa concentração desse hormônio nos tubérculos. A giberelina é um hormônio que está associado com a quebra de dormência e brotação, com isso, a redução de sua concentração aumenta o período de

dormência (SONNEWALD & SONNEWALD, 2014; MANI & HANNACHI, 2015; NYANKANGA et al., 2018).

O glifosato não foi efetivo como o PBZ para reduzir o número de brotos da cv. Asterix (Figura 3). Paul & Ezekiel (2006) quando aplicaram glifosato na pós-colheita em duas cultivares (Kufri Jyoti e Kufri Bahar), observaram redução de brotação com a aplicação de 100 e 150 mg L⁻¹ somente para a cv. Kufri Jyoti armazenada a 18 °C, indicando que as cultivares podem responder de forma diferente à aplicação de glifosato.

Houve aumento do comprimento de brotos ao longo do tempo de armazenamento, sendo este mais pronunciado entre 110-120 dias para tubérculos controle e glifosato (Figura 4). Aos 90 e 100 dias de armazenamento não houve diferença entre os tratamentos. Aos 110 dias, a aplicação de 100 mg L⁻¹ de PBZ proporcionou menor comprimento de broto quando comparado com a aplicação de glifosato. Aos 120 dias, o tratamento dos tubérculos com PBZ nas concentrações 10 e 100 mg L⁻¹ resultou na redução do comprimento de brotos em 23,0 e 33,3%, respectivamente quando comparado ao controle.

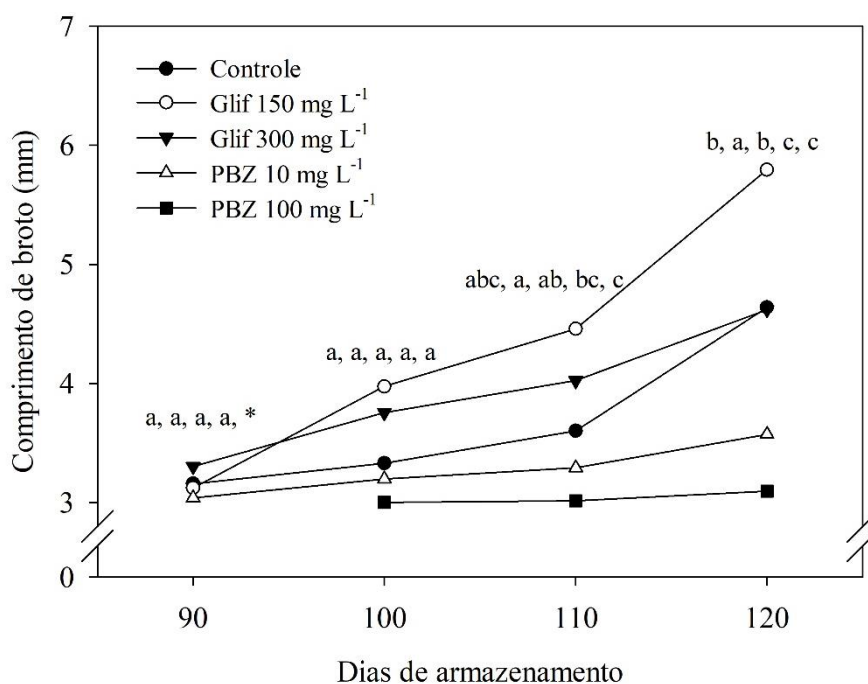


Figura 4. Comprimento de brotos de tubérculos de batata ‘Asterix’ em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda. *Tubérculos tratados com PBZ na concentração 100 mg L⁻¹ não apresentavam brotos maiores que 3 mm.

A efetividade do PBZ no controle do comprimento de brotos foi comprovada por Nyankanga et al. (2018). Esses autores aplicaram na pré-colheita de batata 250 mg L⁻¹ de PBZ aos 30 dias após a emergência e observaram, ao final do período de armazenamento, que esse tratamento reduziu o comprimento de brotos em duas cultivares, Kenya Mpya e Asante. Destaca-se assim a eficácia do PBZ no controle brotação quando aplicado na pré como na pós-colheita, corroborando com o presente estudo.

De acordo com a Figura 5, observa-se que a atividade enzimática da POD foi semelhante entre os inibidores utilizados, dentro de cada tempo de armazenamento. Houve para todos os tratamentos aumento da atividade dessa enzima a partir dos 80 dias de armazenamento.

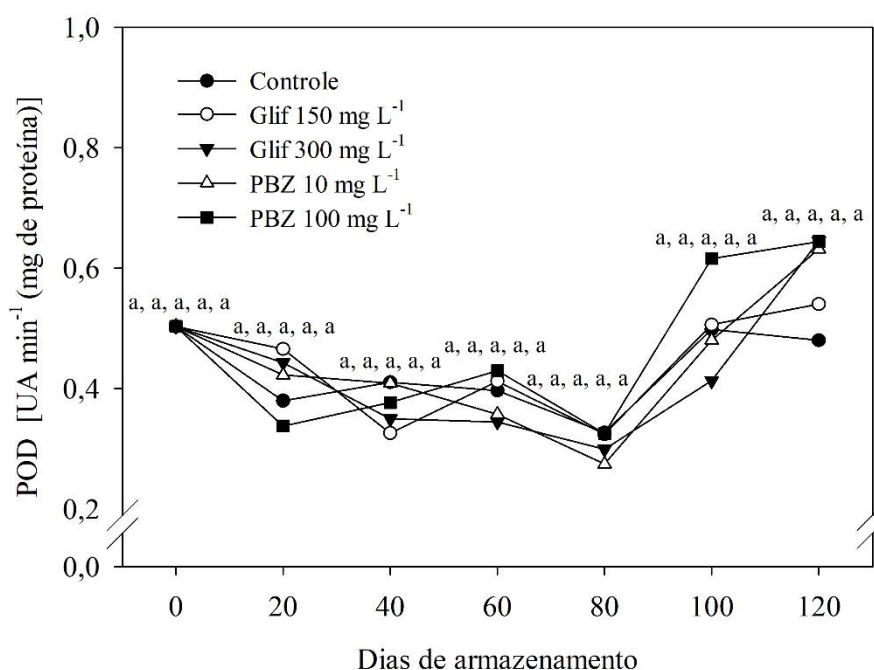


Figura 5. Atividade da peroxidase de tubérculos de batata ‘Asterix’ em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Os dados foram transformados em \sqrt{x} para análise de variância. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

O aumento da atividade da POD está associado ao escurecimento enzimático devido a oxidação de compostos fenólicos, causando assim deterioração e perda na qualidade do produto devido alterações na cor e sabor (DING et al., 2006; TEREFE et al. 2014). Essa enzima desempenha papel importante e aumenta sua atividade no controle estresse oxidativo

(SUN et al., 2012). Como não foi observada diferença, acredita-se que nenhum dos tratamentos promoveu estresses para aumentar a peroxidação lipídica e induzir lesão na membrana, acelerando o processo de senescência do tubérculo (SUN et al., 2012). No presente estudo, a atividade da POD só aumentou a partir da quebra de dormência e crescimento de brotos (80 dias) o que provavelmente está relacionado com o processo natural de senescência após a brotação.

Para a enzima PPO, observa-se um comportamento estável ao longo do período de armazenamento para todos os inibidores de brotação, com exceção dos 60 dias (Figura 6), em que, os tubérculos controle e os tratados com glifosato na concentração de 150 mg L⁻¹, apresentaram um significativo aumento na atividade da PPO.

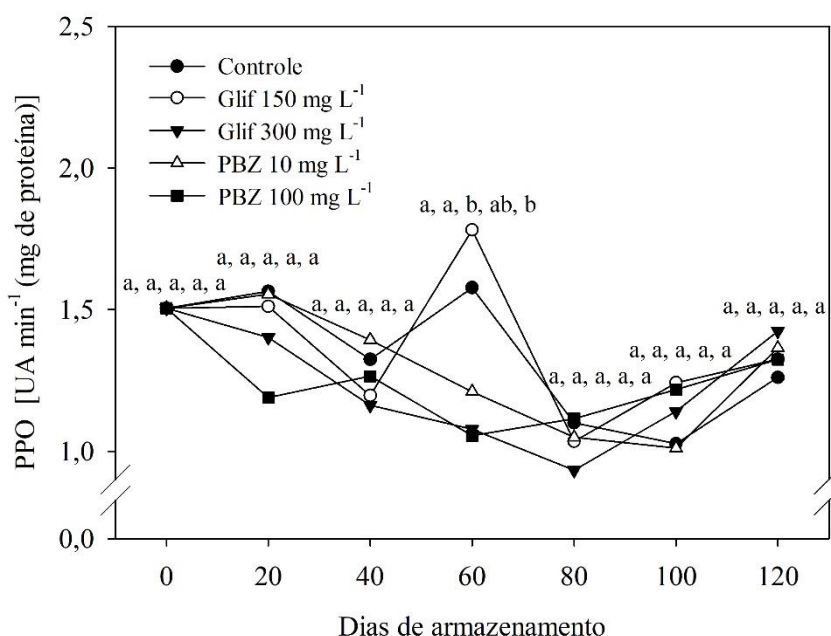


Figura 6. Atividade da polifenoloxidase de tubérculos de batata ‘Asterix’ em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Os dados foram transformados em \sqrt{x} para análise de variância. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

O aumento da atividade da PPO pode estar relacionado com o mecanismo de defesa do tubérculo, gerada como consequência das alterações fisiológicas pelo início da brotação (AFIFY et al., 2012). Nesse sentido, os tratamentos controle e glifosato 150 mg L⁻¹ apresentaram um pico na atividade enzimática aos 60 dias, período que antecede a brotação (80 dias), indicando que essa enzima se manifesta em maior proporção quando o tubérculo

altera seu metabolismo para quebra da dormência. Para os demais inibidores acredita-se que o aumento da PPO ocorreu entre os tempos de armazenamento avaliados (60-80 dias), sendo assim não foram verificadas mudanças na atividade enzimática. Resultados semelhantes foram encontrados por Abbasi et al. (2015), que observaram aumento da atividade da PPO próximo ao início da brotação para os tubérculos controle (tratamento que apresentou maior brotação) durante o armazenamento.

Em relação aos compostos fenólicos totais, de modo geral, não foram observadas alterações expressivas ao longo do tempo de armazenamento (Figura 7), exceto aos 100 dias, em que as maiores doses de glifosato e PBZ proporcionaram redução dos valores dessa variável em comparação ao controle.

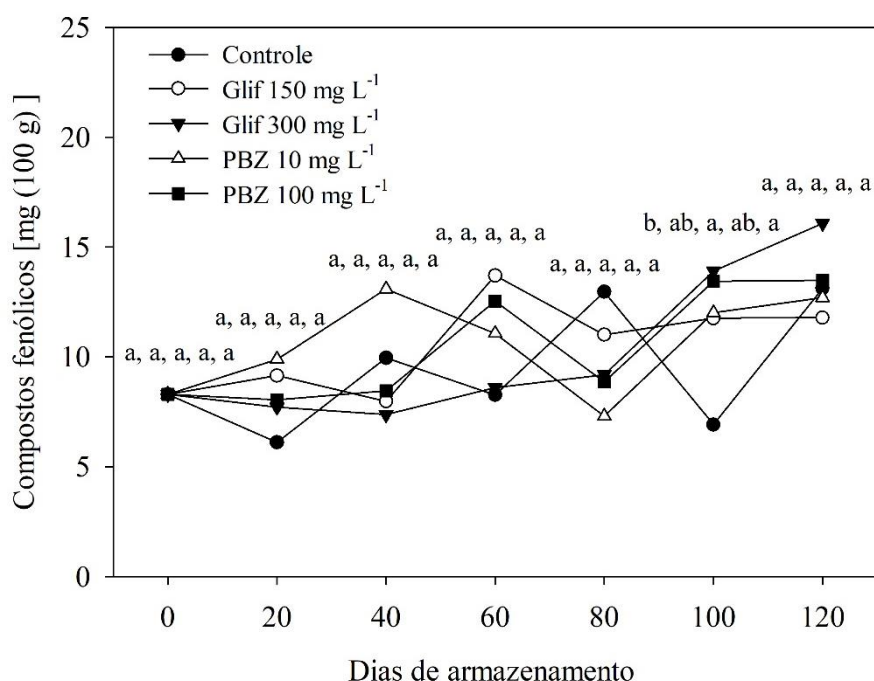


Figura 7. Compostos fenólicos totais de tubérculos de batata ‘Asterix’ em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

O aumento da concentração de compostos fenólicos ocorre em condições de estresse, como estratégia de defesa (FRIEDMAN & LEVIN, 2009). Sendo que a oxidação de compostos fenólicos pode ocorrer como resultado da atividade das enzimas POD e PPO (DING et al., 2006; PARVEEN, et al., 2010), por ser substrato das mesmas. Diante disso, a manutenção dos compostos fenólicos ao longo do tempo de armazenamento e entre os

tratamentos, não proporcionou aumento ou diminuição da atividade da POD e PPO provavelmente por em nenhum dos tratamentos os tubérculos se apresentarem em condições de estresse. A única exceção foi aos 100 dias, em que maiores valores de compostos fenólicos para glifosato (300 mg L⁻¹) e PBZ (100 mg L⁻¹) não foram suficientes para alterar a atividade da POD e PPO nesse tempo de armazenamento.

CONCLUSÃO

O paclobutrazol é mais eficiente no controle da brotação quando comparado com glifosato e ao controle, pela redução do número e comprimento dos brotos nos tubérculos de batata cv. Asterix durante o armazenamento refrigerado a 8 °C.

A atividade enzimática da POD não é influenciada pela aplicação dos inibidores de brotação. Tubérculos controle e tratados com glifosato na concentração 150 mg L⁻¹ apresentam aumento na atividade da PPO próximo ao período de brotação.

REFERÊNCIAS

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

AFIFY, A. E. M. M.; EL-BELTAGI, H. S.; ALY, A. A.; EL-ANSARY, A. E. Antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation as biomarker for potato tuber stored by two essential oils from Caraway and Clove and its main component carvone and eugenol. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 2, p. S772-S780, 2012.

ARAUJO, F. F. **Respostas morfofisiológicas e agronômicas de batata à aplicação de reguladores de crescimento em condições de verão**. 2018. 67f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BATATA – ABB. 2016. Disponível em: <<http://www.abbatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2018/01/%C3%81REA-PRODU%C3%87%C3%83O-E-PRODUTIVIDADE.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2019

AZAD, A. K.; KABIR, H.; EATON, T. E. J.; SOREN, E. B. Storage potentialities of some exotic potato varieties at farmers' condition in Bangladesh. **Agricultural Sciences**, v. 8, n. 2, p. 183-193, 2017.

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

DANIELS-LAKE, B. J.; PRUSKI, K.; PRANGE, R. K. Using ethylene gas and chlorpropham potato sprout inhibitors together. **Potato Research**, v. 54, n. 3, p. 223-236, 2011.

DING, Z.; TIAN, S.; WANG, Y.; LI, B.; CHAN, Z.; HAN, J.; XU, Y. Physiological response of loquat fruit to different storage conditions and its storability. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, n. 2, p. 143-150, 2006.

EPA, 2012. **Pesticide Reregistration Status**. Environmental Protection Agency. Disponível em: <http://www.EPA.gov/pesticides/reregistration/status_page.c.htm> Acesso em: 05 abr. 2019

EUROPEAN COMMISSION. **Commission Regulation (EC) No. 149/2008 of 29 January 2008 amending Regulation (EC) No. 396/2005 of the European Parliament and of the Council by establishing Annexes II, III and IV setting maximum residue levels for products covered by Annex I thereto**. European Union, Brussels, 2006.

FAO. **Crop production data**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acesso em: 22 jun. 2019.

FINGER, F. L.; SANTOS, M. M. D. S.; ARAUJO, F. F.; LIMA, P. C. C.; COSTA, L. C. D.; FRANÇA, C. D. F. M.; QUEIROZ, M. D. C. Action of Essential Oils on Sprouting of Non-Dormant Potato Tubers. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, p. 1-10, 2018.

FONTES, P. C. R. **Cultura da batata**. In: FONTES, P. C. R. (ed.). *Olericultura: teoria e prática*. Viçosa: UFV, 2005. p. 323-343.

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

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, p.8602-8617, 2010.

FRIEDMAN, M.; LEVIN, C. E. Analysis and biological activities of potato glycoalkaloids, calystegine alkaloids, phenolic compounds, and anthocyanins. In: Singh, J., Kaur, L. (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Elsevier, San Diego, CA, p. 127–162, 2009.

GÓMEZ-CASTILLO, D.; CRUZ, E.; IGUAZ, A.; ARROQUI, C.; VÍRSEDA, P. Effects of essential oils on sprout suppression and quality of potato cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, v. 82, p. 15-21, 2013.

GUPTA, V. K.; LUTHRA, S. K.; SINGH, B. P. Storage behaviour and cooking quality of Indian potato varieties. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 8, p. 4863-4873, 2015.

HELTOFT, P.; WOLD, A. B.; MOLTEBERG, E. L. Effect of ventilation strategy on storage quality indicators of processing potatoes with different maturity levels at harvest. **Postharvest Biology and Technology**, v. 117, p. 21-29, 2016.

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

KAVRAYAN, D.; AYDEMIR, T. Partial purification and characterization of polyphenoloxidase from peppermint (*Mentha piperita*). **Food Chemistry**, v. 74, p. 146-154, 2001.

LAGRIMINI, L. M.; GINGAS, V.; FINGER, F. L.; ROTHSTEIN, S.; LIU, T. T. Y. Characterization of antisense transformed plants deficient in the tobacco anionic peroxidase. **Plant Physiology**, v. 114, n. 4, p. 1187-1196, 1997.

LOAIZA, V. J. G.; SALTVEIT, M. E. Heat shock applied either before or after wounding reduce browning of lettuce leaf tissue. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n.2, p. 227-234. 2001.

MANI, F.; HANNACHI, C. Physiology of potato sprouting. **Journal of New Sciences**, v. 17, 2015.

MEHTA, A.; SINGH, B. On-farm storage of table and processing potatoes in heaps. **Indian Journal of Horticulture**, v. 73, n. 1, p. 82-86, 2016.

MOHAMMED, N. M. S.; FLOWERS, T. H.; DUNCAN, H. J. HPLC-UV method for analysis of potato sprout inhibitor chloroprotham and its metabolite 3-chloroaniline in potatoes. **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 9, n.4, p. 78-85, 2015.

NYANKANGA, R. O.; MURIGI, W. W.; SHIBAIRO, S. I.; OLANYA, O. M.; LARKIN, R. P. Effects of foliar and tuber sprout suppressants on storage of ware potatoes under tropical conditions. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 5, p. 539-548, 2018.

OWOLABI M. S.; OLOWU R. A.; LAJIDE L.; OLADIMEJI M. O.; PADILLA-CAMBEROS E. FLORES-FERNÁNDEZ J. M. Inhibition of potato tuber sprouting during storage by the controlled release of essential oil using a wick application method. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 83–87, 2013.

PARVEEN, I., THREADGILL, M. D.; MOORBY, J. M.; WINTERS, A. Oxidative phenols in forage crops containing polyphenol oxidase enzymes. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, n.58, v. 3, p. 1371-1382, 2010.

PAUL, V.; EZEKIEL, R. Sprout suppression of potato tubers stored at 18° C by pre-and post-harvest application of sub-lethal doses of glyphosate. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 11, n. 3, p. 300-305, 2006.

PAUL, V.; EZEKIEL, R.; PANDEY, R. Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 1-18, 2016.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018.

SMITH, M. J.; BUCHER, G. Tools to study the degradation and loss of the N-phenyl carbamate chlorpropham - comprehensive review. **Environment international**, v. 49, p. 38-50, 2012.

SONNEWALD, S.; SONNEWALD, U. Regulation of potato tuber sprouting. **Planta**, v. 239, n. 1, p. 27-38, 2014.

SORCE C.; LORENZI R.; PARISI B.; RANALLI P. Physiological mechanisms involved in potato (*Solanum tuberosum*) tuber dormancy and the control of sprouting by chemical suppressants. **Acta Horticulturae**, v. 684, p. 177–186, 2005.

SUN, J.; LI, C.; N. K. PRASAD; YOU, X.; LI, L.; LIAO, F.; PENG, H.; HE, X.; LI, Z.; ZHANG, Y. Membrane deterioration, enzymatic browning and oxidative stress in fresh fruits of three litchi cultivars during six-day storage. **Scientia Horticulturae**, v. 148, p. 97-103, 2012.

TEREFE, N. S.; BUCKOW, R.; VERSTEEG, C. Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 1, p. 24-63, 2014.

XIE, Y.; ONIK, J.; HU, X.; DUAN, Y.; LIN, Q. Effects of (S)-Carvone and Gibberellin on Sugar Accumulation in Potatoes during Low Temperature Storage. **Molecules**, v. 23, n. 12, p. 3118, 2018.

**METABOLISMO DE CARBOIDRATOS E QUALIDADE DE PROCESSAMENTO
DE TUBÉRCULOS DE BATATA COM APLICAÇÃO DE INIBIDORES DE
BROTAÇÃO**

RESUMO

A brotação de batata durante o armazenamento promove modificações no metabolismo dos carboidratos influenciando a qualidade dos tubérculos destinados ao processamento industrial. Diante da necessidade de produtos eficazes no controle de brotação e preservação da qualidade da batata, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações no metabolismo dos carboidratos e qualidade de fritura de batata cv. Asterix armazenada a 8 °C após a aplicação pós-colheita de glifosato e paclobutrazol. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida, sendo os tratamentos na parcela os inibidores de brotação: água (Controle-T1); 150 mg L⁻¹ de glifosato (T2); 300 mg L⁻¹ de glifosato (T3); 10 mg L⁻¹ de PBZ (T4); 100 mg L⁻¹ de PBZ (T5) e as subparcelas compostas pelos tempos de armazenamento: 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias, com quatro repetições. Os tubérculos foram imersos nas suas respectivas soluções por um minuto. Foram avaliados a incidência de brotação; sólidos insolúveis em álcool; açúcares solúveis totais, redutores e não redutores; e coloração após a fritura. De modo geral, os tubérculos tratados com PBZ na concentração 10 e 100 mg L⁻¹ apresentaram menor incidência de brotação ao longo do armazenamento e aumentaram em 12,5% o período de dormência. A aplicação de 10 mg L⁻¹ de PBZ nos tubérculos proporcionou menores teores de açúcares redutores na maior parte do armazenamento e maiores teores de sólidos insolúveis em álcool. Os palitos de maior escurecimento, aos quais foram atribuída nota 2, foram observados em mais tempos de armazenamento para os tratamentos controle e glifosato 150 mg L⁻¹. O tratamento dos tubérculos com paclobutrazol na concentração de 10 mg L⁻¹ tem menor incidência de brotação, resultando em maior valor de sólidos insolúveis em álcool e conseqüentemente maior teor de amido e, proporciona a manutenção dos açúcares redutores dentro da faixa preconizada para processamento industrial. Contrariamente, a aplicação de glifosato não é eficiente em reduzir a incidência de brotação, apresentando baixos teores de sólidos insolúveis em álcool, altos teores de açúcares redutores, e uma redução da qualidade de processamento industrial.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum tuberosum* L.; açúcares redutores; glifosato; paclobutrazol

CARBOHYDRATES METABOLISM AND PROCESSING QUALITY OF POTATO TUBERS TREATED WITH SPROUT INHIBITORS

ABSTRACT

Potato sprouting during storage promotes changes in carbohydrate metabolism influencing the quality of tubers intended for industrial processing. Given the need for effective products to control sprouting and preserve potato quality, the aim of this study was to evaluate the changes in carbohydrate metabolism and french fry quality of potato cv. Asterix treated with glyphosate and paclobutrazol, after harvest and stored at 8 °C. The experimental design was completely randomized in split-plot scheme, with the treatments in the plot being the sprouting inhibitors: water (Control-T1); 150 mg L⁻¹ glyphosate (T2); 300 mg L⁻¹ glyphosate (T3); 10 mg L⁻¹ PBZ (T4); 100 mg L⁻¹ PBZ (T5) and the subplots the storage times: 0, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 days, with four replicates. The tubers were immersed in their respective solutions for one minute. The incidence of sprouting, alcohol-insoluble solids, total soluble sugars, reducing sugars, non-reducing sugars, and fry color were evaluated. In general, tubers treated with PBZ at 10 and 100 mg L⁻¹ showed a lower incidence of sprouting throughout storage and increased the dormancy period in 12.5%. The application of 10 mg L⁻¹ of PBZ in the tubers provided lower reducing sugar contents during most part of the storage and higher values of alcohol-insoluble solids. The french fries, which were assigned grade 2, were observed at more storage times for the control and glyphosate 150 mg L⁻¹ treatments. Tubers treated with paclobutrazol at 10 mg L⁻¹, has a lower incidence of sprouting, resulting in higher value of alcohol insoluble and consequently higher starch content and also the maintains a reducing sugars content within the range recommended for industrial processing. In contrast, glyphosate is not effective in reducing the incidence of sprouting, presenting low levels of alcohol-insoluble solids, high contents of reducing sugars and a reduction in the quality for industrial processing.

KEYWORDS: *Solanum tuberosum* L.; reducing sugars; glyphosate; paclobutrazol

INTRODUÇÃO

A brotação em tubérculos de batata (*Solanum tuberosum* L.) causa diversas alterações fisiológicas e metabólicas, reduzindo a qualidade nutricional e de processamento industrial (SORCE et al., 2005). O crescimento dos brotos está associado a síntese de

glicoalcaloides, substância tóxica aos seres humanos (GINZBERG et al., 2009; FUKUDA et al., 2019). Para reduzir a formação de glicoalcaloides devido ao crescimento dos brotos, o armazenamento em baixas temperaturas é uma estratégia que vem sendo adotada, pois diminui a atividade metabólica dos tubérculos e conseqüentemente reduz a incidência de brotações.

Temperaturas de armazenamento entre 8 e 9 °C promovem a manutenção dos níveis de carboidrato visando o processamento (DRISKILL et al., 2007; KNOWLES et al., 2009). Temperaturas inferiores a essas, aumentam o problema de adoçamento da batata por elevarem a atividade das enzimas amilases e fosforilases, que convertem o amido em açúcares redutores (MATSUURA-ENDO et al., 2004; CHAPPER et al., 2004). O grupamento carbonila dos açúcares redutores, quando reagem com o grupo amino de aminoácidos e proteínas, pela ação do calor de fritura forma acrilamida e melanoidinas, sendo essa reação não enzimática conhecida como Reação de Maillard (ELLIS, 1959). Essa reação proporciona características indesejáveis, como o escurecimento, diminuindo a qualidade final do produto (SATO et al., 2019).

A combinação de baixas temperaturas associadas ao uso de inibidores de brotação tem sido amplamente empregada. O principal inibidor utilizado no mundo é o clorprofano ou isopropil N- (3-clorofenil) carbamato (CIPC), sendo sua efetividade já comprovada desde os anos de 1950 (MARTH & SHULTZ, 1952). Entretanto, nos últimos anos tem se observado resíduos de CIPC em batata processada, o que fez com que as agências reguladoras reduzissem os níveis máximos tolerados desse composto (VIJAY et al., 2018). Assim, seu uso está se restringindo em vários países e há busca por novos produtos eficazes no controle da brotação.

Nesse sentido, trabalhos utilizando glifosato e paclobutrazol (PBZ) como inibidores de brotação já foram realizados (PAUL & EZEKIEL, 2006a; NYANKANGA et al., 2018). O glifosato é um herbicida sistêmico não seletivo e seu mecanismo de ação é a inibição de 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato-sintase envolvida na rota do chiquimato (KÖMÍVES & SCHRÖDER, 2016; KASUBA et al., 2017). Enquanto o PBZ é um retardante de crescimento e interfere na biossíntese de giberelinas (MOUCO et al., 2010; PADILLA et al., 2015). Paul & Ezekiel (2006b) observaram que a aplicação pós-colheita de 100 e 150 mg L⁻¹ de glifosato foi efetiva no controle da brotação para a cultivar Kufri Jyoti, quando os tubérculos foram armazenados a 18 °C. A aplicação foliar de PBZ na concentração de 250 mg L⁻¹ aos 30 dias

após a emergência proporcionou, durante o armazenamento a 23 °C, aumento do período de dormência para as cultivares Asante, Kenya Mpya e Shanghi (NYANKANGA et al., 2018).

Entretanto, diante da literatura disponível, não foram encontrados trabalhos que avaliaram a eficácia do uso glifosato e PBZ no controle da brotação, alterações no metabolismo dos carboidratos e a qualidade da batata após a fritura na cultivar Asterix. Portanto, o trabalho teve como objetivo avaliar essas características em batatas da cultivar Asterix armazenadas a 8 °C após a aplicação pós-colheita de glifosato e paclobutrazol.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

As plantas de batata cultivar Asterix foram cultivadas na Unidade de Pesquisa e Extensão do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG, no período de julho a novembro do ano de 2018. O município de Viçosa situa-se à uma altitude de 694 m, latitude de 20° 45' 14" Sul e longitude de 42° 52' 55" Oeste, com classificação de Köppen do tipo Cwa, definido pelo clima tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno. Para o plantio, foram utilizados tubérculos de batata-semente previamente brotados, com brotos de aproximadamente 2 cm. O espaçamento entre linhas de cultivo foi de 0,80 m e entre plantas de 0,30 m.

A adubação foi realizada no sulco de plantio, incorporando-se 220 kg ha⁻¹ de N (uréia); 324 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples); 20 kg ha⁻¹ de Mg (sulfato de magnésio); 1,1 kg ha⁻¹ de Bórax; 2,2 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco; 2,4 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre e 0,2 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (FONTES, 2005).

A condução da cultura foi realizada de acordo com as recomendações de Fontes (2005). A amontoa foi realizada aos 25 dias após o plantio (DAP) da cultura. As irrigações foram efetuadas por aspersão convencional, sendo suspendida vinte dias antes da colheita. O controle de pragas e doenças foi realizado com a aplicação de defensivos químicos com os ingredientes ativos Carbofuran, Mancozeb, Oxicloreto de Cobre e Deltametrin.

As ramas secaram naturalmente e, aos 120 DAP, os tubérculos foram colhidos, selecionados, padronizados quanto ao tamanho (entre 100 – 200 g) e transportados em caixas plásticas ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita de Produtos Hortícolas da

UFV, em Viçosa-MG. No laboratório, os tubérculos foram imersos por um minuto em água (T1); glifosato (ROUNDUP ORIGINAL DI) nas concentrações 150 mg L⁻¹ (T2), 300 mg L⁻¹ (T3) do ingrediente ativo (i. a); paclobutrazol (CULTAR® 250 SC) nas concentrações 10 mg L⁻¹ (T4), 100 mg L⁻¹ (T5) do i. a (PAUL & EZEKIEL, 2006b; ARAUJO, 2018) . Para melhorar a fixação do produto aos tubérculos, em cada solução foi adicionada Tween 20 na concentração 0,5%. Após a aplicação os tubérculos foram armazenados por 120 dias em temperatura de 8°C e umidade relativa do ar de 90% (FINGER et al., 2018).

Avaliações

Incidência de brotação

Em cada unidade experimental foram selecionados e identificados cinco tubérculos. Nos tempos de armazenamento foi verificada a presença de brotação, sendo considerados como tubérculos brotados aqueles que apresentavam broto de aproximadamente 2 mm.

Determinação dos sólidos insolúveis em álcool, açúcares solúveis totais, redutores e não redutores

Nas avaliações dos tempos de armazenamento, foram coletados 5 g de polpa de batata e depositados em frascos com álcool 80% a 65 °C. As amostras foram trituradas com auxílio de um politron a 14.000 g e vertidas em tubo falcon para centrifugação a 2.000 g durante 10 minutos, sendo repetido duas vezes e completando-se o volume final do extrato alcoólico para 25 ml. O extrato alcoólico foi armazenado em frascos vedados a uma temperatura de 4 °C para quantificação dos açúcares solúveis totais e redutores. Por sua vez, o pellet formado durante a centrifugação foi seco em estufa a 70 °C até atingir peso constante e, através da metodologia descrita por Bonte, Picha & Johnson (2000), foram determinados os sólidos insolúveis em álcool (SIA), sendo os resultados expressos em porcentagem.

Para quantificação de açúcares solúveis totais (AST) utilizou-se o método Fenol-sulfúrico (DUBOIS et al., 1956). A etapa inicial foi determinar a curva padrão utilizando-se uma solução de sacarose a 1%. De cada amostra foram pipetados 250 µL do extrato alcoólico em tubo de ensaio, e adicionados 250 µL de fenol 5%, seguido de agitação em vórtex. Na sequência, foi adicionado 1,25 mL de ácido sulfúrico concentrado, agitando-se novamente e

levado a banho-maria durante 20 minutos a 30°C. Após essa etapa, as amostras foram lidas em espectrofotômetro 490 nm, e os resultados expressos em porcentagem de massa fresca.

Os açúcares redutores (AR) foram quantificados utilizando-se a metodologia do ácido dinitrossalicílico (DNS) (GONÇALVES et al., 2010). A primeira etapa foi a determinação da curva padrão, através da solução padrão de frutose 0,2%. Após o preparo do DNS, foram pipetados no tubo de ensaio 500 µL de reagente e 500 µL do extrato alcoólico, e mergulhados em banho de água fervente e adicionados 4 mL de água destilada em cada tubo, completando-se assim o processo. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 540 nm e os resultados expressos em porcentagem de massa fresca.

Os açúcares não redutores (ANR) foram estimados por uma medida indireta subtraindo-se o teor de açúcares redutores do teor de açúcares solúveis totais e expressos em porcentagem de ANR.

Coloração após fritura

Os tubérculos foram descascados, higienizados e processados na forma de palitos. Para isso, dois tubérculos de cada repetição foram utilizados para compor amostras contendo 10 palitos cada. A fritura foi feita em óleo de soja refinado por 3 minutos a 180 °C em fritadeiras elétricas (Ford, Michigan, EUA). As notas foram atribuídas às repetições subjetivamente, através da comparação com uma escala de cor (00, 0, 1, 2 e 3) para batatas fritas determinada pelo USDA (1967) (Figura 1).



Figura 1. Escala de cor (00, 0, 1, 2 e 3) para batatas fritas determinada pelo USDA.

Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, no esquema de parcela subdividida com quatro repetições. Os tratamentos da parcela foram constituídos pela aplicação dos inibidores de brotação: água (Controle-T1); 150 mg L⁻¹ de glifosato (T2); 300 mg L⁻¹ de glifosato (T3); 10 mg L⁻¹ de paclobutrazol (T4); e 100 mg L⁻¹ de paclobutrazol (T5). Os tratamentos da subparcela foram constituídos pelos tempos de armazenamento: 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias. Para as análises destrutivas foram utilizados dois tubérculos por unidade experimental em cada um dos tempos de armazenamento, enquanto para as análises não destrutivas foram utilizados cinco tubérculos.

Análise Estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk e Lilliefors) e de homocedasticidade (Bartlett e Levene), pressupostos para a validação da análise de variância. Após atenderem os pressupostos, os tratamentos dentro dos tempos de armazenamento foram submetidos à análise de variância e comparados por meio do teste Tukey. Todos os procedimentos foram realizados utilizando-se o programa R Core Team versão 3.4.4 adotando-se um α de até 0,05 (R CORE TEAM, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tubérculos controle e tratados com glifosato não apresentaram diferença significativa ao longo do armazenamento para o início da brotação (Figura 2). Aos 60 dias, todos os tubérculos apresentavam-se dormentes. A partir dos 80 dias, tubérculos tratados com PBZ exibiram menor incidência da brotação comparado aos demais tratamentos. O tratamento com PBZ, nas duas concentrações, aumentou em 12,5% o período de dormência (Figura 2).

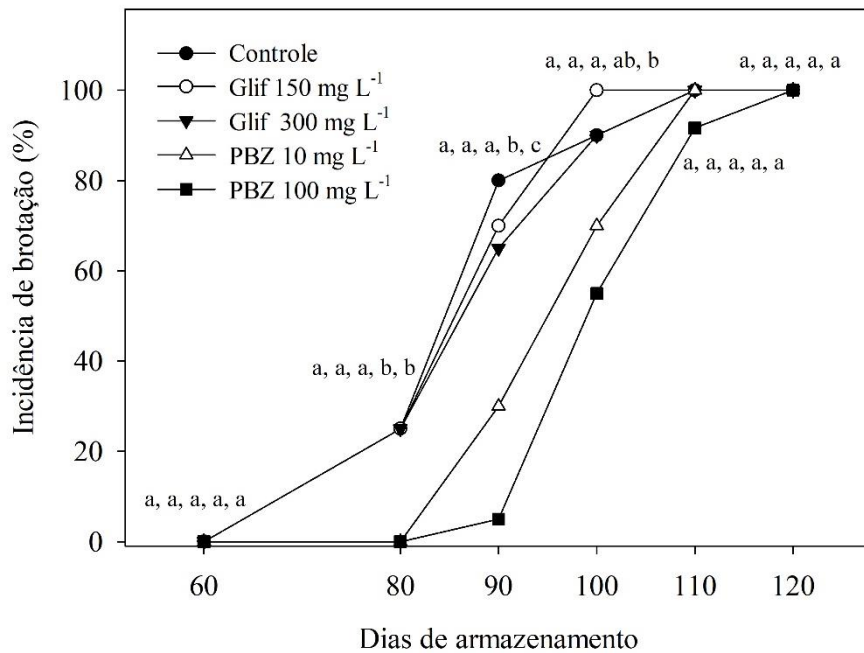


Figura 2. Incidência de brotação em tubérculos de batata cv. Asterix em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

A quebra natural da dormência e posterior crescimento dos brotos influencia negativamente a qualidade dos tubérculos. A brotação é acompanhada por alterações metabólicas, incluindo o aumento da respiração, perda de massa, remobilização do amido e aumento no teor de açúcares solúveis (CHEEMA et al., 2013; FERREIRA et al., 2017). O amido é degradado para manter a demanda energética do tubérculo e se intensifica após a quebra de dormência e surgimento dos brotos (VAN HARSSSELAAR, 2017).

O tubérculo da batata contém cerca de 80% de água e o restante de matéria seca (MS). O amido destaca-se como o principal componente da MS, representando cerca de 60 a 80% dos sólidos totais (BRAUN et al., 2010; CARVALHO & ZANETTE, 2004), sendo os sólidos insolúveis em álcool utilizados para estimar o teor de amido nos tubérculos. Essa característica é fundamental para selecionar cultivares com aptidão para fritura, como a Asterix que apresenta alto teor de MS (FERNANDES et al., 2011).

A aplicação de PBZ a 10 mg L⁻¹ resultou em maiores teores de sólidos insolúveis em álcool (SIA) aos 20, 60 e 80 dias de armazenamento, sendo superior ao controle aos 80 dias, e, ao PBZ 100 mg L⁻¹ aos 20, 60, 80 dias pós-tratamento (Figura 3).

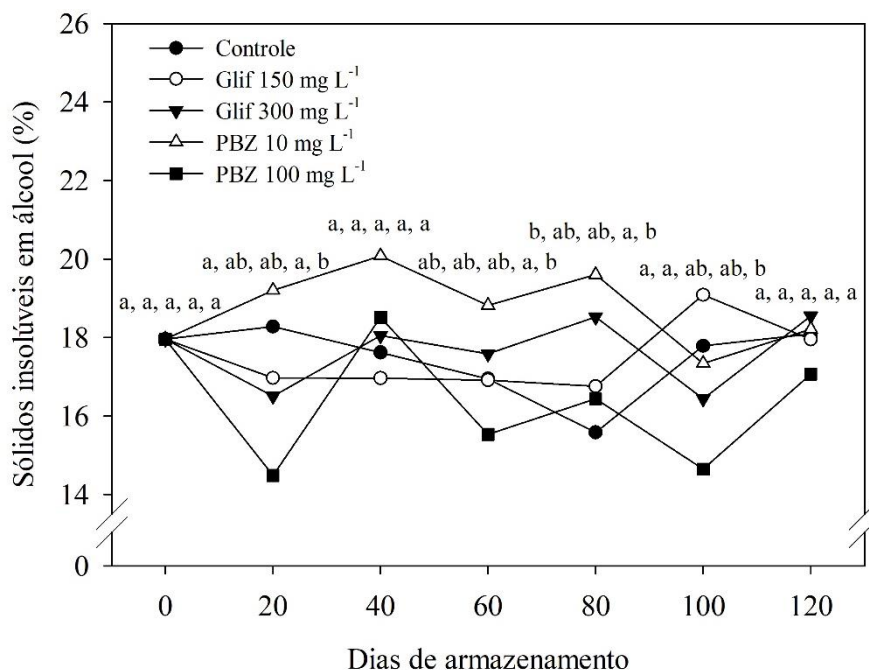


Figura 3. Teor de sólidos insolúveis em álcool em tubérculos de batata cv. Asterix em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

É bem estabelecido que a brotação aumenta a remobilização do amido no tubérculo, devido a necessidade de degradação do amido para suprir as exigências energéticas do crescimento e desenvolvimento dos brotos (KUMAR et al., 2004). Assim, acredita-se que os maiores valores de SIA e conseqüentemente maior teor de amido nos tubérculos tratados PBZ a 10 mg L⁻¹ ocorreram em decorrência da menor brotação em relação aos tubérculos controle e glifosato (Figura 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Finger et al. (2018) e Jia et al. (2019) avaliando a aplicação de óleos essenciais para supressão de brotação de batata. Esses autores observaram maior taxa de degradação de amido nos tratamentos que apresentaram maior incidência de brotação. Com relação a qualidade de processamento industrial, Zorzella et al. (2003) observaram correlação positiva entre teor de MS, sobretudo amido, com textura e sabor. Sendo assim, os maiores valores de SIA nos tubérculos tratados com PBZ 10 mg L⁻¹, provavelmente resultam em maior qualidade, proporcionando palitos mais crocantes.

Esses mesmos resultados não foram encontrados para os tubérculos tratados com PBZ a 100 mg L⁻¹. Embora apresentassem baixa incidência de brotação, houve maior taxa de degradação de amido, resultando em menores teores de SIA (Figura 3). Acredita-se que os

esses resultados estão associados ao efeito tóxico do PBZ em elevadas concentrações, o que já foi relatado por alguns autores (LEE et al., 2015; WONGSRISAKULKAEW et al., 2017). Para pimentas ‘biquinho vermelha’ aplicação via substrato de 5 mg L⁻¹ já foi suficiente para induzir sintomas leves de fitotoxicidade, enquanto doses acima desta resultou em alto grau de enrugamento, deixando as folhas quebradiças (FRANÇA et al., 2018). Para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) dosagens superiores a 8 mg L⁻¹ causaram necrose foliar (ALMEIDA et al., 2016). O tratamento de batata semente cv. Asterix com concentrações de 10 e 100 mg L⁻¹ reduziram o teor de amido na colheita em 13 e 14%, respectivamente (ARAUJO, 2018).

Os açúcares solúveis totais (AST) apresentaram aumento nos 20 dias iniciais de armazenamento em todos os tratamentos, seguido de posterior estabilização dos teores (Figura 4). Diferenças entre os tratamentos foram encontradas aos 60 e 80 dias, nos quais os tubérculos tratados com glifosato 150 mg L⁻¹ apresentaram teores de AST superiores ao PBZ 100 mg L⁻¹ aos 60 dias, e superior ao PBZ 10 e 100 mg L⁻¹ aos 80 dias.

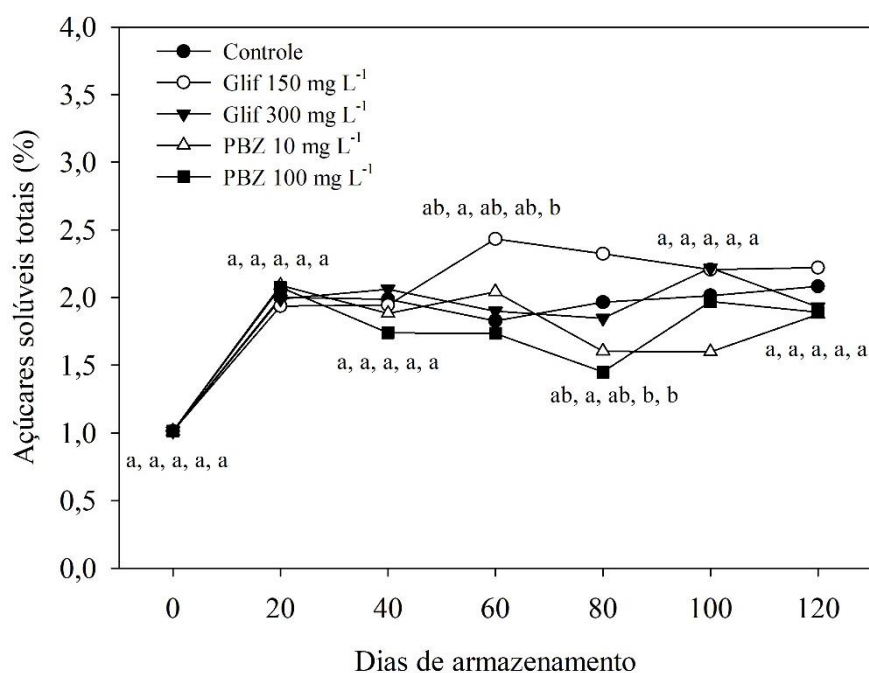


Figura 4. Teor de açúcares solúveis totais em tubérculos de batata cv. Asterix em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

Em condições de baixas temperaturas, a atividade respiratória é reduzida, o que pode explicar o acúmulo de AST quando tubérculos são armazenados nessa condição (BACARIN et al., 2005). Com o armazenamento em temperaturas abaixo de 10 °C verifica-se aumento na

atividade de enzimas envolvidas na degradação do amido e quando a conversão deste em açúcares excede o consumo, os açúcares se acumulam (BERVALD et al., 2010). Assim, acredita-se que o aumento expressivo de AST aos 20 dias em relação ao dia inicial é resultado do armazenamento a baixas temperaturas (Figura 4), visto que os tubérculos foram colhidos e logo armazenados sob refrigeração.

Os menores teores de AST dos tubérculos tratados com PBZ 10 e 100 mg L⁻¹ provavelmente estão relacionados com menor incidência de brotação (Figura 2), uma vez que a brotação contribui para o aumento de AST durante o armazenamento. Abbasi et al. (2015) avaliaram o efeito de diferentes inibidores e observaram que o CIPC e óleo de cravo proporcionaram menor brotação e por consequência menores teores de AST em tubérculos de batata.

Assim como em AST, os açúcares redutores (AR) apresentaram aumento em todos os tratamentos no período inicial de armazenamento (Figura 5). Ao longo do armazenamento, para os tubérculos controle, tratados com glifosato nas concentrações de 150 e 300 mg L⁻¹ e PBZ na concentração 100 mg L⁻¹ houve aumento do teor de açúcares redutores, enquanto nos tubérculos tratados com PBZ 10 mg L⁻¹ houve uma redução da taxa de aumento de AR após o período de inicial de armazenamento, sendo menores valores de AR encontrados nesse tratamento ao longo do armazenamento (Figura 5).

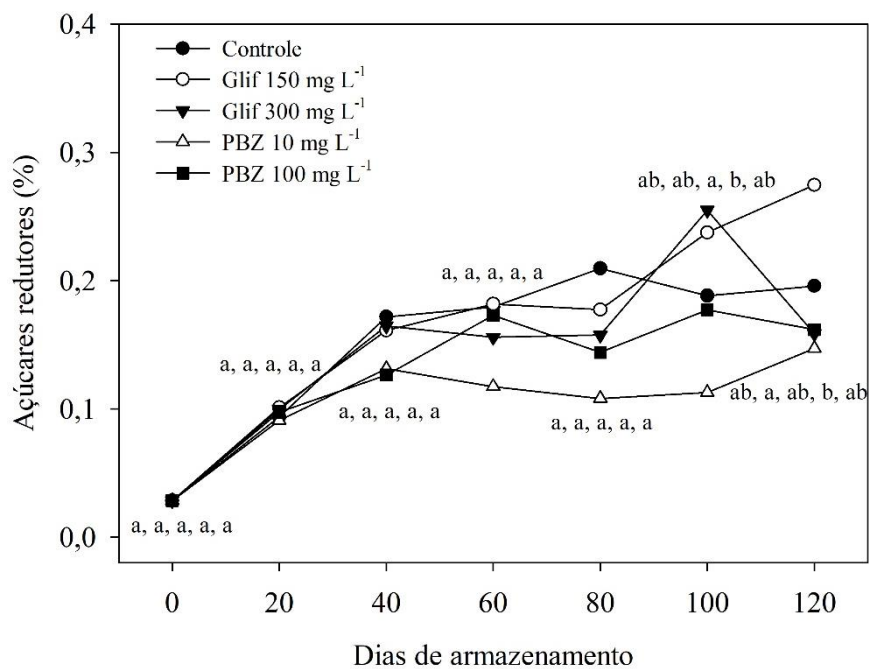


Figura 5. Teor de açúcares redutores em tubérculos de batata cv. Asterix em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Tratamentos seguidos de

mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

O grupamento carbonila dos açúcares redutores quando reagem com o grupo amino de aminoácidos e proteínas, induzido pelo calor das altas temperaturas durante a fritura, formam a acrilamida, um composto carcinogênico, e as melanoidinas, a partir da reação não enzimática de Maillard (HALFORD, 2012; ELLIS, 1959; VINCI et al., 2012). Diante desse problema, Silva & Carvalho (2015) preconizam que batatas para serem aceitas para o processamento devem possuir teores de açúcares redutores inferiores a 0,1% da massa fresca do tubérculo, com tolerância máxima de 0,33%. Valores dentro dessa faixa foram encontrados nos tubérculos controle, tratados com glifosato e PBZ e em todos os tempos de armazenamento (Figura 5). Contudo, somente a aplicação de PBZ a 10 mg L⁻¹, proporcionou valores de 0,1% dos 60 aos 100 dias de armazenamento.

Estudos recentes sugerem que tubérculos com maior incidência de brotos apresentam maiores teores de açúcares redutores durante o armazenamento (MANI et al., 2014; SHUKLA et al., 2019). Assim, por apresentar menor brotação e menor acúmulo de AR, os palitos dos tubérculos tratados com PBZ a 10 mg L⁻¹ tendem a apresentar coloração mais clara e melhor qualidade pós-fritura.

Independente dos tratamentos, os açúcares não redutores (ANR) tiveram um acréscimo nos 20 dias iniciais de armazenamento, seguido de posterior redução (Figura 6). De modo geral, não houve grande variação entre os tratamentos dentro de cada tempo de armazenamento. Aos 40 dias, os tubérculos controle apresentavam maiores teores de ANR quando comparados com os tratados com PBZ nas duas concentrações, enquanto que, aos 100 dias, foram inferiores.

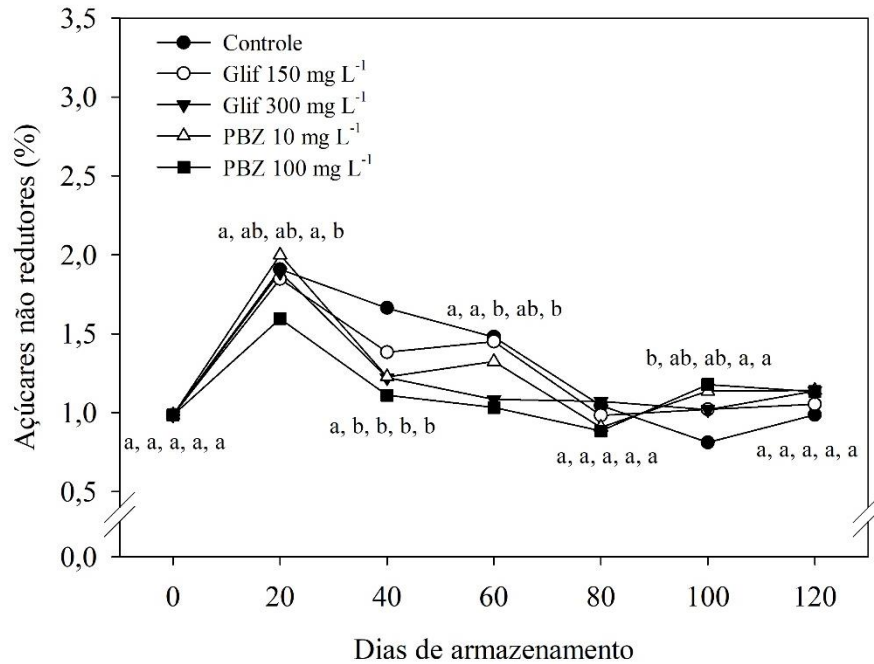


Figura 6. Teor de açúcares não redutores em tubérculos de batata cv. Asterix em função da aplicação de inibidores de brotação e do tempo de armazenamento. Tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% probabilidade. A sequência das letras segue a mesma ordem da legenda.

A sacarose, um ANR encontrado nos tubérculos, quando hidrolisada pela ação da invertase ácida vacuolar gera acúmulo de açúcares redutores, glicose e frutose (CHAPPER, 2002). Essa hidrólise ocorre em maior intensidade quando os tubérculos iniciam sua brotação, onde o açúcar predominante nas brotações apicais é a glicose (DIMALLA, 1977). Nesse sentido, acredita-se que a quebra de dormência e posterior brotação promoveu a redução do ANR ao longo do armazenamento. Logo, tubérculos tratados com PBZ nas duas concentrações, por apresentarem menor incidência de brotação que o controle aos 100 dias, exibiram maiores valores de ANR (Figura 2).

O aspecto visual após a fritura é muito importante em batatas destinadas ao processamento industrial. Palitos com traços ou partes escuras são indesejáveis, pois, caracterizam-se como batatas que acumularam alto teor de açúcares redutores durante o armazenamento. Assim, observa-se diferenças quanto a coloração entre as batatas tratadas com os inibidores de brotação e controle (Figura 7). Houve tendência de escurecimento dos palitos ao longo do tempo de armazenamento. Os palitos de maior escurecimento, aos quais foram atribuídos nota 2, foram observados em mais tempos de armazenamento para os tratamentos controle e glifosato 150 mg L⁻¹.

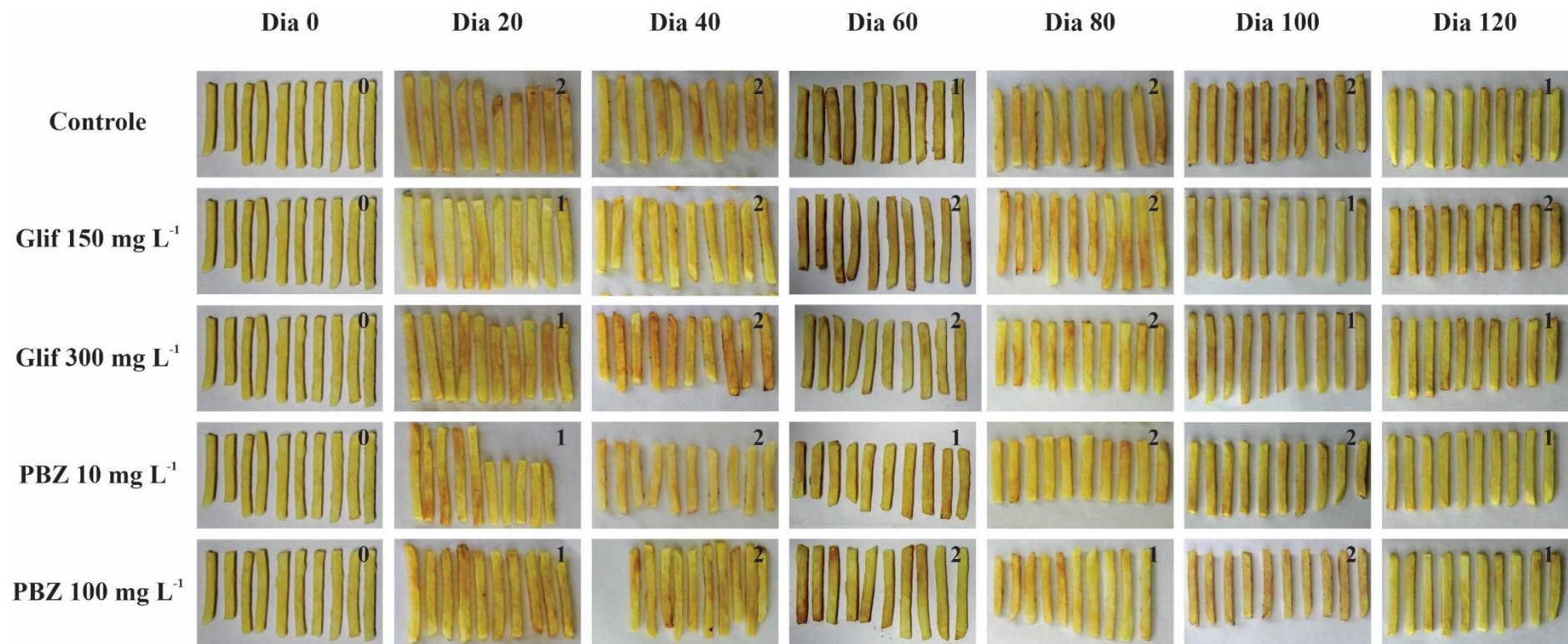


Figura 7. Análise visual e notas quanto ao escurecimento após a fritura (180 °C por 3 minutos) dos palitos de batata cv. Asterix ao longo do tempo de armazenamento em função dos inibidores de brotação aplicados.

O maior escurecimento dos palitos para estes tratamentos está associado aos teores de açúcares redutores. Esse escurecimento, além de promover alterações na coloração do palito, gera um gosto amargo que é indesejável para os consumidores. Essas características indesejáveis aparecem devido a reação de Maillard que ocorre entre os açúcares redutores e aminoácidos ou proteínas (MARQUEZ & ANON, 1986). Durante essa reação é formado a melanoidina que é o componente que gera o escurecimento e gosto amargo e a acrilamina que é um componente carcinogênico (WANG et al., 2011; CHENG et al., 2014).

CONCLUSÃO

Tubérculos tratados com paclobutrazol na concentração de 10 mg L⁻¹ proporciona menor incidência de brotação, reduz a taxa de degradação de amido, mantendo maior teor de sólidos insolúveis em álcool, e mantém os açúcares redutores dentro da faixa preconizada para processamento industrial. Contrariamente, a aplicação de glifosato não é efetiva em reduzir a incidência de brotação, apresenta baixos teores de sólidos insolúveis em álcool, altos teores de açúcares redutores, e reduz a qualidade de processamento industrial.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, K. S.; MASUD, T.; ALI, S.; KHAN, S. U.; MAHMOOD, T.; QAYYUM, A. Sugar-starch metabolism and antioxidant potential in potato tubers in response to different antisprouting agents during storage. **Potato Research**, v. 58, n. 4, p. 361-375, 2015.
- ALMEIDA, O.; MELO, H. C.; PORTES, T. A. Growth and Yield of the Common Bean in Response to Combined Application of Nitrogen and Paclobutrazol. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 1, p. 127-132, 2016.
- ARAUJO, F. F. **Respostas morfofisiológicas e agronômicas de batata à aplicação de reguladores de crescimento em condições de verão**. 2018. 67f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.
- BACARIN, M. A.; FERREIRA, L. S.; DEUNER, S.; BERVALD, C. M. P.; ZANATTA, E. R.; LOPES, N. F. Carboidratos não estruturais em tubérculos de batata reconicionados após o armazenamento sob diferentes temperaturas. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 799-804, 2005.
- BERVALD, C. M. P.; BACARIN; M. A.; DEUNER S; TREVIZOL, F. C. Variação do teor de carboidratos em genótipos de batata armazenados em diferentes temperaturas. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 477-488, 2010.

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

BRAUN, H.; FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L.; BUSATO, C.; CECON, P. R. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 2, p. 285-293, 2010.

CARVALHO, R. I. N.; ZANETTE, F. Carbohydrate content in buds and stems of apple trees during autumn and winter in a region of low chill occurrence. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 2, p. 202-205, 2004.

CHAPPER, M.; BACARIN, M. A.; PEREIRA, A. S.; TERRIBLE, L. C. Carboidratos não estruturais em tubérculos de dois genótipos de batata armazenados em duas temperaturas. *Horticultura Brasileira*, v. 20, n. 4, p. 583-588, 2002.

CHAPPER, M.; LOUREIRO, M. E.; MOSQUIM, P. R.; ARAÚJO, W. L.; PEREIRA, A.; FINGER, F. L.; SIMÕES, A. N. Mudanças metabólicas após acondicionamento a 15 °C de tubérculos de batata armazenados a baixa temperatura. *Horticultura Brasileira*, v. 22, n. 3, p. 597-601, 2004.

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, p. 89-93, 2013.

CHENG, L.; JIN, C.; ZHANG, Y. Investigations of variations in the acrylamide and Nε-(carboxymethyl) lysine contents in cookies during baking. *Journal of Food Science*, v. 79, n. 5, p. 1030–1038, 2014.

DIMALLA, G C; STADAN J. Apical dominance and utilization of carbohydrates during storage of potato tubers. *Annals of Botany*, v. 41, p. 387-391, 1977.

DRISKILL, E. P.; KNOWLES, L. O.; KNOWLES, N. R. Temperature-induced changes in potato processing quality during storage are modulated by tuber maturity. *American Journal of Potato Research*, v. 84, n. 5, p. 367-383, 2007.

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

ELLIS, G. P. The maillard reaction. *Advances in carbohydrate chemistry*, v. 14, p. 63-134, 1959.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L.; SOUZA-SCHLICK, G. D. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n. 8, p. 826-835, 2011.

FERREIRA, S. J.; SENNING, M.; FISCHER-STETTLER, M.; STREB, S.; AST, M.; NEUHAUS, H. E.; ZEEMAN, S. C.; SONNEWALD, S.; SONNEWALD, U. Simultaneous silencing of isoamylases ISA1, ISA2 and ISA3 by multi-target RNAi in potato tubers leads to

decreased starch content and an early sprouting phenotype. **PLoS One** v. 12, n. 7, p. e0181444, 2017.

FINGER, F. L.; SANTOS, M. M. D. S.; ARAUJO, F. F.; LIMA, P. C. C.; COSTA, L. C. D.; FRANÇA, C. D. F. M.; QUEIROZ, M. D. C. Action of Essential Oils on Sprouting of Non-Dormant Potato Tubers. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, p. 1-10, 2018.

FONTES, P. C. R. **Cultura da batata**. In: FONTES, P. C. R. (ed.). *Olericultura: teoria e prática*. Viçosa: UFV, 2005. p. 323-343.

FRANÇA, C. D. F. M.; RIBEIRO, W. S.; SANTOS, M. N. S.; PETRUCCI, K. P. D. O. S.; RÊGO, E. R. D.; FINGER, F. L. Growth and quality of potted ornamental peppers treated with paclobutrazol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 316-322, 2018.

FUKUDA, T.; TAKAMATSU, K.; BAMBA, T.; FUKUSAKI, E. Gas chromatography-mass spectrometry metabolomics-based prediction of potato tuber sprouting during long-term storage. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 128, n. 2, p. 249-254, 2019.

GINZBERG, I.; TOKUHISA, J. G.; VEILLEUX, R. E. Potato steroidal glycoalkaloids: biosynthesis and genetic manipulation. **Potato Research**, v. 52, n. 1, p. 1-15, 2009.

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.

HALFORD, N. G.; MUTTUCUMARU, N.; POWERS, S. J.; GILLATT, P. N.; HARTLEY, L.; ELMORE, J. S.; MOTTRAM, D. S. Concentrations of free amino acids and sugars in nine potato varieties: effects of storage and relationship with acrylamide formation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 48, p. 12044-12055, 2012.

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

KAŠUBA, V.; MILIĆ, M.; ROZGAJ, R.; KOPJAR, N.; MLADINIĆ, M.; ŽUNEC, S.; VRDOLJAKIVAN, A. L.; PAVIČIĆ, I.; ČERMAK, A. M. M.; PIZENT, A.; LOVAKOVIĆ, B. T.; ŽELJEŽIĆ, D. Effects of low doses of glyphosate on DNA damage, cell proliferation and oxidative stress in the HepG2 cell line. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 23, p. 19267-19281, 2017.

KNOWLES, N. R.; DRISKILL JR., E. P.; KNOWLES, L. O. Sweetening responses of potato tubers of different maturity to conventional and non-conventional storage temperature regimes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 52, n. 1, p. 49-61, 2009.

KÓMÍVES, T.; SCHRÖDER, P. On glyphosate. **Ecocycles**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2016.

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

LEE, J.; GÓMEZ, M. I.; MILLER, W. B. Paclobutrazol and flurprimidol control stem elongation of potted star of Bethlehem. **HortTechnology**, v. 25, n. 4, p. 480-486, 2015.

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

MARQUEZ, G.; ANON, M. C. Influence of reducing sugars and amino acids in the color development of fried potatoes. **Journal of Food Science**, v. 51, n. 1, p.157–160, 1986.

MARTH, P. C.; SCHULTZ, E. S. A new sprout inhibitor for potato tubers. **American Journal of Potato Research**, v. 29, n. 11, p. 268-272, 1952.

MATSUURA-ENDO C; KOBAYASHI A; NODA T; TAKIGAWA S; YAMAUCHI H; MORI M. Changes in sugar content and activity of vacuolar acid invertase during lowtemperature storage of potato tubers from six Japanese cultivars. **Journal of Plant Research**, v. 117, n. 2, p. 131-137, 2004.

MOUCO, M. A. C.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Inibidores de síntese de giberelinas e crescimento de mudas de mangueira 'Tommy Atkins'. **Ciência Rural**, v. 40, n. 2, p. 273-280, 2010.

NYANKANGA, R. O.; MURIGI, W. W.; SHIBAIRO, S. I.; OLANYA, O. M.; LARKIN, R. P. Effects of foliar and tuber sprout suppressants on storage of ware potatoes under tropical conditions. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 5, p. 539-548, 2018.

PADILLA, I. M.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; OLMOS, E.; BURGOS, L.; PIQUERAS, A. Effects of growth retardants on sprouting and development of apricot (*Prunus armeniaca* L.) and neem (*Azarchta indica* A. Juss.) nodal buds. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 122, n. 2, p. 285-297, 2015.

PAUL, V.; EZEKIEL, R. Inhibition of potato sprout growth by pre-harvest foliar application of glyphosate. **Potato Journal**, v. 33, n. 1-2, 2006a.

PAUL, V.; EZEKIEL, R. Sprout suppression of potato tubers stored at 18° C by pre-and post-harvest application of sub-lethal doses of glyphosate. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 11, n. 3, p. 300-305, 2006b.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018.

SATO, H.; KOIZUMI, R.; ITOYAMA, R.; ICHISAWA, M.; NEGISHI, J.; SAKUMA, R.; FURUSHO, T.; YOSHIMASA, S.; TAKANO, K. Free Amino Acids in Potato (*Solanum tuberosum*) May Cause Egumi-Taste in Food Products. **Potato Research**, p. 1-10, 2019.

SHUKLA, S.; PANDEY, S. S.; CHANDRA, M.; PANDEY, A.; BHARTI, N.; BARNAWAL, D.; CHANOTIYA, C. S.; TANDON, S.; DAROKAR, M. P.; KALRA, A. Application of essential oils as a natural and alternate method for inhibiting and inducing the sprouting of potato tubers. **Food Chemistry**, v. 284, p. 171-179, 2019.

SILVA, G. O.; CARVALHO, A. D. F. **Industrialização**. In: Sistema de Produção da Batata. Embrapa Hortaliças. Sistema de Produção, 8 ISSN 1678-880x 8. 252 p. 2015. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1028425/1/SistemadeProducaoBatata.pdf>> Acesso em 30 de out. de 2019.

SORCE C.; LORENZI R.; PARISI B.; RANALLI P. Physiological mechanisms involved in potato (*Solanum tuberosum*) tuber dormancy and the control of sprouting by chemical suppressants. **Acta Horticulturae**, v. 684, p. 177–186, 2005.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **United States Standards for Grades of Frozen French Fried Potato**. Baltimore, p. 16, 1967.

VAN HARSELAAAR, J. K.; LORENZ, J.; SENNING, M.; SONNEWALD, U.; SONNEWALD, S. Genome-wide analysis of starch metabolism genes in potato (*Solanum tuberosum* L.). **BMC genomics**, v. 18, n. 1, p. 37, 2017.

VIJAY, P.; EZEKIEL, R.; PANDEY, R. Use of CIPC as a potato sprout suppressant: health and environmental concerns and future options. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 10, n. 1, p. 17-24, 2018.

VINCI, R. M.; MESTDAGH, F.; MEULENAER, B. Acrylamide formation in fried potato products—Present and future, a critical review on mitigation strategies. **Food Chemistry**, v. 133, n. 4, p. 1138-1154, 2012.

WANG, H.; QIAN, H.; YAO, W. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. **Food Chemistry**, v. 128, n. 3, p. 573-584, 2011.

WONGSRISAKULKAEW, Y.; BOONPRAKOB, U.; SETHPAKDEE, R.; JUNTAWONG, N. Effect of paclobutrazol concentrations and time of foliar application on flowering of ‘Namdokmai-Sitong’Mango. **International Journal**, v. 12, n. 30, p. 41-45, 2017.

ZORZELLA, C.; VENDRUSCOLO, J.; TREPTOW, R. O. Qualidade sensorial de “chips” de diferentes genótipos de batatas (*Solanum tuberosum* L.), cultivos de primavera e outono no Rio Grande do Sul. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 9, n. 1, p. 57-63, 2003.

CONCLUSÃO GERAL

O paclobutrazol é mais eficiente no controle da brotação quando comparado com glifosato e ao controle, pela redução do número e comprimento dos brotos nos tubérculos de batata cv. Asterix durante o armazenamento refrigerado a 8 °C.

A atividade enzimática da POD não é influenciada pela aplicação dos inibidores de brotação. Tubérculos controle e tratados com glifosato na concentração 150 mg L⁻¹ apresentam aumento na atividade da PPO próximo ao período de brotação.

O tratamento dos tubérculos com paclobutrazol na concentração de 10 mg L⁻¹ proporciona menor incidência de brotação, reduz a taxa de degradação de amido, mantendo maior teor de sólidos insolúveis em álcool e mantém os açúcares redutores dentro da faixa preconizada para processamento industrial. Contrariamente, a aplicação de glifosato não é efetiva em reduzir a incidência de brotação, apresenta baixos teores de sólidos insolúveis em álcool, altos teores de açúcares redutores e reduz a qualidade de processamento industrial.