

MECANISMOS DE DEFESA AO ESTRESSE TÉRMICO E SUA IMPORTÂNCIA PARA O MELHORAMENTO DE BATATA TOLERANTE AO CALOR

ADRIANO UDICH BESTER¹; VANESSA HÜBNER²; DIONATAN LEONARDO LAMARQUE LUGOCH²; LUCIANO DO AMARANTE²; CAMILA PERGORARO²; CAROLINE MARQUES CASTRO.³

¹Universidade federal de Pelotas (UFPel)– adriano.udich.bester@gmail.com

²Universidade federal de Pelotas (UFPel)- vufpel@gmail.com, dionatanlugoch201039@gmail.com
pegorarocamilanp@gmail.com, lucianodoamarante@yahoo.com.br

³Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária (EMBRAPA) – caroline.castro@embrapa.br

1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é o terceiro alimento mais consumido no mundo, ficando atrás apenas do arroz e do trigo. Estima-se que mais de um bilhão de pessoas tem a batata como parte de sua dieta. Em 2023, a produção global atingiu aproximadamente 383,08 milhões de toneladas (FAO, 2025). O Brasil está entre os maiores produtores da América Latina, alcançando em 2024 uma produção em torno de 4,5 Mt, concentrada principalmente em Minas Gerais, Paraná e São Paulo, respondendo por mais de 57% do total colhido (IBGE, 2025).

Originária da região dos Andes, onde foi domesticada há cerca de 8.000 anos em áreas de clima frio de altitude, a batata foi introduzida na Europa no século XVI e na América do Norte no século XVII, onde se encontram os principais programas de melhoramento, responsáveis por ampliar sua adaptação a climas frios das regiões temperadas (GEORGE et al., 2017). Em decorrência disso, o cultivo em regiões tropicais e subtropicais é considerado fortemente limitado pela sensibilidade da espécie ao calor (HANCOCK et al., 2014).

As temperaturas ótimas para a fotossíntese situam-se em torno de 24 °C; acima desse valor, o processo passa a ser limitado, resultando em menor assimilação de carbono, desequilíbrio entre absorção e utilização de energia (fotodano) e alterações na alocação dos assimilados para os tubérculos (Lazarević et al., 2022). Para evitar danos severos ou até a morte, as plantas desenvolveram estratégias de defesa que lhes permitem tolerar ou resistir ao estresse. Entre elas destacam-se o ajuste das trocas gasosas, os mecanismos de fotoproteção, o acúmulo de osmólitos e as alterações morfológicas (Hancock et al., 2014; Szymańska et al., 2017; Wahid et al., 2007; Zhou et al., 2023).

Assim, para o melhoramento genético, é de suma importância compreender os diferentes mecanismos de defesa das plantas de batata, identificando quais genótipos expressam melhor comportamento para determinado parâmetro, visto que, muitas vezes, cada genótipo adota apenas uma estratégia de defesa. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estudar a resposta de diferentes genótipos de batata, utilizados como genitores no programa de melhoramento genético da Embrapa, frente ao estresse por alta temperatura.

2. METODOLOGIA

O experimento foi realizado na sede da Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Pelotas/RS. Foi conduzido no segundo semestre de 2023, utilizando o delineamento de blocos inteiramente casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados cinco genótipos que fazem parte do conjunto de genitores do Programa de Melhoramento Genético de Batata da Embrapa.

Tubérculos de tamanho uniforme foram transplantados em vasos com capacidade volumétrica de 1 litro, preenchidos com substrato. As plantas foram mantidas em câmara de crescimento por trinta dias, em condição ideal de cultivo, com amplitude térmica de 14 a 24 °C. Após esse período, um grupo de plantas foram expostas ao tratamento com temperatura supraótima, variando de 24 a 34 °C, por um período de 14 dias e o outro permaneceu na condição controle.

No último dia do estresse, foram realizadas as seguintes avaliações fisiológicas: assimilação líquida de CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), medidas no primeiro folíolo completamente expandido a partir do ápice, utilizando o medidor de troca gasosa IRGA (LI-6400, Li-Cor Inc., EUA). Também foram determinados os coeficientes de extinção não fotoquímica (NPQ) e fotoquímica (qP), avaliados às 8 horas da manhã, no primeiro folíolo completamente expandido no sentido ápice–base, com auxílio do fluorômetro Imaging-PAM Maxi (Walz). Além disso, foi realizada a coleta de material vegetativo para análise de amido nas folhas, segundo a metodologia de Bialeski e Turner (1965), e de prolina, de acordo com Bates et al. (1973), ambas com modificações. A quantificação de pigmentos fotossintéticos foi realizada conforme o método proposto por Wellburn (1994).

Após os 14 dias sob condição de estresse, as plantas retornaram à condição ideal de cultivo, onde permaneceram até o momento da colheita, aos 75 dias após o plantio. A parte aérea foi coletada e seca em estufa a 80 °C até atingir massa constante, para determinação da massa seca total da parte aérea (MSTPA). Os tubérculos colhidos foram contados e pesados em balança de precisão, para cálculo da massa média de tubérculo (MMT). Os dados foram submetidos à análise multivariada utilizando o pacote MultivariateAnalysis do software R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas apresentaram diferentes mecanismos de defesa em resposta ao estresse por alta temperatura, visando manter padrões fotossintéticos elevados e, consequentemente, preservar a produtividade (e a perpetuação da espécie). Como demonstrado na Figura 1A, alguns desses mecanismos apresentaram alta correlação entre si. Observa-se forte associação entre clorofila total e carotenoides ($r = 0,93$), indicando interação direta entre os pigmentos fotossintéticos. O acúmulo de amido apresentou forte correlação com a massa seca total da parte aérea (MSTPA) ($r = 0,88$) e com a altura de planta (AP), a qual, por sua vez, correlacionou-se fortemente com a MSTPA ($r = 0,85$). Isso sugere que o crescimento em estatura de planta reflete diretamente no acúmulo de biomassa e amido nas folhas. Além disso, outra interação importante foi observada entre qP e A ($r = 0,78$), reforçando o papel da defesa fotoquímica na assimilação de CO₂.

Pela análise de componentes principais (PCA, Figura 1B) os dois componentes explicaram 60,4% da variação total, sendo que o primeiro componente (PC1) explicou 35,63% e o segundo (PC2), 24,77%. Os genótipos foram separados em grupos nos quatro quadrantes do gráfico. A cultivar Granola ficou isolada com as variáveis assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (g_s) e o coeficiente de extinção fotoquímica (qP), indicando sua maior eficiência fotossintética e fotoprotetora. Algumas plantas, quando submetidas a altas temperaturas, aumentam a condutância estomática (trocas gasosas e vapor de água) para reduzir a temperatura foliar e manter a atividade fotossintética, evitando o fechamento dos centros de reação do PSII (fotossistema II) e

assegurando a absorção de energia necessária para o transporte de elétrons (Urban et al., 2017).

Em outro quadrante encontra-se a cultivar BRS F63, com a variável massa média de tubérculo, demonstrando maior potencial produtivo sob estresse térmico, comportamento provavelmente associado ao seu ciclo precoce. Já os clones, C1750 e C1883, foram agrupados em outro quadrante, com as variáveis relacionadas aos pigmentos fotossintéticos (clorofila total e carotenoides) e com o coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ). Isso sugere uma estratégia de fotoproteção, em que as clorofilas aumentam a captação de energia, enquanto os carotenoides atuam na dissipação do excesso dessa energia por meio do ciclo das xantofilas, em conjunto com o NPQ. Nesse processo, parte do excesso de energia é liberada na forma de calor, evitando o fotodano (Szymańska et al., 2017).

O genótipo CIP 392, por sua vez, teve as variáveis associadas ao acúmulo de amido, ao teor de prolina, à altura de planta (AP) e à massa seca da parte aérea (MSTPA). Com isso, sugerindo uma estratégia combinada de ajuste osmótico e armazenamento de carbono. No entanto, o aumento da parte aérea pode representar uma resposta imediata ao estresse, mas, a longo prazo, essas plantas tendem a alterar a relação fonte-dreno, priorizando a manutenção da parte vegetativa em detrimento da produtividade (Zhang et al., 2024).

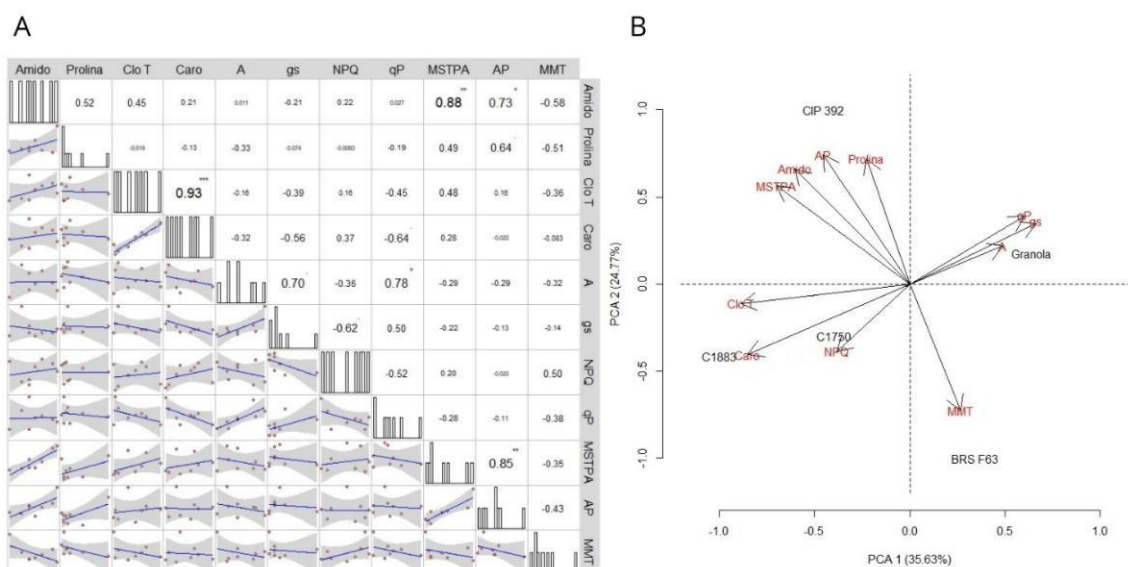


Figura 1 (A) Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis. significativo à 5% pelo teste t; * significativo à 1% pelo teste t, *** significativo à 0,1% pelo teste t. **(B)** Dispersão de cinco genótipos de batata pela análise de componentes principais (PCA). Variáveis avaliadas: Amido, Prolina, Clorofila Total (Clo T), Carotenoides (Caro) Assimilação líquida de CO₂ (A), Condutância estomática (gs) coeficientes de extinção não fotoquímica (NPQ), coeficientes de extinção fotoquímica (qP), altura de planta (AP), Massa seca total da parte aérea (MSTPA), massa média de tubérculo (MMT).

De forma geral, cada genótipo adotou um conjunto distinto de estratégias funcionais, que variaram entre maior eficiência fotossintética, acúmulo de biomassa, tolerância ao estresse ou aumento do potencial produtivo, informações importantes para orientar programas de melhoramento, para a escolha de futuros cruzamentos e desenvolvimento de cultivares que reúnam todas essas estratégias.

4. CONCLUSÕES

Os genótipos de batata avaliados apresentam mecanismos distintos de defesa em resposta ao estresse por alta temperatura. O entendimento dessas

estratégias pode ser utilizado pelos programas de melhoramento para desenvolvimento de novas cultivares de batata tolerantes ao calor.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bates, L. S.; Waldren, R. P.; Teare, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, 1973, v. 39, p. 205–207. doi:10.1007/BF00018060

Bielecki, R. L.; Turner, N. A. Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, 1966, v. 17, p. 278–293. doi:10.1016/0003-2697(66)90206-5.

FAO. FAOSTAT Statistical Database. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> . Acesso em: 25 ago. 2025.

George, T.S.; Taylor, M.A.; Dodd, I.C. et al. Climate Change and Consequences for Potato Production: a Review of Tolerance to Emerging Abiotic Stress. **Potato Res**, 2017, V. 60, p. 239–268. <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9366-3>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA): estatística da produção agrícola: julho de 2025. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2025. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=72415> . Acesso em: 25 ago. 2025.

Hancock, R.D.; Morris, W.L.; Ducreux, L.J.; et al. Physiological, biochemical and molecular responses of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant to moderately elevated temperature. **Plant Cell Environ** 2014, v. 37, p. 439-50. doi: 10.1111/pce.12168.

Lazarević, B.; Carović-Stanko, K.; Safner, T.; Poljak, M. Study of High-Temperature-Induced Morphological and Physiological Changes in Potato Using Nondestructive Plant Phenotyping. **Plants** 2022, 11, 3534. <https://doi.org/10.3390/plants11243534>

Szymańska, R.; Ślesak, I.; Orzechowska, A.; Kruk, J. Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. **Environmental and Experimental Botany** 2017, v.139, p. 165–177. doi:10.1016/j.envexpbot.2017.05.002

Urban, J.; Ingwers, M.; McGuire, M. A.; Teskey, R. O. Stomatal conductance increases with rising temperature. **Plant Signal Behav** 2017. V. 3:12(8). doi: 10.1080/15592324.2017.1356534

Zhang, S.; Ye, H; Kong, L.; et al. Multivariate Analysis Compares and Evaluates Heat Tolerance of Potato Germplasm. **Plants** 2024, v.13, p.142. <https://doi.org/10.3390/plants13010142>

Zhou J, Li K, Li Y, Li M, Guo H. Responses of Aerial and Belowground Parts of Different Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars to Heat Stress. **Plants** 2023, v.12;12(4):818. doi: 10.3390/plants12040818

Wellburn, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, 1994, v.144(3), pgs. 307–313. doi:10.1016/S0176-1617(11)81192-2

Wahid, A.; Gelani, S.; Ashraf, M.; Foolad, M. R. Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany** 2007, v. 61, n. 3, p. 199–223. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2007.05.011.