

DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA DETECÇÃO DE BIOELETROSINAIS E AVALIAÇÃO DA RESPOSTA ELÉTRICA DE BATATAS À MUDANÇA DE LUMINOSIDADE

ITTALO DE SOSA NÖRNBERG¹; DAVI BÄRWALDT DUTRA²; RAFAEL CAVAGNOLI³; GUSTAVO HEIDEN⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – ittalo.nornberg@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – ddavibarwaldt@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – rafabrasil2@gmail.com

⁴Embrapa Clima Temperado – gustavo.heiden@embrapa.br

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de código aberto baseada em microcontroladores oferece adaptabilidade de aplicações tanto em projetos amadores quanto em pesquisas científicas, destacando a versatilidade destes sistemas em diferentes escalas (MONK, 2017). Nesse contexto, a utilização de circuitos para monitorar as condições biofísicas envolvidas nas respostas das plantas às variações climáticas, como luz solar e condições atmosféricas, torna-se, portanto, uma ferramenta crucial para a fenotipagem com vistas ao melhoramento genético (MORETO *et al.*, 2020; BASHIR *et al.*, 2023).

A luz desempenha um papel essencial nas plantas, conforme descrito pelos princípios de Gotthaus-Draper e Einstein-Stark. O primeiro afirma que a luz só desencadeia reações químicas quando absorvida por pigmentos ou fotorreceptores, que captam certos comprimentos de onda e atuam como sensores e conversores de energia, como ocorre na fotossíntese. Já o segundo estabelece que um fóton só pode excitar um elétron, desde que sua energia seja compatível com o nível energético do elétron (KERBAUY, 2004). Os sinais luminosos influenciam até 20% da expressão gênica em plantas, o que explica o fato de elas terem evoluído fotorreceptores capazes de detectar não apenas a presença ou ausência de luz, mas também o tempo de exposição, a intensidade e o comprimento de onda (LOPEZ *et al.*, 2012).

A resposta das plantas aos estímulos luminosos pode ser monitorada por meio de sinais bioelétricos, que refletem a comunicação entre fotossensores e fitoatuadores. Esses sinais indicam a propagação de estímulos luminosos captados pelos fotossensores e convertidos em respostas fisiológicas pelos fitoatuadores, permitindo uma análise precisa das reações das plantas à luz (HUBER e BAUERLE, 2016; VOLKOV e SHTESSEL, 2016). Quando a planta detecta uma luz intensa, pode ocorrer um influxo de íons, como cálcio e potássio, através das membranas celulares, o que altera o potencial elétrico e gera um potencial de ação (FROMM e LAUTNER, 2007). Esse sinal é então transmitido entre órgãos da planta para regular processos como a abertura de estômatos, fotossíntese, movimentos de folhas e flores, e até respostas de defesa (VOLKOV, 2012).

Partindo da premissa que o sinal bioelétrico pode ser utilizado como indicador fenotípico da melhor adaptabilidade de genótipos de plantas a condições variáveis de luminosidade, o objetivo desta pesquisa é desenvolver um circuito elétrico capaz de detectar o sinal bioelétrico em diferentes espécies de batata, discernindo condições de luz e escuridão. A hipótese é que por meio desse instrumento seria possível aferir se há uma diferença no sinal bioelétrico ao alternar do escuro para o claro, o que confirmaria que a luz exerce influência direta sobre esse sinal.

2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Recursos Genéticos da Embrapa Clima Temperado em Pelotas-RS em uma gaiola de Faraday (50 x 50 x 60 cm), para minimizar interferências eletromagnéticas e eliminar ruídos, garantindo maior precisão nos resultados obtidos. Como organismos modelo, utilizamos a cultivar BRS Ana de batata (*Solanum tuberosum* L.), desenvolvida pela Embrapa, e o acesso BGB009 de batata-silvestre (*S. commersonii* Dunal) do Banco Ativo de Germoplasma de Batata da Embrapa.

A fonte de luz utilizada foi uma lâmpada LED de 24 W, com temperatura de cor de 6500 K (luz fria) e fluxo luminoso de 1680 lm, conforme especificado pelo fabricante. A intensidade da luz incidente foi medida com um luxímetro (Minipa) e resultou em 300 lux no ambiente iluminado e 16 lux no ambiente escuro, garantindo que a iluminação fosse estável, conhecida e controlada.

Um instrumento para a detecção do sinal bioelétrico foi desenvolvido em circuito eletrônico composto por amplificadores, resistores e capacitores, fixados em uma placa de circuito universal e conectado ao computador por meio de um microcontrolador Arduino modelo Uno, seguindo metodologia similar à proposta por Volkov e Haack (1995). A conexão entre as plantas e o sistema de aquisição de dados foi realizada com o uso de eletrodos posicionados de forma não invasiva na superfície das folhas, umedecidos com gel condutor (Carbogel), sem causar dano às plantas.

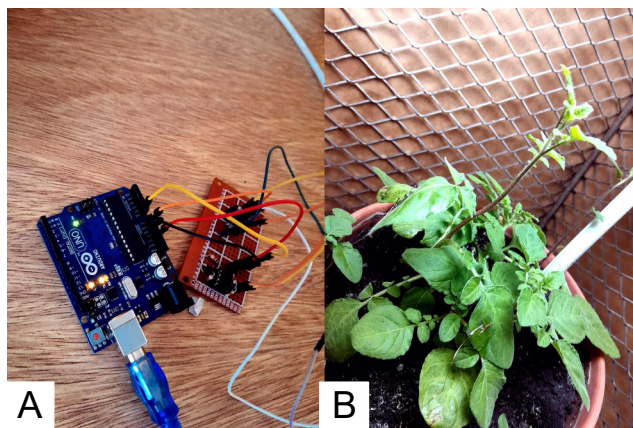


Figura 1: (A) Arduino Uno conectado à placa de circuito contendo os componentes utilizados para captar o sinal bioelétrico das plantas. (B) Planta de batata-silvestre BGB009 (*Solanum commersonii*) do Banco Ativo de Germoplasma de Batata da Embrapa com eletrodos fixados, posicionada na gaiola de Faraday para isolamento eletromagnético.

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação e depois de transferidas para a Sala de Caracterização e Avaliação do laboratório passaram por um período de aclimação de 48 horas, mantidas a uma temperatura de aproximadamente 18°C.

Na primeira etapa do experimento, o acesso BGB009 foi colocado na gaiola de Faraday, a qual foi envolvida com papel fosco para proporcionar um ambiente de escuridão 24 horas antes do início das medições. Coletamos uma hora de dados referentes ao potencial elétrico superficial da planta nesse ambiente escuro. Em seguida, com a luz acesa, foi realizada mais uma hora de coleta de sinais bioelétricos para registrar as respostas à transição para a luminosidade. Em seguida, repetimos o mesmo procedimento com a cultivar BRS Ana.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados durante a avaliação da intensidade do sinal em milivolts (mV), gerado pela presença ou ausência de estímulo luminoso, foram registrados em tabelas e analisados para determinar os valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão. Esses dados são apresentados graficamente na Figura 2, que resume alguns dos resultados obtidos, utilizando médias calculadas a cada 10 minutos de intervalo de tempo.

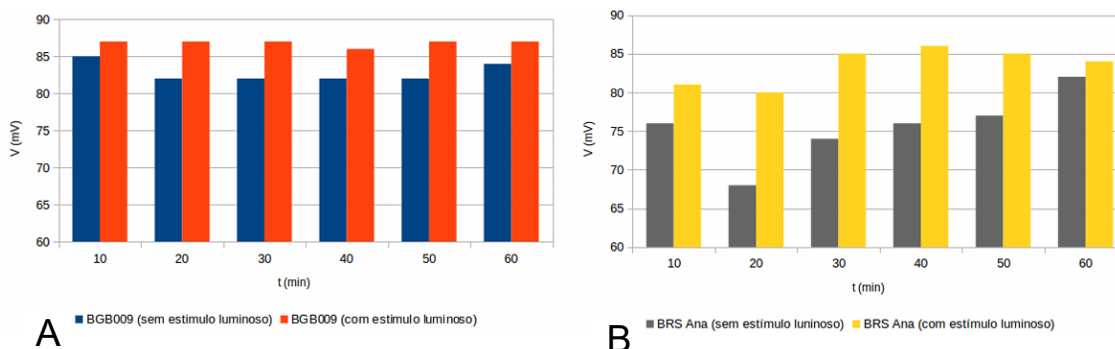


Figura 2: Variação das médias das tensões elétricas (em mV) ao longo do tempo (em minutos) para as duas espécies de batata avaliadas: (A) Batata-silvestre BGB009 (*Solanum commersonii*) e (B) cultivar de batata BRS ANA (*S. tuberosum*), sob condições de estímulo luminoso e ausência de luz. Em cada espécie, a primeira coluna corresponde ao período sem luz (escuro), e a segunda coluna ao período com estímulo luminoso (claro). Observa-se que as tensões elétricas aumentam na presença de luz para ambas as variedades.

Observamos um aumento significativo na atividade bioelétrica das plantas quando submetidas à mudança de luminosidade, do escuro para o claro. A diferença no sinal bioelétrico sugere uma resposta fisiológica imediata das plantas à presença de luz em ambas as espécies, indicando que a transição abrupta da escuridão para a claridade afeta o potencial elétrico registrado nas folhas. Tanto a batata-silvestre (BGB009) quanto a cultivar de batata (BRS Ana) responderam a essa mudança, com nível de intensidades diferentes. Esses resultados são consistentes com observações que também relataram uma resposta bioelétrica nas plantas sob variação luminosa, reforçando a hipótese de que a luz desempenha um papel crucial na modulação dos sinais elétricos. Além disso, validam a eficácia do instrumento desenvolvido neste estudo para a detecção de bioeletrossinais. Estudos como os de Volkov (2012) sugerem que a luz pode influenciar diretamente os sinais bioelétricos em plantas, o que corrobora com os achados deste experimento, e outros trabalhos indicam que essa resposta pode estar associada a mecanismos de fotossensibilidade e regulação estomática.

4. CONCLUSÕES

O instrumento desenvolvido mostrou-se eficaz na detecção e distinção dos bioeletrossinais e avaliação da resposta elétrica de plantas de batatas às mudanças de luminosidade, confirmando a eficácia e habilitando o prosseguimento das pesquisas com o uso e constante otimização do equipamento para maior precisão. Além disso, foi observado que a intensidade desses sinais varia entre as duas

espécies estudadas, corroborando os planos de aplicação para comparações avaliando as respostas entre diferentes genótipos. Esses resultados são indicativos promissores para aplicações do instrumento desenvolvido e dos bioeletrossinais em fenotipagem, permitindo investigar que outras características das plantas podem estar associadas às respostas bioelétricas. Futuras pesquisas explorarão a correlação entre a resposta à intensidade da luz com a adaptabilidade, com o objetivo de validar marcadores fenotípicos e genéticos que contribuam para selecionar plantas mais eficientes frente às variações de intensidade luminosa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASHIR, I.; NICOLAO, R.; HAERTER, J.; DE BRITO, G.; CASTRO, C.; HEIDEN, G. **Phenotyping wild potatoes for photosynthesis associated traits under heat stress**. Research Square, v.1, p.?, 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3449685/v1.

BASHIR, I.; NARDINO, M.; CASTRO, C.M.; HEIDEN, G. **Genotypic response and selection of potato germplasm under heat stress**. Potato Research, v.66, p.85-104, 2022. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:250657782>>.

CAMPOS, H.; ORTIZ, O. (Eds.). **The Potato Crop: The Scientific Basis for Improvement**. Berlin: Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-28683-5.

FROMM, J.; LAUTNER, S. **Electrical signals and their physiological significance in plants**. Plant Cell and Environment, v.30, n.3, p.249-257, mar. 2007. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x.

HUBER, A.E.; BAUERLE, T.L. **Long-distance plant signaling pathways in response to multiple stressors: the gap in knowledge**. Journal of Experimental Botany, v.67, n.7, p.2063-2079, 2016. DOI: 10.1093/jxb/erw099.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

LOPEZ, A.M.; et al. (Org.). **Botânica no Inverno 2013**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2012.

MONK, S. **Programação com Arduino**. Porto Alegre: Bookman, 2a ed., 2017.

MORETO, P.; KOENIGKAN, L.; SANTOS, T. **Hardware e software abertos para imageamento automatizado em fenotipagem de plantas**. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2020. Anais... Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020.

VOLKOV, A.G.; SHTESTEL, Y.B. **Propagation of electrotonic potentials in plants: Experimental study and mathematical modeling**. AIMS Biophysics, v.3, n.3, p.358-379, 2016. DOI: 10.3934/biophy.2016.3.358.

VOLKOV, A.G. **Plant Electrophysiology: Methods and Applications**. Berlin: Springer, 2012.

VOLKOV, A.; HAACK, R. **Bioelectrochemical signals in potato plants**. Russian Journal of Plant Physiology, v.42, p.17-23, jan. 1995.