

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SENSOR DE FITA DE COBRE PARA CAPTAÇÃO DE SINAIS ELÉTRICOS EM PLANTAS: UMA ABORDAGEM MENOS INVASIVA

JULIANA DOS SANTOS RIBEIRO¹; DOUGLAS ANTÔNIO POSSO²; THIAGO FRANCISCO DE CARVALHO OLIVEIRA³; HELENA CHAVES TASCA⁴; GABRIELA NIEMEYER REISSIG⁵; GUSTAVO MAIA SOUZA⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – julianaribeiro1965@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – douglasposso@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – fthicar@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – hctasca@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – gabriela.niemeyer.reissig@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – gumaia.gms@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As plantas, em decorrência da sua natureza sésstil, não podem evitar fatores ambientais adversos, o que as fez desenvolver mecanismos complexos em resposta a diferentes estímulos ambientais (MUDRILOV et al. 2021). Um desses mecanismos são os sinais elétricos, que exercem um papel essencial para a planta em resposta a diferentes estresses ambientais, tornando a reposta da planta mais rápida a tais variações do ambiente.

Dentre os tipos de sinais elétricos em plantas, temos o potencial de ação (PA), potencial de variação (PV), e potencial sistêmico (PS). Esses sinais ocorrem por meio de um desequilíbrio iônico entre a membrana plasmática, o que leva um transiente de voltagem do qual depende do influxo e efluxo desses íons ocasionando um sinal elétrico (HUBER et al. 2016).

Em decorrência disso, é notável que os sinais elétricos nas plantas são essenciais para compreender como elas respondem ao ambiente. Portanto, diferentes métodos são utilizados para coletar a variação de sinais elétricos na planta (LI et al. 2021). Um dos métodos mais conhecidos é a utilização de eletrodos conectados à planta que funcionam como sensores de metal para captação do sinal elétrico, embora seja de fácil manuseio, este precisa ser inserido através dos tecidos, gerando danos mecânicos na planta (DAVIES et al. 2006).

Outra forma de coletar a variação dos sinais elétricos nas plantas é a utilização de sensores de superfície em conjunto com fontes de luzes com pouca variação. Este método além de evitar o dano celular, pode produzir sinais estáveis, ser replicado e conduzido em medições de alto rendimento (LI et al. 2021).

Um exemplo de sensor de superfície é demonstrado no estudo de MEDER et al. (2021), no qual foi utilizado em três espécies de plantas: *D. muscipula*, *A. thaliana* e *C. motorius*. Tais espécies foram selecionadas por serem modelos de referência em estudos de sinais elétricos. Além disso, *D. muscipula*, *C. motorius* possuem órgãos que se movem rapidamente como, por exemplo, a armadilha da *D. muscipula* (MEDER et al. 2021).

Pensando nessas vantagens, parte da equipe do Laboratório de Cognição e Eletrofisiologia Vegetal (LACEV) desenvolveu um protótipo de sensor para

captação de sinais elétricos de superfície foliar. Desta forma, o objetivo deste estudo é testar a captação do sinal elétrico deste sensor em plantas de arroz, quanto a qualidade, estabilidade e replicação do sinal captado.

2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Cognição e Eletrofisiologia Vegetal (LACEV) situado na Universidade Federal de Pelotas, *campus* Capão do Leão. Sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) da cultivar Nippombare foram cultivadas na sala de experimentação do LACEV, em vasos de 700 mL preenchidos com areia. A irrigação foi realizada diariamente com o intuito de manter uma lâmina d'água, além da aplicação de solução nutritiva de HOAGLAND e ARNON (1950) duas vezes por semana. Ao final do estágio vegetativo, as plantas foram submetidas as análises.

O sinal elétrico foi captado através de equipamento MP36 (Biopac Systems) com uma adaptação para fixar o novo eletrodo utilizando folha de cobre esmaltadas e gel condutor. Este gel é formado por polímeros capazes de conduzir eletricidade emitida pela região da planta em que foi inserido e transmiti-las para o sensor de superfície, mantendo a hidratação dos tecidos locais. Foram coletados sinais elétricos 1 h e 30 min antes do estímulo e 2 h depois do estímulo em quatro plantas.

O estímulo consistiu em um toque na folha, aplicado 2 min após o início da medição. As análises das séries temporais do sinal elétrico captado foram caracterizadas com a técnica da ApEn: *Approximate Entropy*, a qual quantifica a regularidade e a imprevisibilidade dos dados. Valores menores indicam mais regularidade e valores maiores indicam mais imprevisibilidade (irregularidade). E DFA: *Detrended Fluctuation Analysis* calcula uma estimativa da escala de uma lei de potência (expoente de Hurst). Está análise é capaz de calcular a autocorrelação de uma série temporal e indicar seu índice de memória de longo e curto prazo. Assim, o DFA pode fornecer uma quantização de criticalidade em um dado sinal. O TDAF (Time Dispersion Analysis of Features) é uma forma desenvolvida para analisar o eletroma nas plantas, considerando a variabilidade tanto temporal quando espacial dos sinais elétricos, possibilitando avaliar como características do sinal mudam ao longo do tempo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises obtidas por meio da captação dos sinais elétricos emitidos pelas plantas de arroz estão ilustradas na Figura 1, que ilustra a análise do eletroma. Para avaliar a eficácia do sensor, foi realizada a captação do sinal elétrico antes e após a aplicação de um estímulo de toque. Esse procedimento teve o objetivo de verificar se o sensor produzia resultados consistentes com estudos anteriores e se apresentava qualidade suficiente, minimizando o ruído eletrônico.

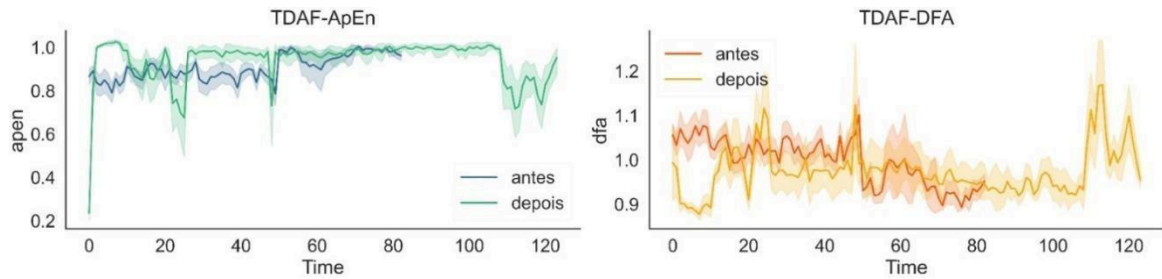


Figura 1: Gráfico de TDAF demonstrando os valores de ApEn, gráfico a direita, e DFA, gráfico a esquerda. Os gráficos exibem os valores medidos antes e após da aplicação do estímulo de toque. As linhas mais escuras representam os valores medianos das medições a cada minuto, enquanto as áreas sombreadas indicam os valores máximos e mínimos registrados em cada minuto.

Esses resultados indicam uma variação adequada na dispersão para a captação do sinal elétrico de plantas, tanto antes quanto depois do estímulo. A proximidade das sombras à linha central, representando a média dos resultados, sugere que a utilização da fita de cobre não compromete a qualidade da captação, apresentando baixo ruído no sinal. Além disso, foi possível identificar que, nos primeiros 15 minutos de análise, o estímulo gerou a maior diferença no sinal elétrico das plantas. Isso demonstra uma variação no sinal elétrico antes e após o estímulo, evidenciada tanto pela entropia aproximada quanto pela análise de flutuação destendenciada. Esses resultados indicam uma reorganização do sinal elétrico em resposta ao estímulo, por um período determinado.

4. CONCLUSÕES

O sensor de superfície foliar produzido pelo grupo de pesquisa LACEV foi capaz de captar variações de sinais elétricos com maior estabilidade e menor produção de ruídos, demonstrando diferenças produzidas antes e após o estímulo de toque. Resumindo, a qualidade do sinal elétrico captado pelo sensor de superfície se demonstra promissora para seu desenvolvimento e aprimoramento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, J. A.; LIMA, R. S. **Sensor fixado às folhas monitora de modo contínuo perda de água em culturas agrícolas.** *Jornal da USP*, São Paulo, 23 jul. 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/sensor-fixado-as-folhas-monitora-de-modo-contínuo-perda-de-agua-em-culturas-agricolas/>. Acesso em: 12 set. 2024.

Davies, E., 2006. Electrical signals in plants: facts and hypotheses. **Plant Electrophysiology**. Springer, pp. 407–422. https://doi.org/10.1007/978-3-540-37843-3_17.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils.** Berkeley: California. Agricultural Experimental Station, 347p., 1950.

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, mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erw099>. Acesso em: 12 set. 2024.

LI, J.-H.; FAN, L.-F.; ZHAO, D.-J.; ZHOU, Q.; YAO, J.-P.; WANG, Z.-Y.; HUANG, L. Plant electrical signals: A multidisciplinary challenge. **Journal of Plant Physiology**, v. 265, p. 153418, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153418>. Acesso em: 12 set. 2024.

MEDER, F.; SAAR, S.; TACCOLA, S.; FILIPPESCHI, C.; MATTOLI, V.; MAZZOLAI, B. Ultraconformable, self-adhering surface electrodes for measuring electrical signals in plants. **Advanced Materials Technologies**, v. 6, n. 4, p. 2001182, 2021.

MUDRILOV, M.; GRIMBERG, M.; BALALAEVA, I. B.; LADEYNOVA, M. Electrical signaling of plants under abiotic stressors: Transmission of stimulus-specific information. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 22, n. 4, p. 1625, 2021.

OLIVER, N. S. **Mechanisms of plant resistance to environmental stress**. 2022. 120 f. Dissertação (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de São Carlos.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 848 p.