



Neurobiologia Vegetal: Efeitos de ondas sonoras sobre o desenvolvimento vegetal

Plant Neurobiology: Effects of sound waves on plant development

ANA JÚLIA RIBEIRO DOS SANTOS
Engenheira Agrônoma – FEAD Minas 2012
Mestre em Ciências Agrárias – UFSJ 2016
Especialista em Educação Contemporânea e Docência – Faculdade Arnaldo 2022
Professora Adjunta do Curso de Agronomia Faculdade Arnaldo
Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil
ana.santos@profarnaldo.com.br

RESUMO

A Neurobiologia Vegetal é a área de pesquisa que procura entender como vegetais percebem as alterações no meio e respondem a estes estímulos na qual ondas mecânicas é um estudo que pode ser utilizado para tal propósito, porém ainda não estão classicamente incluídas como um estudo em Neurobiologia Vegetal. Deste modo, respostas estímulos sonoros por ondas mecânicas é proposto como um tópico de estudo da Neurobiologia Vegetal ou dos estudos sobre Sinalização e Comportamento Vegetal. Ondas mecânicas, incluindo as ondas sonoras, são estímulos ambientais presentes em ecossistemas naturais ou modificados pelo ser humano, os chamados Agroecossistemas. Entender como vegetais respondem, emitem e se comportam em relação a estes estímulos pode corresponder à uma importante ferramenta para o futuro da produção de alimentos, conservação e sustentabilidade da vida no planeta. Portanto, o objetivo deste trabalho foi propor uma quarta linha de estudo: Formas pelas quais organismos vegetais percebem e reagem a estímulos mecânicos ou simplesmente “Ondas Mecânicas”. Foi possível observar a evolução dos trabalhos relacionados as respostas de



UNIDADE FUNCIONÁRIOS:

📍 Praça João Pessoa, 200 | Funcionários
Belo Horizonte | MG | 30140-020
☎️ 31 3524.5000

UNIDADE ANCHIETA:

📍 Rua Vitorio Marçola, 360 | Anchieta
Belo Horizonte | MG | 30310-360
☎️ 31 3524.5204

UNIDADE PILAR:

📍 Rua Professor Otílio Macedo, 12 | Olhos D'Água
Belo Horizonte | MG | 30390-200
☎️ 31 4009.0994

plantas as ondas mecânicas bem como entender a importância destes estudos e suas possíveis contribuições para a agricultura. Além disso, este estudo demonstra a percepção e estímulo provocado por ondas mecânicas em plantas, bem como a emissão destas ondas por elas.

Palavras-chave: sinalização vegetal, comportamento vegetal, ondas mecânicas, desenvolvimento vegetal.

ABSTRACT

Plant Neurobiology is a research topic that seeks to understand how plants perceive and respond to changes in the environment stimuli in which mechanical waves is a study that can be used for that purpose, yet isn't classically included as a study in Plant Neurobiology. Therefore, responses to sound stimuli by mechanical waves are proposed as a topic of Plant Neurobiology and Plant Signaling and Behavior. Mechanical waves, including sound waves, are environmental stimuli present in natural or human-modified ecosystems, the so-called Agroecosystems. Understanding how plants respond, emit, and behave in relation to these stimuli can be an important tool for the future of food production, conservation, and sustainability of life on the planet. Therefore, the objective of this work was to propose a fourth line of study: Ways in which plant organisms perceive and react to mechanical stimuli or simply "Mechanical Waves". It was possible to observe the evolution of works related to plant responses to mechanical waves as well as to understand the importance of these studies and their possible contributions to agriculture. In addition, this research was able to demonstrate the perception and stimulation caused by mechanical waves in plants, as well as the emission of these waves by them.

Keywords: plant signaling, plant behavior, mechanical waves, plant development.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Brenner et al. (2006), Neurobiologia Vegetal é a área de pesquisa que procura entender como os vegetais percebem as alterações no meio e respondem a estes estímulos de forma integrada, levando em conta a combinação de componentes moleculares, químicos e elétricos na sinalização celular. O estudo da neurobiologia vegetal pode ser dividido em linhas de pesquisa: Eletrofisiologia, Inteligência Vegetal, e Neurotransmissores.

Antes de definir cada uma das áreas de estudo, é importante ressaltar que o termo Neurobiologia Vegetal vem sendo cada vez menos usado em virtude da falta de precisão visto que o prefixo "neuro" exprime a ideia de nervo ou tendão, estruturas ausentes em plantas. Deste modo o termo Sinalização e Comportamento Vegetal vem sendo usado em substituição existindo inclusive a revista *Plant Signaling e Behavior*, periódico publicado desde o ano de 2006. Além disso, a Sociedade de Neurobiologia

Vegetal, fundada em 2005 foi rebatizada em 2009 como nome Sociedade de Sinalização e Comportamento Vegetal.

A Eletrofisiologia é a linha de pesquisa que estuda a excitabilidade elétrica e sinalização, frequentemente associada com respostas rápidas aos estímulos ambientais. Esse é um fenômeno bem conhecido em algumas algas e plantas superiores (Fromm & Lautner, 2007) . É possível se obter predições a respeito do status da vida vegetal de acordo com as amplitudes e as frequências dos sinais elétricos observados em plantas (Kai et al., 2011).

Para se falar sobre Inteligência Vegetal, inicialmente deve-se ressaltar que evidentemente, a atribuição de inteligência aos diferentes sistemas depende do conceito do que se entende por inteligência. Um conceito amplo utilizado em diferentes áreas, inclusive na psicologia, é o de que inteligência compreende as habilidades mentais necessárias para a adaptação ao ambiente, bem como a seleção e modelagem de qualquer contexto ambiental. De acordo com esta definição, o comportamento rotulado como inteligente pode diferir de acordo com contexto ambiental (Sternberg, 1997). Porém para Brenner et al. (2006), a inteligência vegetal pode ser definida como a habilidade intrínseca de processar informações de estímulos bióticos e abióticos que permite a tomada de decisões sobre atividades futuras num dado ambiente. Segundo Trewavas (2005), o número de ambientes possíveis de acordo com a percepção das plantas e com os sinais bióticos e abióticos seria muito expressivo. Desta forma, seria muito improvável que estas respostas sejam em virtude de uma pré-programação genética.

Parise, Gagliano e Souza (2020) propuseram um mecanismo de cognição estendida encontrado em plantas que pode explicar parcialmente a complexidade do comportamento vegetal. Os autores sugerem que as plantas possam estender suas habilidades cognitivas ao ambiente que manipulam através da zona de influência das raízes e dos fungos micorrízicos que se associam a elas.

Trabalhos já identificaram em plantas, substâncias que em animais geralmente apresentam a função neurotransmissora, entre eles catecolaminas, acetilcolina e GABA (Ácido gama aminobutírico) (Świądrych et al., 2004; Tretyn & Kendrick, 1991; Bouché & Fromm, 2004) . A acetilcolina foi identificada em diversas formas de vida desprovidas de sistema nervoso, uni e pluricelulares, dentre elas, fungos, bactérias,

algas e plantas (Horiuchi et al., 2003; Kawashima et al., 2007; Wessler et al., 2001). Além disso, o mesmo neurotransmissor, segundo Horiuchi et al. (2003) também foi detectado em células não neuronais de mamíferos. Ainda sobre a acetilcolina, Bamel, Gupta & Gupta (2007), testando o efeito enraizador da acetilcolina em explantes foliares de tomate cultivados *in vitro*, concluíram que a acetilcolina induz o enraizamento destes.

Baluska et al. (2008) sugerem que as plantas conseguem estabelecer meios de troca de informações que tem propriedades em comum com sinapses animais. Os mesmos autores ainda concluem que é concebível que a auxina tenha papel nessas sinapses promovendo comunicação elétrica célula a célula. Já Khurana et al. (1987), trabalhando com lentilha concluíram que se catecolaminas são fornecidas para as plantas antes do início do regime de dias curtos, eles não só induzem mais primórdios florais, mas, também melhoram significativamente o desenvolvimento da flor. Booz et al. (2009), trabalhando com goiabeira serrana (*Acca sellowiana* (O.Berg) Burret) mostraram viabilidade do uso de suplementação de GABA no meio de cultura para indução da embriogênese somática desta espécie.

Inicialmente, pode se dividir o campo da Neurobiologia Vegetal de acordo com as três áreas citadas acima, porém, existem poucos trabalhos publicados que incluem o estudo de estímulos mecânicos em plantas como uma área de estudo da Neurobiologia Vegetal.

Ondas mecânicas, incluindo as ondas sonoras, são estímulos ambientais constantemente presentes em ecossistemas naturais ou modificados pelo ser humano para seu benefício, os chamados Agroecossistemas. Entender como os organismos vegetais respondem, emitem e se comportam em relação a estes estímulos pode corresponder à uma importante ferramenta para o futuro da produção de alimentos, conservação ambiental e sustentabilidade da vida no planeta.

Portanto, o objetivo principal da presente revisão de literatura foi propor uma quarta linha de estudo: Formas pelas quais organismos vegetais percebem e reagem a estímulos mecânicos ou simplesmente “Ondas Mecânicas”.

Os objetivos específicos do trabalho foram conceituar e atualizar o termo “Neurobiologia Vegetal” e suas áreas de estudo e apresentar uma revisão dos principais resultados já encontrados em estudos relacionados às respostas de plantas às ondas mecânicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ondas mecânicas

Onda mecânica é uma perturbação que se desloca através de um material chamado meio, no qual a onda se propaga. As partículas que constituem o meio sofrem deslocamentos de diversas direções, dependendo da natureza da onda (Lima, 2020). As ondas sonoras são exemplos de ondas mecânicas longitudinais com frequência variando entre 20 e 20000 Hertz (Cai et al., 2014).

As ondas sonoras possuem propriedades às quais são utilizadas para descrevê-las. Dentre estas características se encontra a frequência e o comprimento de onda, intensidade sonora. Segundo Eliopoulos (2006), a frequência da vibração de som é o número de ciclos de mudanças de pressão em consideração ao tempo e é expressa em ciclos por segundo ou Hertz no Sistema Internacional. Ainda segundo o autor, o comprimento de onda, é a distância percorrida por um ciclo de oscilação e depende da velocidade da perturbação do meio e, conseqüentemente, da densidade do meio. Já a intensidade sonora se relaciona com a amplitude de pressão da onda no meio em que se desloca e representa a energia mecânica contida na vibração.

De forma resumida a frequência do som determina a altura (grave ao agudo) ao passo que a intensidade do som é definida como uma grandeza sem dimensões medida em decibéis (dB) (Jiang et al, 2014).

De forma generalizada, a mensagem sonora na natureza é constituída por uma mistura da frequência fundamental e de seus harmônicos. Seres vivos não emitem tons puros. Logo não encontramos na natureza sons formados por apenas uma frequência (Cypriano, 2013). O som emitido por grilos é o que mais se aproxima de um tom puro (Greenfield, 2002).

Gagliano (2012) propôs que organismos vegetais podem ter sido selecionados de acordo com a sensibilidade ao som durante sua evolução. O autor também afirma que essa sensibilidade é um modo de perceber o ambiente que as rodeia, e que essa característica pode ter sido evolutivamente fixada no grupo.

Apesar do termo “ondas mecânicas” demonstrar a possibilidade de organismos reagirem a qualquer frequência de onda, a maioria dos trabalhos encontrados na

literatura foram realizados com a aplicação de frequências dentro da faixa audível pelo ser humano, ou seja, a maioria dos pesquisadores trabalha com ondas sonoras, provavelmente por estas possuírem frequência e intensidade mais fáceis de monitorar e controlar.

Demonstrando que a sensibilidade ao som não é característica exclusiva de animais, Matsushashi et al. (1998) observaram que a eficiência na formação de colônias de bactérias *Bacillus carboniphilus* aumentaram quando estas foram expostas à sons em intervalos de frequência entre 6-10, 18-22 e 28-38 KHz.

2.2 Mecanossensibilidade

Os mecanismos sensoriais específicos disponíveis nas plantas para a detecção de som ainda não são claros, porém desconfia-se de fenômenos de mecanossensibilidade, a capacidade intrínseca de perceber e responder a perturbações mecânicas, que todos os organismos exibem, a fim de crescer e se desenvolver (Gagliano, 2012). Todos os organismos, de bactérias a animais multicelulares e plantas, devem sentir e responder à força mecânica no seu meio externo (por exemplo, à força de cisalhamento, à gravidade, ao toque) e no seu meio interno (incluindo a pressão osmótica e a deformação da membrana) para o bom crescimento e desenvolvimento. (Gillespie & Walker, 2001; Hamill & Martinac, 2001; Sukharev & Corey, 2004; Kung, 2005; Vogel & Sheetz, 2006; Sachs, 2010).

Embora exista uma diversidade estrutural ampla, e esta pareça ter evoluído para acomodar a necessidade fisiológica de detectar forças de diferentes magnitudes (Sukharev e Anishkin, 2004), canais de mecanossensibilidade em diferentes organismos podem servir, no entanto, para funções semelhantes (Gagliano, 2012). Arnadóttir e Chalfie (2010) observaram que em animais, por exemplo, alguns canais de mecanossensibilidade estão implicados na percepção de estímulos mecânicos, tais como toque e sons indicativos do ambiente onde esses animais estão inseridos como por exemplo vozes, sons provocados por movimentos de árvores e cursos d'água e sensibilidade ao toque por insetos ectoparasitas e demais hematófagos.

Existem evidências que sugerem que os canais de mecanossensibilidade ligados a mudanças nos fluxos de íons (principalmente em Ca^{2+} citossólico) pode

desempenhar uma função semelhante em plantas (Haswell et al., 2008) e, portanto, este pode ser um ponto de partida fértil para investigar as vias de resposta desencadeada por estímulos acústicos (Gagliano, 2012).

De acordo com o modelo proposto por Gagliano (2012) células vegetais vibram como resultado do movimento ativo de organelas dentro da célula (ou seja, a fluidez citoplasmática). A fluidez citoplasmática é causada pela atividade de proteínas motoras, miosinas, que deslizam ao longo de filamentos de actina, usando a energia da hidrólise da adenosina trifosfato. Como o movimento do nanomecanismo gerado dentro de uma célula reflete o status metabólico único da célula, esta informação está contida na onda vibracional emitida. Vibrações de células individuais se propagam através do meio como ondas sonoras e atingem células vizinhas. Se as células de recebimento são receptivas a essa frequência em particular, elas também vão começar a vibrar proporcionalmente à intensidade do sinal recebido e quando todas as células estão "em sintonia", o sinal é amplificado. O sinal se estende para fora da folha ou raiz da planta e transmite informações sobre aquela planta para plantas vizinhas ou outro organismo.

O som é um estímulo ambiental e pode ser detectado por organismos vivos e influenciar seu desenvolvimento (Greenfield, 2002; Reguera, 2011; Aggio, Obolonkin & Villas-Bôas, 2012; Gagliano, 2012). Como definido anteriormente, a Neurobiologia Vegetal é a área de pesquisa que procura entender como os vegetais percebem as alterações no meio e respondem a estes estímulos (Brenner et al., 2006). Deste modo propõe-se as respostas aos estímulos sonoros como área de estudo da Neurobiologia Vegetal ou dos estudos sobre Sinalização e Comportamento Vegetal.

2.3 Respostas de plantas a ondas mecânicas

2.4 Alterações na germinação e desenvolvimento inicial

Bochu et al. (2003), trabalhando com germinação de arroz, verificaram que o som com 106 dB e 400 Hz ou 1000 Hz, aplicado em dois intervalos de 30 min diários, afetou o tamanho do hipocótilo e epicótilo e a matéria fresca das plântulas, enquanto sob outras combinações de intensidades e frequências de som não foram obtidas respostas significativas.

Foi verificado por Cai et al. (2014) que o tratamento com frequência de 2000Hz sob intensidade de 90dB provocou aumento significativo no crescimento além de reduzirem o período de germinação do feijão chinês. Foi concluído pelos mesmos autores que o tratamento com ondas audíveis pode promover o crescimento do feijão chinês de forma diferente para a frequências e intensidades distintas.

Bochu et al. (2004) testando o efeito de simulação sonora em calos maduros de crisântemo observou que a frequência de 1400 hertz sob intensidade sonora de 95db por 30 minutos diários e duas vezes ao dia aumentou significativamente o teor de ácido indolacético (AIA) e reduziu os teores de ácido abscísico (ABA) em relação ao controle. Os autores ainda concluem que esta alta relação AIA/ABA contribuiu para o crescimento e diferenciação de calos maduros.

Firoozi et al. (2019) avaliando os efeitos de ultra-sonografia (35 kHz) e de reguladores de crescimento de plantas na calogênese *in vitro* e produção de metabólitos secundários em calos de açafrão (*Curcuma longa*) observou-se que a sonificação dos explantes de açafrão possibilitou aumento significativo na indução e crescimento de calos *in vitro*, sendo a maior indução de calo (100%) e rendimento (4,68 g) obtido com explantes sonificados cultivados em meio MS (Murashige e Skoog) suplementado com 2 mg L⁻¹ 1-naftalenoacético e 0,5 mg L⁻¹ de cinetina.

Sementes de milho (*Zea mays* L.) tratadas sob frequências de 200 Hz por 12 e 24 horas antes de serem postas para germinar apresentaram incremento nos parâmetros referentes ao índice de velocidade de germinação (IVG), porcentagem de plântulas normais, comprimento da maior raiz, comprimento de parte aérea e massa fresca e massa seca de raízes e parte aérea (SANTOS, 2016).

2.4.1 Alterações em atividades metabólicas

Yi et al. (2003a) trabalhando com crisântemo (*Gerbera jamesonii*) concluíram que a atividade de raízes e conteúdo de proteínas solúveis aumentou sob estimulação sonora durante 60 minutos por dia à 100db de intensidade e frequência de 1000 Hertz por 3, 6, 9, 12 e 15 dias. Sendo que o aumento mais expressivo foi obtido pelo tratamento durante 9 dias. Ainda sobre crisântemo, no trabalho de Yi et al. (2003b) foi verificado que o mesmo tratamento acelerou o crescimento das raízes bem como elevou significativamente o conteúdo de açúcares solúveis, proteínas e atividade de

amilase. Isso os levou a concluir que estes resultados indicam que a estimulação sonora pode melhorar o metabolismo das raízes e crescimento desta planta.

Qin et al. (2003) estudando os efeitos de ondas mecânicas em couve chinesa e pepino observaram que ambos apresentaram aumento no nível de poliaminas e captação de oxigênio sob exposição sonora de 20000 hertz.

Já existem evidências de que a estimulação sonora apresenta efeito no crescimento e desenvolvimento de plantas. Mas o mecanismo de como som afeta o crescimento das plantas ainda não é claro. Em vista disto, Xiujuan et al. (2003a) estudaram o efeito de som no ácido nucleico e proteína solúvel para explorar o mecanismo do efeito biológico do som. Os autores verificaram que a onda sonora não teve nenhuma influência evidente no conteúdo de DNA, mas acelerou a síntese de RNA e de proteína solúvel. Por meio do ensaio de relação, o teor de proteína solúvel apresentou uma relação muito próxima com a do RNA. Este resultado indicou que alguns genes induzidos por estresse podem ser ligados sob estimulação sonora. Além disso, foi observado também o aumento no nível de transcrição.

Jeong et al. (2008) testando a resposta de genes de arroz à sinais sonoros verificaram que a expressão de Ald RNAm aumentou significativamente com o tratamento a 125 e 250 Hz, enquanto os níveis diminuíram significativamente com o tratamento em 50 Hz, indicando uma resposta específica para diferentes frequências.

Li et al. (2008) testando os efeitos de estresse sonoro em atividade enzimática e peroxidação lipídica em orquídea constataram que a atividade de enzimas em todos os órgãos da planta foi aumentada geralmente atingindo o valor máximo ao nono dia de tratamento e o conteúdo de malondialdeído se elevou rapidamente até o terceiro dia de tratamento, reduzindo logo após para alcançar o menor valor ao nono dia de tratamento.

Xiaocheng et al. (2003) testando os efeitos de simulação sonora no metabolismo energético de calos de kiwi (*Actinidia chinensis* Planch.) concluíram que intensidade de som de cerca de 100 dB e frequência de cerca de 1000 Hz são tensões externas ideais para o metabolismo energético provocando diferenças significativas no conteúdo de ATP.

Plantas da espécie *Impatiens walleriana* Hook.f., que foram submetidas ao som natural gravado e a esse mesmo som após ter sido fragmentado e rearranjado

aleatorizadamente e ao som gravado no modo reverso apresentaram alterações nos parâmetros fluorométricos, decorrente dos tratamentos sonoros (Salgado, 2019).

2.4.2 Alterações na morfologia externa e produtividade

Gagliano, et al. (2017), investigando o mecanismo pelo qual as raízes detectam e localizam a água, descobriram que as raízes foram capazes de localizar uma fonte de água detectando as vibrações geradas pela água se movendo dentro dos canos, mesmo na ausência de umidade do substrato. Quando tanto a umidade quanto as pistas acústicas estavam disponíveis, as raízes usavam preferencialmente a umidade no solo sobre as vibrações acústicas, sugerindo que os gradientes acústicos permitem que as raízes detectem amplamente uma fonte de água à distância, enquanto os gradientes de umidade as ajudam a atingir seu alvo com mais precisão.

Santos (2016) demonstrou que plantas de milho (*Z. mays* L.) tratadas com frequência de 300 Hz sob intensidade de 60 dB no estágio V5, apresentaram maior altura. Já plantas oriundas de sementes tratadas com frequência de 300 Hz apresentaram maior altura a partir da quarta semana de condução e maior diâmetro de caule.

Plantas de rabanete (*Raphanus sativus* L.) tratadas com frequência de 300 Hz apresentaram maiores quantidades de massa fresca de parte aérea e raízes, bem como maiores diâmetros longitudinal e transversal da raiz axial. Plantas tratadas com frequências de 300 e 1.000 Hz apresentaram maior teor de água na parte aérea.

2.4.3 Outras alterações e observações

Appel e Cocroft (2014) observaram que as rosetas de *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh pré-tratadas com vibrações da alimentação de lagartas apresentaram maiores concentrações de glicosinolatos e antocianinas. Além disso, as plantas foram capazes de discriminar as vibrações causadas pela alimentação daquelas ocasionadas pela comunicação entre os insetos.

Meng et al. (2012), testando respostas na fotossíntese e fluorescência da clorofila de plantas de morango sob ondas sonoras, observaram que os conteúdos de flores, frutos e clorofila aumentaram em tratamentos com estimulação sonora.

Xiujian et al. (2003b) observaram mudanças no ciclo celular de crisântemo em plantas estressadas por estimulação sonora sob frequência de 1.000 Hz e intensidade de 100 dB por nove dias com duração de 60 minutos por dia.

Khait et al. (2023) foram capazes de gravar sons ultrassônicos emitidos por plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) dentro de uma câmara acústica e em casa de vegetação, enquanto monitoravam os parâmetros fisiológicos da planta. Foram desenvolvidos modelos de aprendizado de máquina que conseguiram identificar a condição das plantas, incluindo nível de desidratação e injúrias, com base apenas nos sons emitidos. Os autores esclarecem que esses sons informativos também podem ser detectados por outros organismos e afirmam que o trabalho abre caminhos para a compreensão das plantas e suas interações com o meio ambiente e pode ter um impacto significativo na agricultura.

3. CONCLUSÃO

As plantas são constantemente estimuladas pelos fatores bióticos e abióticos do meio ambiente e o pensamento de que as respostas a estes estímulos são pré-programadas já não é mais adequado para explicar o comportamento vegetal.

Diversos relatos de respostas morfológicas, anatômicas e metabólicas de plantas aos estímulos do meio são encontrados na literatura e neste contexto surgiu o estudo da Neurobiologia Vegetal ou da Sinalização e Comportamento vegetal procurando entender e explicar as formas pelas quais as plantas reagem à tais estímulos.

Eletrofisiologia, Inteligência Vegetal e o estudo de Neurotransmissores em plantas são as áreas geralmente exploradas e inseridas no contexto da Neurobiologia Vegetal. Entretanto a revisão da literatura demonstra as ondas mecânicas, entre elas as ondas sonoras, como estímulos ambientais capazes de provocar alterações metabólicas e morfológicas sendo possível encontrar alterações desde a germinação e desenvolvimento inicial até incrementos em produtividade e alterações de massa e tamanho em plantas adultas.

Diante do exposto, fica claro que o estudo da percepção e estímulo provocado por ondas mecânicas em plantas, bem como a emissão destas ondas por elas pode

ser adequadamente inserido no campo das pesquisas em Sinalização e Comportamento Vegetal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGIO, R.B.M., OBOLONKIN, V., & VILLAS-BÔAS, S.G. **Sonic vibration affects the metabolism of yeast cells growing in liquid culture: a metabolomic study.** *Metabolomics*, 2012, P.670–678. Disponível em:< <https://doi.org/10.1007/s11306-011-0360-x>>. Acesso em 20 jun.2023.

APPEL, H. M., & COCROFT, R. B). **Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing.** *Oecologia*, 2014, P.1257–1266. Disponível em:<<https://doi.org/10.1007/s00442-014-2995-6>>. Acesso em: 20 jun.2023.

ARNADÓTTIR, J., & CHALFIE, M. **Eukaryotic mechanosensitive channels.** *Annual review of biophysics*, 2010, P. 111–137. Disponível em:<<https://doi.org/10.1146/annurev.biophys.37.032807.125836>>. Acesso em: 20 jun.2023.

BALUSKA, F., SCHLICHT, M., VOLKMANN, D., & MANCUSO, S. **Vesicular secretion of auxin: Evidences and implications.** *Plant signaling & behavior*, 2008, P.254–256. Disponível em:<<https://doi.org/10.4161/psb.3.4.5183>>. Acesso em: 20 jun.2023.

BAMEL, K., GUPTA, S. C., & GUPTA, R. **Acetylcholine causes rooting in leaf explants of in vitro raised tomato (*Lycopersicon esculentum* Miller) seedlings.** *Life sciences*, 2007, P. 2393–2396. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2007.01.039>>. Acesso em: 20 jun.2023.

BOCHU, W., JIPING, S., BIAO, L., JIE, L., & CHUANREN, D. **Soundwave stimulation triggers the content change of the endogenous hormone of the *Chrysanthemum* mature callus.** *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 2004, P.107–112. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2004.03.004>>. Acesso em: 20 jun.2023.

BOCHU, W., XIN, C., ZHEN, W., QIZHONG, F., HAO, Z., & LIANG, R. **Biological effect of sound field stimulation on paddy rice seeds.** *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2003, P.29-34. Disponível em:<[https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(03\)00128-0](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(03)00128-0)>. Acesso em: 20 jun.2023.

BOOZ, M. R., KERBAUY, G. B., GUERRA, M. P., & PESCADOR, R. **The role of γ -aminobutyric acid (Gaba) in somatic embryogenesis of *Acca sellowiana* Berg. (Myrtaceae).** *Braz. J. Plant Physiol.*, 2009, P.271-280. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/S1677-04202009000400003>>. Acesso em: 20 jun.2023.

BOUCHÉ, N., & FROMM, H. **GABA in plants: Just a metabolite?** *Trends in Plant Science*, 2004, P.110–115. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.01.006>>. Acesso em: 20 jun.2023.

BRENNER, E. D., STAHLBERG, R., MANCUSO, S., VIVANCO, J., BALUSKA, F., & VOLKENBURGH, E. V. **Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling.** *Trends in Plant Science*, 2006, P.413-419. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.009>>. Acesso em: 20 jun.2023.

CAI, W., HE, H., ZHU, S., & WANG, N. **Biological effect of audible sound control on mung bean (*Vigna radiate*) sprout.** BioMed research international, 2014. Disponível em:<<https://doi.org/10.1155/2014/931740>>. Acesso em: 20 jun. 2023

CYPRIANO, Raphael Jonas. **Reconhecimento de padrões sonoros por plantas: um estudo da resposta de *Impatiens walleriana* ao canto de Quesada gigas.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013. Disponível em:<<http://locus.ufv.br/handle/123456789/3225>>. Acesso em: 20 jun.2023.

ELIOPOULOS, E. **Sound and techniques in sound analysis.** In: S. Drosopoulos, & M. F. Claridge (Eds.), *Insect sounds and communication: Physiology, Behaviour, Ecology, and Evolution*, 2006, P. 11-32. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

FIROOZI, B., NASSER, Z., SOFALIAN, O., & SHEIKHZADE-MOSADEGH, P. **In Vitro Indirect Somatic Embryogenesis and Secondary Metabolites Production in the Saffron: Emphasis on Ultrasound and Plant Growth Regulators.** Tarim Bilimleri Dergisi, 2019, P.1-10. Disponível em:<<https://doi.org/10.15832/ankutbd.538973>>. Acesso em: 19 jun.2023.

FROMM, J., & Lautner, S. **Electrical signals and their physiological significance in plants.** Plant, Cell and Environment, 2007, P.249-257. Disponível em:<<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x>>. Acesso em: 19 jun.2023.

GAGLIANO M. **Green symphonies: a call for studies on acoustic communication in plants.** Behavioral ecology : official journal of the International Society for Behavioral Ecology, 2013, P.789–796. Disponível em:<<https://doi.org/10.1093/beheco/ars206>>. Acesso em: 19 jun.2023.
GAGLIANO, M., GRIMONPREZ, M., DEPCZYNSKI, M., & RENTON, M. **Tuned in: plant roots use sound to locate water.** Oecologia, 2017, P.151–160. Acesso em:<<https://doi.org/10.1007/s00442-017-3862-z>>. Acesso em: 19 jun.2023.

GILLESPIE, P. G., & WALKER, R. G.. **Molecular basis of mechanosensory transduction.** Nature, 2001, P.194–202. Disponível em:<<https://doi.org/10.1038/35093011>>. Acesso em: 19 jun.2023.

GREENFIELD, M.D. **Signalers and Receivers: mechanisms and evolution of Arthropod communication.** New York: Oxford University Press, 2002. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/342159747_Signalers_and_Receivers_Mechanisms_and_Evolution_of_Arthropod_Communication>. Acesso em: 19 jun.2023.

HAMILL, O. P., & MARTINAC, B.. **Molecular basis of mechanotransduction in living cells.** Physiological reviews, 2001, P.685–740. Disponível em:<<https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.2.685>>. Acesso em: 19 jun.2023.

HASWELL, E. S., PEYRONNET, R., BARBIER-BRYGOO, H., MEYEROWITZ, E. M., & FRACHISSE, J. M. **Two MscS homologs provide mechanosensitive channel activities in the *Arabidopsis* root.** Current biology: CB, 2008, P.730–734. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.04.039>>. Acesso em: 19 jun.2023

HORIUCHI, Y., KIMURA, R., KATO, N., FUJII, T., SEKI, M., ENDO, T., KATO, T., & KAWASHIMA, K.. **Evolutional study on acetylcholine expression.** Life sciences, 2003, P.1745-1756. Disponível em:<[https://doi.org/10.1016/s0024-3205\(02\)02478-5](https://doi.org/10.1016/s0024-3205(02)02478-5)>. Acesso em: 19 jun.2023.

JEONG, M., SHIM, C., LEE, J., KWON, H., KIM, Y., LEE, S., BYUN, M., & PARK, S. **Plant gene responses to frequency-specific sound signals**. *Molecular Breeding*, 2008, P. 217-226. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11032-007-9122-x>>. Acesso em: 19 jun.2023.

JIANG, M., YANG, Z., FENG, B., YOU, M., & WANG, H. **The effect of sound intensity on velopharyngeal function in normal individuals**. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation*, 2015, P.44–52. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.05.003>>. Acesso em: 19 jun.2023.

KAI, L., GANG, X., LIN-LIN, F., XIAO-LI, M., XIANG, G., & QING, L. **The Changes of Electrical Signals in Corn at Different Temperatures**. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, P. 39-44. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.008>>. Acesso em: 19 jun.2023.

KAWASHIMA, K., MISAWA, H., MORIWAKI, Y., FUJII, Y. X., FUJII, T., HORIUCHI, Y., YAMADA, T., IMANAKA, T., & KAMEKURA, M. **Ubiquitous expression of acetylcholine and its biological functions in life forms without nervous systems**. *Life sciences*, 2007, P.2206–2209. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2007.01.059>>. Acesso em: 19 jun.2023.

KHAIT, I., LEWIN-EPSTEIN, O., SHARON, R., SABAN, K., GOLDSTEIN, R., ANIKSTER, Y., ZERON, Y., AGASSY, C., NIZAN, S., SHARABI, G., PERELMAN, R., BOONMAN, A., SADE, N., YOVEL, Y., & HADANY, L. **Sounds emitted by plants under stress are airborne and informative**. *Cell*, 2023, P.1328–1336.e10. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.03.009>>. Acesso em: 19 jun.2023.

KHURANA, J. P., TAMOT, B. K., MAHESHWARI, N., & MAHESHWARI, S. C. **Role of Catecholamines in Promotion of Flowering in a Short-Day Duckweed, *Lemna paucicostata* 6746**. *Plant physiology*, 1987, P.10–12. Disponível em: <<https://doi.org/10.1104/pp.85.1.10>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

KUNG, C. **A possible unifying principle for mechanosensation**. *Nature*, 2005, P. 647–654. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nature03896>>. Acesso em: 19 jun.2023.

LI, B., WEI, J., WEI, X., TANG, K., LIANG, Y., SHU, K., & WANG, B. **Effect of sound wave stress on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation of *Dendrobium candidum***. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 2008, P.269–275. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.12.012>>. Acesso em: 19 jun.2023.

LIMA, Elena da Silva. **Informação enviada através de ondas eletromagnéticas: estudo teórico-experimental e desenvolvimento de material didático**. Presidente Prudente - SP: Universidade Estadual Paulista, 2020. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/194233>>. Acesso em: 19 jun.2023.

MATSUHASHI, M., PANKRUSHINA, A. N., TAKEUCHI, S., OHSHIMA, H., MIYOI, H., ENDOH, K., MURAYAMA, K., WATANABE, H., ENDO, S., TOBI, M., MANO, Y., HYODO, M., KOBAYASHI, T., KANEKO, T., OTANI, S., YOSHIMURA, S., HARATA, A., & SAWADA, T. **Production of sound waves by bacterial cells and the response of bacterial cells to sound**. *The Journal of general and applied microbiology*, 1998, P.49–55. Disponível em: <<https://doi.org/10.2323/jgam.44.49>>. Acesso em: 19 jun.2023.

MENG, Q., ZHOU, Q., ZHENG, S., & GAO, Y. **Responses on Photosynthesis and Variable Chlorophyll Fluorescence of *Fragaria ananassa* under Sound Wave**. *Energy Procedia*,

2012, P. 346-352. Disponível em: < [https://doi.org/ 10.1016/J.EGYPRO.2012.01.057](https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2012.01.057)>. Acesso em: 19 jun.2023.

PARISE, A. G., GAGLIANO, M., & SOUZA, G.M. **Extended cognition in plants: is it possible?**. Plant Signaling & Behavior, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15592324.2019.1710661>>. Acesso em: 19 jun.2023.

QIN, Y. C., LEE, W. C., CHOI, Y. C., & KIM, T. W. **Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures**. Ultrasonics, 2003, P.407–411. Disponível em: < [https://doi.org/10.1016/s0041-624x\(03\)00103-3](https://doi.org/10.1016/s0041-624x(03)00103-3)>. Acesso em: 19 jun.2023.

REGUERA, G. **When microbial conversations get physical**. Trends in microbiology, 2011, P.105–113. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tim.2010.12.007>>. Acesso em: 19 jun.2023.

SACHS, F. **Stretch-activated ion channels: what are they?** Physiology (Bethesda, Md.), 2010, P.50–56. Disponível em: <<https://doi.org/10.1152/physiol.00042.2009>>. Acesso em 19 jun.2023.

SANTOS, Ana Júlia Ribeiro dos. **Respostas do crescimento e desenvolvimento de milho e rabanete sob diferentes frequências de ondas mecânicas**. Sete Lagoas: Universidade Federal de São João Del Rei, 2016, 67 f. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2repositorio/File/ppgca/Dissertacao%20Ana%20Julia_05_08_2016.pdf>. Acesso em 19 jun.2023.

SALGADO, Filipe Schitini. **Reconhecimento da organização de ondas sonoras em plantas: singularidade ou ubiquidade?** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2019, 21 f. Disponível em: < <https://locus.ufv.br/handle/123456789/27284>>. Acesso em: 16 jun.2023.

STERNBERG, R. J. **The concept of intelligence and its role in lifelong learning and success**. American Psychologist, 1997, P.1030-1037. Disponível em: <<https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.10.1030>>. Acesso em: 16 jun.2023.

SUKHAREV, S., & ANISHKIN, A.. **Mechanosensitive channels: what can we learn from 'simple' model systems?**. Trends in neurosciences, 2004, P. 345–351. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tins.2004.04.006>>. Acesso em: 16 jun.2023.

SUKHAREV, S., & COREY, D. P. **Mechanosensitive channels: multiplicity of families and gating paradigms**. Science's STKE : signal transduction knowledge environment, 2004. Disponível em: < <https://doi.org/10.1126/stke.2192004re4>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SWIEDRYCH, A., LORENC-KUKUŁA, K., SKIRY CZ, A., & SZOPA, J.. **The catecholamine biosynthesis route in potato is affected by stress**. Plant Physiology and Biochemistry, 2004, P.593-600. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.07.002>>. Acesso em: 16 jun.2023.

TRETYN, A., & KENDRICK, R. E. **Acetylcholine in plants: Presence, metabolism and mechanism of action**. The Botanical Review, 1991, P.33-73. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF02858764>>. Acesso em: 16 jun.2023.

TREWAVAS, A. **Green plants as intelligent organisms.** Trends in Plant Science, 2005, P. 413–419. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.07.005>>. Acesso em: 16 jun.2023.

VOGEL, V., & SHEETZ, M. **Local force and geometry sensing regulate cell functions.** Nature reviews. Molecular cell biology, 2006, p.265–275. Disponível em:<<https://doi.org/10.1038/nrm1890>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

WESSLER, I., KILBINGER, H., BITTINGER, F., & KIRKPATRICK, C. J. **The biological role of non-neuronal acetylcholine in plants and humans.** Japanese journal of pharmacology, 2001, P.2–10. Disponível em:<<https://doi.org/10.1254/jjp.85.2>>. Acesso em: 16 jun.2023.

XIAOCHENG, Y., BOCHU, W., & CHUANREN, D. **Effects of sound stimulation on energy metabolism of Actinidia chinensis callus.** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003, p.67-72. Disponível em:< [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(03\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(03)00027-4)>. Acesso em: 16 jun.2023.

XIUJUAN, W., BOCHU, W., YI, J., CHUANREN, D., & SAKANISHI, A. **Effect of sound wave on the synthesis of nucleic acid and protein in chrysanthemum.** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,2003, p.99–102. Disponível em:<[https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(02\)00152-2](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(02)00152-2)>. Acesso em: 16 jun.2023.

XIUJUAN, W., Bochu, W., Yi, J., Dan-qun, H., & Chuanren, D. **RETRACTED: Effect of sound stimulation on cell cycle of chrysanthemum (Gerbera jamesonii).** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003, p.103-107. Disponível em:<[https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(02\)00153-4](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(02)00153-4)>. Acesso em: 16 jun.2023.

YI, J., BOCHU, W., XIUJUAN, W., & CHUANREN, D. **Effect of sound stimulation on roots growth and plasmalemma H⁺-ATPase activity of chrysanthemum (Gerbera jamesonii).** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,2003, p. 65–69. Disponível:[https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(02\)00037-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(02)00037-1)>. Acesso em: 16 jun.2023.

YI, J., BOCHU, W., XIUJUAN, W., DAOHONG, W., CHUANREN, D., TOYAMA, Y., & SAKANISHI, A. **Effect of sound wave on the metabolism of chrysanthemum roots.** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003, p. 115–118. Disponível em:[https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(02\)00155-8](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(02)00155-8)>. Acesso em 16 jun. 2023.