



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE AGRONOMIA

EVILANE DO NASCIMENTO MONTEIRO

**ESTÍMULO SONORO ALTERA CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS E
MORFOANATÔMICAS DE BATATA-DOCE IN VITRO**

FORTALEZA

2025

EVILANE DO NASCIMENTO MONTEIRO

ESTÍMULO SONORO ALTERA CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS E
MORFOANATÔMICAS DE BATATA-DOCE IN VITRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães

Coorientadora: Dra. Gabrielen de Maria Gomes Dias

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- M775e Monteiro, Evilane do Nascimento.
Estímulo sonoro altera características biométricas e morfoanatômicas de batata-doce in vitro /
Evilane do Nascimento Monteiro. – 2025.
38 f.: il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de
Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães.
Coorientação: Profa. Dra. Gabrielen de Maria Gomes Dias.
1. Ipomoea batatas L. 2. Cultivo in vitro. 3. Rock. 4. Tricomas. 5. Estímulos sonoros. I. Título.
CDD 630
-

EVILANE DO NASCIMENTO MONTEIRO

ESTÍMULO SONORO ALTERA CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS E
MORFOANATÔMICAS DE BATATA-DOCE IN VITRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovado em: 19/11/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Gabrielen de Maria Gomes Dias (Coorientadora)
Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Profª. Dra. Caris dos Santos Viana
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Prof. Dr. Hozano de Souza Lemos Neto
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

A Deus.

Aos meus pais, Maria Diomar e Francisco Evalton.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me sustentar, pelas oportunidades concedidas e por me fornecer os meios necessários para continuar minha trajetória todos os dias.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e incentivo constante, em especial à minha mãe, que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e nunca permitiu que eu desistisse.

Aos meus irmãos, Eveline e Everton, por simplesmente existirem, por compartilharem a vida comigo, tornando tudo mais leve, divertido e sendo grandes parceiros de vida.

À Casa de Bênçãos Chico Xavier, onde encontrei o sustento da minha fé, recarreguei minhas energias e despertei o interesse em desenvolver este trabalho unindo música e plantas.

Aos amigos que fiz ao longo dessa trajetória, em especial ao Neto e Sabrina, por compartilharem comigo momentos de luta e de glória, ainda que tenham sido mais de luta do que de glória.

Ao meu orientador, Professor Marcelo Guimarães, por aceitar o desafio, pela oportunidade, apoio, confiança e direcionamento durante o desenvolvimento deste trabalho.

À professora Gabrielen Dias, pela disponibilidade, paciência e pelos ensinamentos compartilhados no Laboratório de Cultura de Tecidos (LABCULT), onde adquiri boas experiências.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta jornada fosse possível!

Muito obrigada!!

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode recomeçar agora e fazer um novo fim”.

Chico Xavier

RESUMO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma cultura de expressiva importância agronômica e nutricional, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais por sua rusticidade e importante papel na segurança alimentar. A propagação vegetativa tradicional, como é feita com a batata-doce, com uso de ramos vegetativas, pode favorecer a disseminação de patógenos. O uso de técnicas biotecnológicas, como a micropropagação, tem sido utilizada como ferramenta eficaz para a obtenção de mudas saudáveis e uniformes. A micropropagação é uma técnica feita em ambientes totalmente controlados, o que possibilita avaliar o uso de diferentes estímulos físicos, como o som, no crescimento e desenvolvimento das plantas. O som, através de suas vibrações acústicas, pode modular processos fisiológicos e estruturais nas plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos dos estímulos sonoros (rock, música clássica e sons de pássaros) e ausência de som, sobre características biométricas, pigmentos fotossintéticos e aspectos morfoanatômicos de plantas de batata-doce cv. Campina cultivadas *in vitro*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 14 repetições por tratamento [rock, clássico, sons de pássaros e controle (ausência de som)]. Os segmentos nodais foram cultivados em meio MS e expostos aos sons, a 90 dB, por 2 horas diárias, durante 30 dias. As variáveis avaliadas foram biométricas (altura da planta, número de folhas, raízes, nós e folhas senescentes, diâmetro da rama, comprimento da maior raiz, área foliar, massa fresca da parte aérea e da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz), teores de pigmentos (clorofila α , clorofila β , clorofilas totais e carotenoides) e a comparação de características foliares (tricomas e estômatos) por microscopia eletrônica de varredura. O tratamento do estímulo sonoro rock possibilitou as maiores: altura de plantas, número de raízes, nós e folhas senescentes, bem como maior peso fresco e seco das raízes, enquanto a área foliar foi reduzida. Os teores de clorofila e carotenoides não diferiram entre os tratamentos. As análises morfoanatômicas possibilitaram observar alterações epidérmicas sob o estímulo sonoro rock, resultando em menor densidade de tricomas, que foram maiores e com a presença de estômatos. Além disso, a superfície epidérmica dessas plantas foi mais rugosa. Conclui-se que estímulos sonoros podem influenciar em características biométricas e morfoanatômicas de plantas de batata-doce, com o som rock sendo aquele que possibilita observar um maior conjunto de diferenças significativas em relação ao controle (ausência de som).

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* L.; cultivo *in vitro*; rock; tricomas; estímulos sonoros.

ABSTRACT

Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) is a crop of significant agronomic and nutritional importance, widely cultivated in tropical and subtropical regions due to its rusticity and its important role in food security. Traditional vegetative propagation, as commonly used for sweet potato through vegetative cuttings, can favor the spread of pathogens. The use of biotechnological techniques, such as micropropagation, has been employed as an effective tool for obtaining healthy and uniform plantlets. Micropropagation is a technique carried out in fully controlled environments, which makes it possible to evaluate the use of different physical stimuli, such as sound, on plant growth and development. Sound, through its acoustic vibrations, can modulate physiological and structural processes in plants. This study aimed to evaluate the effects of sound stimuli (rock, classical music, and bird songs) and the absence of sound on biometric characteristics, photosynthetic pigments, and morpho-anatomical aspects of sweet potato plants cv. Campina grown in vitro. The experiment was conducted in a completely randomized design, with 14 replicates per treatment (rock, classical, and bird songs). Nodal segments were cultivated in MS medium and exposed to the sounds at 90 dB for 2 hours daily for 30 days. The variables evaluated were biometric (plant height, number of leaves, roots, nodes, and senescent leaves, stem diameter, length of the longest root, leaf area, fresh shoot and root mass, dry shoot and root mass), pigment contents (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophylls, and carotenoids), and the comparison of leaf characteristics (trichomes and stomata) through scanning electron microscopy. The rock sound stimulus resulted in greater plant height, number of roots, nodes, and senescent leaves, as well as greater fresh and dry root mass, while leaf area was reduced. Chlorophyll and carotenoid contents did not differ among treatments. Morphoanatomical analyses revealed epidermal alterations under the rock sound stimulus, resulting in lower trichome density, with trichomes being larger and accompanied by stomata. In addition, the epidermal surface of these plants was more wrinkled. It is concluded that sound stimuli can influence biometric and morpho-anatomical characteristics of sweet potato plants, with rock sound being the treatment that presented the greatest number of significant differences compared to the control (absence of sound).

Keywords: *Ipomoea batatas* L.; in vitro cultivation; rock; trichomes; sound stimuli.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- A) Caixa acústica experimental construída em MDF e revestida com papelão de ovos, utilizada para a aplicação dos tratamentos sonoros às plantas. B) Representação esquemática da vista superior da caixa acústica, indicando a posição, em centímetros (cm), da luminária (azul), da caixa de som (preta) e dos tubos de ensaio (vermelho) 22
- Figura 2- Arranjo experimental composto por 14 repetições dispostas na borda de um círculo de 9 cm de raio, com um alto-falante portátil (Speaker WS-887) localizado no centro 23
- Figura 3- Plantas de batata-doce cultivadas in vitro sob diferentes sons (Rock, Música Clássica e Canto de Pássaros) e ausência de som (Controle), aos 30 dias 26
- Figura 4- Efeitos dos tratamentos sonoros no crescimento de plantas de batata-doce in vitro aos 30 dias: (A) altura de plantas (cm), (B) número de raízes, (C) nós e (D) folhas senescentes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 27
- Figura 5- Área foliar (cm²) em plantas de batata-doce submetidas a diferentes tratamentos sonoros (Rock, Música Clássica, Canto de Pássaros e Controle), aos 30 dias in vitro. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 28
- Figura 6- Efeitos dos tratamentos sonoros no desenvolvimento de plantas de batata-doce cv. Campina in vitro aos 30 dias: (A) massa fresca da raiz (g) e (B) massa seca da raiz (g). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) 30
- Figura 7- Efeitos dos tratamentos sonoros no desenvolvimento de plantas de batata-doce cv. Campina in vitro aos 30 dias: (A) Teores de clorofila α (Ca), (B) clorofila β (Cb) e (C) clorofilas totais (Ct). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. 31
- Figura 8- Eletromicrografias de varredura evidenciando tricomas globulares foliares abaxial de batata-doce cv. Campina sob diferentes sons (A) música rock,

(B) música clássica e (C) sons de pássaros, e (D) ausência de som (controle). A seta branca indica a abertura de um estômato apical em um tricoma, aos 30 dias in vitro (A - barra~50 µm e B, C e D – barra ~ 20µm). 32

Figura 9- Eletromicrografias de varredura de tricomas globulares e estômatos foliares abaxial de batata-doce cv. Campina sob diferentes sons (A) música rock, (B) música clássica e (C) sons de pássaros, e (D) ausência de som (controle), aos 30 dias in vitro. (Barra ~ 200µm) 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Altura de plantas (AP), número de folhas (NF), raízes (NR), nós (NN) e folhas senescentes (NFS), diâmetro da rama (DR), comprimento da maior raiz (CMR), área foliar (AF) de plantas de batata-doce em função de diferentes sons (Rock, Clássica e Pássaros) e ausência de som (Controle), aos 30 dias in vitro	27
Tabela 2-	Massa fresca da parte aérea e raiz (MFPA e MFR) e massa seca da parte aérea e raiz (MSPA e MSR) de batata-doce em função de diferentes sons (Rock, Clássica e Pássaros) e ausência de som (Controle), aos 30 dias in vitro	30
Tabela 3-	Teores de clorofila α (Ca), clorofila β (Cb), clorofilas totais (Ct) e carotenoides (Car) em plantas de batata-doce cv. Campina in vitro submetidas a diferentes sons (Rock, Clássica e Pássaros) e ausência de som (Controle), aos 30 dias.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Desenvolvimento e sensibilidade das plantas	15
2.1.1	Fatores ambientais que afetam o crescimento	15
2.1.2	Mecanismos de percepção de estímulos externos	16
2.2	Som e música	16
2.2.1	Definição física do som	16
2.2.2	Definição de música	17
2.2.3	Sons e plantas	17
2.3	Batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.)	18
2.4	Cultura de tecidos vegetais	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Obtenção de explantes e meio de cultivo	21
3.2	Tratamentos e aplicações	21
3.3	Características avaliadas	23
3.4	Análise estatística	25
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	26
5	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das plantas depende de fatores como luz, temperatura, água, nutrientes e gravidade, que regulam processos fisiológicos essenciais, como fotossíntese, respiração, transpiração, absorção de água e nutrientes, além da divisão, alongação celular e transporte de seiva. (Silva et al., 2021). Embora não possuam sistema nervoso, as plantas percebem e respondem ao ambiente por meio de fotorreceptores e mecanorreceptores, capazes de detectar luz, vibrações e toque (Pierik; Ballaré, 2021; Pavlovič, 2024). Assim, são organismos ativos, capazes de ajustar seu desenvolvimento conforme os estímulos recebidos (Mescher; De Moraes, 2014; Jin et al., 2024).

Entre esses estímulos, o som tem ganhado destaque. Definido por intensidade, frequência e timbre, ele constitui um tipo de vibração com potencial para interagir com sistemas biológicos (Oliveira, 2014). A música, por sua vez, representa um estímulo acústico estruturado que começa a ser investigado também em plantas (Juslin; Sloboda, 2010). Estudos mostram que vibrações mecânicas e sonoras podem influenciar processos como fotossíntese, absorção de nutrientes e crescimento vegetal (Wu et al., 2023; Hassanien et al., 2013).

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma espécie amplamente cultivada, valorizada por suas túberas ricas em carboidratos e micronutrientes, com grande importância socioeconômica em regiões tropicais e subtropicais (Zhao et al., 2024; Sapakhova et al., 2023). A China lidera sua produção mundial, enquanto o Brasil destaca-se como principal produtor da América Latina (FAOSTAT, 2023). A propagação dessa cultura ocorre principalmente por via vegetativa, o que favorece o acúmulo e a disseminação de patógenos, especialmente vírus, reduzindo produtividade e vigor (Alam et al., 2013; Villalba et al., 2024).

A cultura de tecidos surge como alternativa para superar essas limitações, permitindo a produção de plantas livres de patógenos em ambiente controlado e com alta uniformidade genética (Kumar; Reddy, 2011; Bidabadi; Jain, 2020). Apesar dos avanços nas pesquisas sobre estímulos sonoros em plantas, ainda são escassos os estudos que integram vibrações sonoras a sistemas *in vitro*. Essa abordagem é especialmente relevante para culturas como a batata-doce, cujo cultivo em ambiente controlado possibilita investigar de forma precisa os efeitos do som sobre o desenvolvimento vegetal (Chen et al., 2014).

Este estudo parte da hipótese de que plantas de batata-doce cultivadas *in vitro* tem alterações em suas características biométricas, nos pigmentos fotossintéticos e na morfoanatomia quando submetidas a estímulos sonoros, em comparação a plantas mantidas sem exposição a som. O objetivo do trabalho foi avaliar características biométricas,

pigmentos fotossintéticos e aspectos morfoanatômicos de plantas de batata-doce cultivadas in vitro sob diferentes estímulos sonoros (rock, música clássica e sons de pássaros), comparando-as com plantas mantidas na ausência de som (controle).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desenvolvimento e sensibilidade das plantas

2.1.1 Fatores ambientais que afetam o crescimento

O crescimento das plantas é influenciado por diversos fatores ambientais como, luz, temperatura, disponibilidade de água, nutrientes, gravidade, dentre outros, que interferem em processos fisiológicos essenciais (Silva et al., 2021). A luz atua como fonte de energia primária. As plantas utilizam a luz para realizar a fotossíntese e determinar padrões de crescimento e floração. O crescimento e outros processos metabólicos nas plantas podem ser ajustados devido a presença de fotorreceptores que percebem diferentes tipos, intensidades e qualidades de luz (Martins, 2021).

A temperatura regula a atividade enzimática e o metabolismo, podendo acelerar ou inibir o desenvolvimento conforme sua condição estacional. As plantas superiores têm baixa resistência ao calor quando estão em crescimento ativo, não suportando temperaturas muito elevadas ($>35\text{ }^{\circ}\text{C}$) por longos períodos de tempo. Entretanto, tecidos e células desidratados, fora da fase de crescimento, conseguem permanecer viáveis mesmo sob condições térmicas mais altas. As temperaturas baixas reduzem a atividade enzimática, sendo que aquelas abaixo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ podem formar cristais de gelo intracelulares e levar à morte celular. Apesar disso, algumas espécies podem tolerar até $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ por aclimação (Taiz; Zeiger, 2017).

A disponibilidade de água está diretamente relacionada ao processo de fotossíntese, transporte de nutrientes e manutenção da turgescência celular. O déficit hídrico ocorre quando a disponibilidade de água no solo não atende à demanda das plantas, comprometendo a absorção hídrica e nutricional pelas raízes. O déficit hídrico compromete processos fisiológicos essenciais das plantas, como a fotossíntese, o transporte de nutrientes e a expansão celular, levando-as a desenvolver mecanismos adaptativos de tolerância, como fechamento estomático, ajuste osmótico, acúmulo de osmoprotetores e aumento de ABA. (Seleiman et al., 2021). O estresse também pode ocorrer por excesso de água, quando o solo fica encharcado ou alagado. Nessa condição, a disponibilidade de oxigênio nas raízes é reduzida, causando hipóxia ou anóxia, o que prejudica a respiração celular, a absorção de nutrientes e o crescimento radicular, podendo levar a murcha, clorose e até morte da planta (Jackson; Colmer, 2005).

A falta ou excesso de nutrientes minerais interferem no crescimento das plantas, uma vez que são essenciais a elas e participam de funções estruturais, metabólicas, osmóticas

e de sinalização, que garantem seu crescimento adequado. A gravidade funciona como um sinal direcional, regulando o geotropismo das raízes, que se orientam para baixo, e do caule, que cresce para cima (Grusak et al., 2016). A umidade relativa do ar é um fator ambiental determinante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois influencia diretamente em processos como transpiração, abertura estomática, fotossíntese e absorção de nutrientes. Condições de umidade relativa do ar muito baixa, aumentam o déficit de pressão de vapor, intensificando a perda de água pelas folhas e levando ao fechamento parcial dos estômatos, o que reduz a assimilação de CO₂ e compromete a produção de biomassa. Por outro lado, níveis elevados de umidade relativa do ar podem diminuir a transpiração, limitando o transporte de nutrientes essenciais pelo xilema e afetando o crescimento radicular e foliar (Ottosen; Mortensen; Gislerød, 2002; Chowdhury et al., 2021).

2.1.2 Mecanismos de percepção de estímulos externos

As plantas, embora desprovidas de sistema nervoso, possuem mecanismos de percepção e resposta a estímulos externos, como os fotorreceptores que detectam a luz e os mecanorreceptores que respondem a vibrações e toque, ambos desencadeando respostas fisiológicas e bioquímicas, como ajustes no crescimento, modulação estomática, alterações hormonais, ativação de enzimas antioxidantes e expressão de genes associados ao estresse (Pierik; Ballaré, 2021; Pavlovič, 2024).

Pesquisas recentes têm mostrado que plantas não são organismos passivos, mas sim capazes de perceber diversos sinais ambientais e responder de maneira adaptativa (Mescher; De Moraes, 2014; Jin et al., 2024). Essa capacidade de percepção refinada é resultado da necessidade de lidar com condições adversas como a impossibilidade de locomoção, assim, os vegetais desenvolvem mecanismos complexos de interpretação de sinais e ajustes em seu crescimento e desenvolvimento para garantir sua sobrevivência (Pypka; Siemianowski, 2025).

2.2 Som e música

2.2.1 Definição física do som

O som pode ser caracterizado por três parâmetros principais, intensidade, frequência e timbre. A intensidade está associada à amplitude das oscilações da pressão do ar. A frequência corresponde ao número de vezes que essas oscilações acontecem em determinado intervalo de tempo. O timbre está relacionado à presença de harmônicos que conferem particularidades ao som. Esses três elementos, juntos, são essenciais para

compreender o fenômeno sonoro e como diferentes estímulos acústicos podem ser percebidos e analisados (Oliveira, 2014).

No século XVII, Robert Boyle, físico e químico anglo-irlandês, considerado um dos fundadores da química moderna e um dos pioneiros do método científico experimental moderno, fez uma pesquisa em que demonstrou que o som depende de um meio material para se propagar (West, 2005). Em seu trabalho, Boyle verificou que um relógio em funcionamento não emitia som perceptível dentro de um recipiente com vácuo parcial, ficando evidente que o som é uma onda mecânica que não consegue se propagar no vazio (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

2.2.2 Definição de música

A música estrutura-se a partir de elementos como melodia, harmonia, ritmo e timbre, e pode ser compreendida como um fenômeno que envolve tanto aspectos acústicos quanto culturais, já que, além de suas propriedades físicas, também transmite significados emocionais e sociais. Por esse motivo, é considerada uma linguagem universal, com impacto tanto estético quanto psicológico (Juslin; Sloboda, 2010).

A música pode ser classificada em diferentes estilos que vão surgindo ao longo dos anos de existência do homem na terra, acompanhando as transformações culturais, sociais e tecnológicas da humanidade. Entre os principais estilos existentes estão o rock, música clássica, jazz, pop, blues, samba, sertanejo e eletrônico, cada um com suas características próprias de ritmo, instrumentos e expressão artística (Pimentel, Donnelly 2008).

Neste trabalho, foram utilizados três tipos de estímulos sonoros: rock, clássico e sons de pássaros. O rock é um estilo musical marcado por ritmos fortes, guitarras elétricas e baterias intensas, geralmente associado à energia e à rebeldia (Guimarães, 2013). A música clássica, por sua vez, é caracterizada pela harmonia, equilíbrio e complexidade melódica, sendo, frequentemente, executada por orquestras e relacionada a um ambiente mais calmo e concentrado (Feitosa; Dallálio, 2023). Já os sons de pássaros, embora não sejam ou pertençam a um estilo musical propriamente dito, são sons naturais com padrões rítmicos e melódicos suaves, capazes de provocar efeitos relaxantes e de favorecer um ambiente de tranquilidade, contribuindo para a redução do estresse (Fan; Baharum, 2024).

2.2.3 Sons e plantas

Diversos estudos ao longo do século XX e início do XXI evidenciam que o som pode atuar como um estímulo importante no crescimento das plantas. Em algumas pesquisas

foi observado que vegetais respondem a vibrações elétricas e mecânicas, incluindo estímulos sonoros (Wu et al., 2023). Frequências sonoras influenciaram o crescimento de plantas de feijão e impatiens, sendo que sons de baixa frequência possibilitaram maior alongamento celular e crescimento radicular (Bose, 1926; Collins; Foreman, 2001). Estudos recentes têm ampliado o entendimento da relação entre sons e plantas. Diferentes frequências sonoras podem influenciar processos fisiológicos como fotossíntese e absorção de nutrientes (Hassanien et al., 2013), também ondas sonoras, em determinadas faixas de frequência, podem estimular o crescimento radicular e alterar a expressão de genes relacionados a hormônios vegetais, bem como modular a atividade gênica em espécies como arroz, ocasionando efeitos positivos sobre a germinação e o crescimento inicial (Jeong et al., 2008; Kim et al., 2021). Estímulos sonoros afetam mecanismos de defesa das plantas alterando a atividade de enzimas antioxidantes, o que sugere que o som pode ser um fator de modulação das respostas adaptativas das plantas, como o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, que ajudam a reduzir o estresse oxidativo nas células vegetais (Ghosh et al., 2016).

2.3 Batata-doce (*Ipomoea batatas* L.)

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma planta herbácea perene da família Convolvulaceae, muito valorizada por seus órgãos de reserva, a raiz tuberosa, que é rica em carboidratos, fibras, vitaminas e minerais (Zhao et al., 2024). Essa espécie se adapta a diferentes condições climáticas e de solo, desenvolvendo-se bem em ambientes quentes, com temperaturas entre 20 e 30 °C, tolerando períodos de seca e alta luminosidade, o que reforça sua relevância global, especialmente em regiões tropicais e subtropicais (Sapakhova et al., 2023). Historicamente, a batata-doce tem papel relevante em situações de crise alimentar, como durante a Grande Depressão de 1929 nos Estados Unidos, quando foi uma importante fonte de alimento devido a sua rusticidade, baixo custo e alto valor nutritivo (Fernandes et al., 2021).

A China produz cerca de 51,63 milhões de toneladas de batata-doce anualmente, o que corresponde a mais de 55,21% da produção mundial, estimada em 93,52 milhões de toneladas. A Ásia concentra 62,20% desse total, seguida da África, 33,32%, e das Américas com 3,42%. O Brasil ocupa a 11ª posição entre os maiores produtores mundiais, com cerca de 926 mil toneladas. Na América Latina o Brasil é o maior produtor de batata-doce (FAOSTAT, 2023).

Nos últimos anos, a demanda por batata-doce vem crescendo no país, especialmente, devido às suas propriedades nutricionais, como o alto teor de carboidratos

complexos, fibras alimentares, vitaminas (A, C, E e do complexo B), minerais (potássio, magnésio e manganês) e compostos antioxidantes, como carotenoides e antocianinas. Atualmente, suas túberas integram dietas associadas ao bem-estar e a vida saudável, devido ao baixo índice glicêmico, alto teor de fibras, diversidade de vitaminas e compostos bioativos, como betacaroteno e antocianinas (Salasar et al., 2019; Vital; Messias, 2023).

A batata-doce é tradicionalmente cultivada por meio de propagação vegetativa, utilizando-se partes da planta-mãe, como ramos vegetativas. Esse método garante a manutenção das características genéticas da variedade, permitindo uniformidade na produção. O cultivo geralmente ocorre em solos bem drenados e a irrigação é aplicada conforme a necessidade, principalmente nos estágios iniciais. O manejo tradicional da batata-doce requer práticas simples, muitas vezes familiares, e que não dependem intensamente de insumos químicos (Cardoso et al., 2005; Junior et al., 2012).

2.4 Cultura de tecidos vegetais

O cultivo *in vitro* é uma técnica de propagação vegetal que consiste no crescimento e desenvolvimento de plantas, ou partes delas, em um meio de cultura artificial, sob condições controladas de luz, temperatura e assepsia (Kumar; Reddy, 2011). Esse método permite a regeneração de plantas completas a partir de pequenas porções de tecidos, sendo amplamente utilizado na pesquisa, conservação de germoplasma e produção de mudas livres de patógenos (Bidabadi; Jain, 2020).

Entre as principais técnicas utilizadas na cultura de tecidos estão a micropropagação, organogênese, embriogênese somática e o cultivo de calos, que possibilitam a multiplicação rápida e uniforme de genótipos de interesse (Torres; Caldas; Buso, 1998). A estrutura utilizada no cultivo *in vitro* inclui recipientes esterilizáveis, meios de cultura com nutrientes e reguladores de crescimento, além de ambiente controlado e livre de contaminações (Hartmann et al., 2014). A estrutura vegetativa utilizada inicialmente para o cultivo *in vitro* é o explante, que consiste em um fragmento vegetal, retirado da planta-mãe, como folha, caule, gema, raiz ou meristema, que foi esterilizado para ser inoculado no meio de cultura (Andrade, 2002).

A cultura de tecidos tem grande importância para a produção de batata-doce, pois permite a obtenção de mudas uniformes, geneticamente idênticas e livres de patógenos (Chen et al., 2014). Além disso, ela possibilita a multiplicação rápida e contínua de genótipos superiores em condições controladas, favorecendo programas de melhoramento e a preservação de germoplasma (Torres; Caldas; Buso, 1998). A micropropagação é a principal

técnica da cultura de tecidos utilizada para a propagação in vitro da batata-doce. Essa técnica permite a rápida multiplicação e o desenvolvimento uniforme de cultivares adaptadas, como a batata 'BRS Ana', resistente à pinta-preta e com baixa degenerescência por viroses (PVY e PLRV) (Dutra et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Obtenção de explantes e meio de cultivo

O experimento foi conduzido no Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais (LABCULT) no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, estado do Ceará, Brasil. O material vegetativo (segmentos nodais) de plantas de batata-doce, cultivar (cv.) Campina, previamente estabelecidos in vitro, foram utilizados.

Os segmentos nodais tinham comprimento e estrutura vegetal uniforme com 1 cm e 1 nó, respectivamente, e foram inoculados, individualmente, em tubos de 60 mL, com 10 mL de meio de cultura, 4,43 g L⁻¹ de meio MS comercial (Murashige & Skoog Basal Medium with Vitamins, PhytoTech LABS), 5,7 g L⁻¹ de ágar (ÁgarGel) e 30 g L⁻¹ de sacarose. O pH do meio foi ajustado para 5,8 ± 0,2 com solução de hidróxido de sódio (NaOH) ou ácido clorídrico (HCl), conforme a necessidade, e autoclavado a 121 °C e 1 atm por 20 minutos. Após a inoculação, os tubos foram mantidos em sala de crescimento com fotoperíodo de 16 h de luz, intensidade luminosa de 52,5 W m⁻² s⁻¹ e temperatura constante de 25 ± 2 °C.

3.2 Tratamentos e aplicações

Os tratamentos sonoros consistiram em quatro grupos: T1 – músicas do tipo rock (*Slaughter to Prevail – Lift That Shit; Steroid Sound – Cross; Never Gonna Stop – Within The Ruins; Demon Killer – Fallen Angels; Dagon – Lucifer; Rivers of Nihil – Focus; Chase Atlantic – Demon Time; No Faith in Humanity – Destruction; Monster – Monster*), reproduzidas a partir de: <https://www.youtube.com/watch?v=8ZkJGG53jGM&t=389s>; T2 – músicas do tipo clássica (Mozart; *Classic Music for Brain Power – Mozart 432 Hz*), reproduzidas a partir de: <https://www.youtube.com/watch?v=y4HsuLw9b84&t=1525s>; T3 – sons de pássaros (Rouxinol; *O canto do Rouxinol – remix*), reproduzidos a partir de: https://www.youtube.com/watch?v=_oV5PA8p1pY&t=9483s; e T4 – controle, sem estímulo sonoro. Os tratamentos foram iniciados aos 19 dias após a inoculação dos explantes no meio de cultivo. Os tratamentos foram aplicados diariamente, por um período de 2 h ininterruptas, das 10 às 12 h para os tratamentos T1 e T2 e das 12 às 14 h para T3 e T4 (controle), durante 30 dias. Cada som utilizado como tratamento foi salvo em pendrive (32GB USB 2.0), de modo a conter apenas a faixa sonora correspondente a seu respectivo tratamento.

Caixas com portas em MDF de 1,5 cm de espessura, e dimensões de 0,5 m (largura) \times 0,9 m (comprimento) e 0,5 m (altura), revestidas internamente com caixas de papelão, foram utilizadas para o isolamento acústico e aplicação de cada tratamento. No interior de cada caixa foi instalada luminária com intensidade luminosa de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para garantir a continuidade da iluminação durante a aplicação dos tratamentos (Figura 1A).

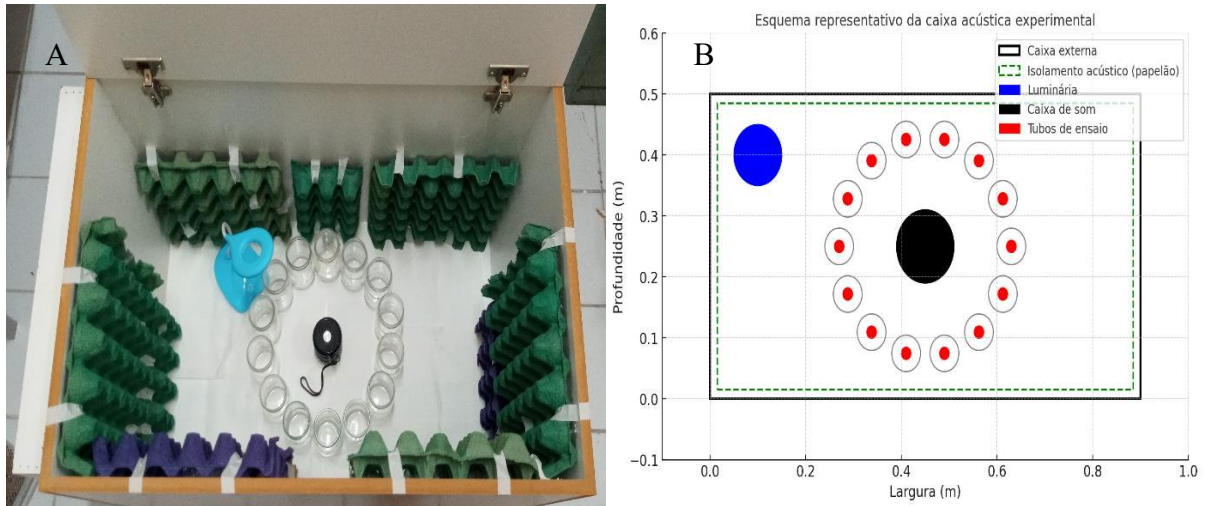


Figura 1- A) Caixa acústica experimental construída em MDF e revestida com papelão de ovos, utilizada para a aplicação dos tratamentos sonoros às plantas. B) Representação esquemática da vista superior da caixa acústica, indicando a posição, em centímetros (cm), da luminária (azul), da caixa de som (preta) e dos tubos de ensaio (vermelho).

Quatorze repetições de cada tratamento foram distribuídas de forma equidistante ao longo da borda de um círculo central, com 9 cm de raio. No centro do círculo, dentro de cada caixa, foram colocados alto-falantes portáteis (Speaker WS-887) com potência sonora de 5W. Os autofalantes foram alocados no centro de cada círculo de acordo com cada tratamento. (Figura 2). O nível sonoro no interior de cada caixa acústica foi ajustado para 90 dB com o uso do aplicativo “Decibelímetro: Sound Meter”, que pode ser acessado em https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.sound&hl=pt_BR (Figura 1B).



Figura 2 - Arranjo experimental composto por 14 repetições dispostas na borda de um círculo de 9 cm de raio, com um alto-falante portátil (Speaker WS-887) localizado no centro.

A aplicação dos tratamentos sonoros foi feita em diferentes salas com características ambientais semelhantes, 25 ± 2 °C de temperatura e $60 \pm 10\%$ de umidade relativa do ar.

3.3 Características avaliadas

Aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos sonoros foram avaliadas as características biométricas altura da planta (AP, cm)- do ponto de inserção no meio de cultivo até o ápice da brotação, número de folhas (NF), de raízes (NR), de nós (NN) e folhas senescentes, diâmetro da rama (DR, mm), comprimento da maior raiz (CMR, cm), área foliar (AF, cm^2), massa fresca da parte aérea (MFPA, g) e da raiz (MFR, g), massa seca da parte aérea (MSPA, g) e da raiz (MSR, g). As medições de altura e comprimento da maior raiz da planta foram feitas com uma régua graduada. O diâmetro da rama foi feito com uso de um escalímetro. As massas, fresca e seca da parte aérea e raiz, foram obtidas utilizando uma balança analítica de precisão com quatro casas decimais, sendo a massa seca mensurada após as amostras frescas terem sido secas em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C, por três dias ou até massa seca constante. Seis repetições foram escolhidas de forma aleatória para mensuração das características biométricas, três para determinação de pigmentos fotossintéticos e três para área foliar.

A quantificação dos pigmentos fotossintéticos clorofila α (Chl_α), clorofila β (Chl_β), clorofilas totais (Chl_t) e carotenoides (CaT) foi feita com espectrômetro (IL 226 – NM; Kasuaki). Quatro folhas foram coletadas por planta em cada tubo, sendo acondicionadas em

tubos de ensaio, protegidos por papel alumínio, contendo 5 mL de acetona a 80% e armazenados em geladeira por 24 horas na ausência de luz (Lichtenthaler, 1987). As medições foram realizadas nas absorvâncias de 470, 645, 652 e 663 nm. Aos valores obtidos foram aplicados às seguintes equações: clorofila α (1), clorofila β (2), clorofilas totais (3) e carotenoides (4).

$$Chl_{\alpha} = \frac{(12,72 \times A_{663} - 2,59 \times A_{645}) \times V}{1000 \times P}$$

(1)

Onde: Chl_{α} é a clorofila α ($mg\ g^{-1}$); V é o volume do extrato (mL); P é a massa fresca do tecido vegetal (MFPA, g); e, A_x é a absorvância no comprimento de onda segundo o índice da variável (nm).

$$Chl_{\beta} = \frac{(22,88 \times A_{645} - 4,67 \times A_{663}) \times V}{1000 \times P}$$

(2)

Onde: Chl_{β} é a clorofila β ($mg\ g^{-1}$); V é o volume do extrato (mL); P é a massa fresca do tecido vegetal (MFPA, g); e, A_x é a absorvância no comprimento de onda segundo o índice da variável (nm).

$$Chl_t = Chl_{\alpha} + Chl_{\beta}$$

(3)

Onde: Chl_t é a clorofila total da amostra; Chl_{α} é a clorofila α ($mg\ g^{-1}$); e, Chl_{β} é a clorofila β ($mg\ g^{-1}$).

$$CaT = \frac{[(1000 \times A_{470}) - (3,27 \times Chl_{\alpha}) - (104 \times Chl_{\beta})] \times V}{229 \times 1000 \times P}$$

(4)

Onde: CaT é o valor de carotenoides ($mg\ g^{-1}$); Chl_{α} é a clorofila α ($mg\ g^{-1}$); e, Chl_{β} é a clorofila β ($mg\ g^{-1}$); V é o volume do extrato (mL); P é a massa fresca da amostra de tecido vegetal (MFPA, g); e A_x é a absorvância no comprimento de onda segundo o índice da variável (nm).

A análise morfoanatômica por comparação de estruturas foliares, tricomas e estômatos das folhas, de cada tratamento, foi feita por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), no terço mediano das plantas e aos 40 dias após a aplicação dos tratamentos. Os fragmentos foliares foram desidratados em soluções crescentes de acetona (30%, 50%, 70%, 90% e 100%) e, então, submetidos à secagem ao ponto crítico, utilizando-se CO₂ como líquido de transição (Robards, 1978). Posteriormente, foram recobertos com ouro (20 nm) e analisados ao microscópio eletrônico de varredura (MEV; LEO-EVO) da Central Analítica da UFC) (Fan, et al., 2019). Devido aos custos para preparo das amostras e baixa disponibilidade de equipamentos para a captura das imagens, foram feitas apenas duas repetições por tratamento.

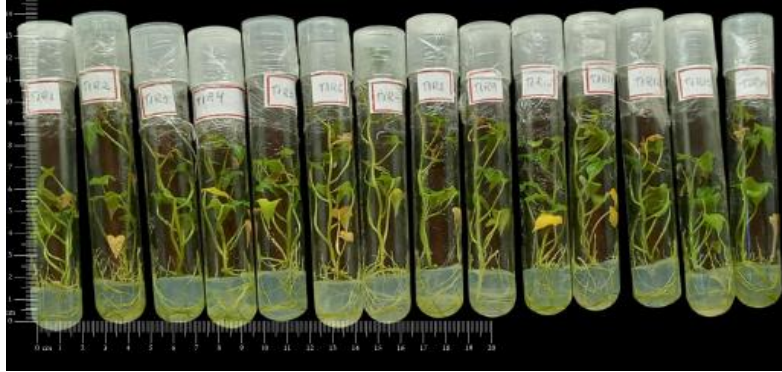
3.4 Análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 14 repetições por tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando constatadas diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Também foi utilizado o teste Scott-Knott para a comparação das médias dos pigmentos fotossintéticos. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR®.

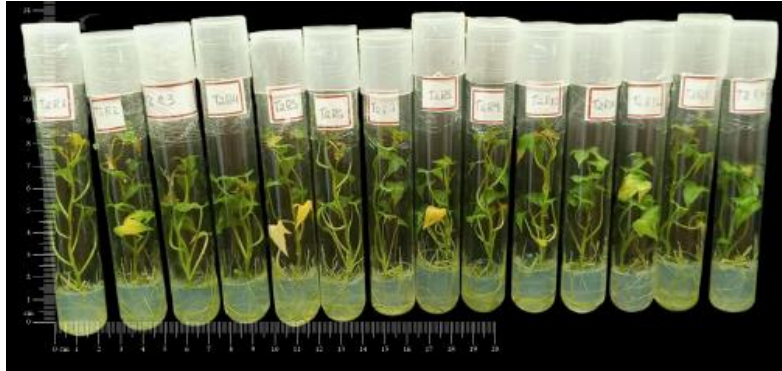
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo, podem ser observadas imagens das plantas de batata-doce in vitro com todas as repetições de cada um dos tratamentos sonoros e do controle (ausência de som) (Figura 3).

Rock



Clássica



Pássaros



Controle

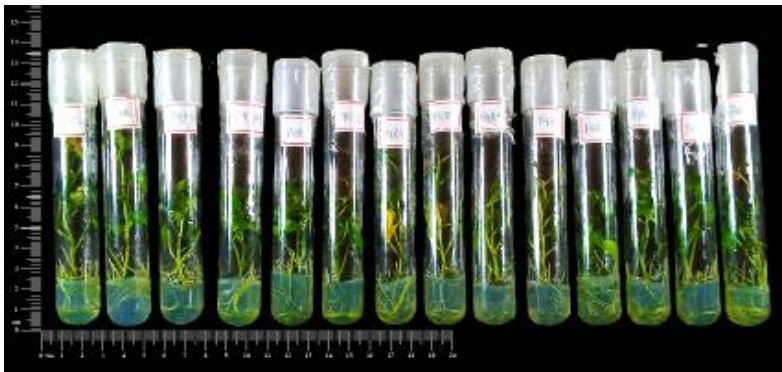


Figura 3- Plantas de batata-doce cultivadas in vitro sob diferentes sons (Rock, Clássica e Pássaros) e ausência de

som (Controle), aos 30 dias.

As características biométricas avaliadas, altura da planta, número de raízes, nós e folhas senescentes, e área foliar, diferiram entre os tratamentos (Tabela 1 e Figura 4). Já o número de folhas, diâmetro da rama e comprimento da maior raiz não diferiram entre os tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1- Altura de plantas (AP), número de folhas (NF), raízes (NR), nós (NN), folhas senescentes (NFS), diâmetro da rama (DR), comprimento da maior raiz (CMR), área foliar (AF) de plantas de batata-doce em função de diferentes sons (Rock, Clássica e Pássaros) e ausência de som (Controle), aos 30 dias in vitro.

Sons	AP (cm)	NF	NR	NN	NFS	DR (mm)	CMR (cm)	AF (cm ²)
Rock	9,15 a	7,83 ^{ns. *}	7,50 a	8,33 a	3,83 a	1,50 ^{ns.}	13,40 ^{ns.}	1,21 b
Clássica	8,93 a	7,66	5,66 b	7,50 ab	1,83 b	1,50	13,58	1,43 a
Pássaros	7,95 b	7,33	5,16 b	7,66 ab	1,66 b	1,48	13,46	1,36 ab
Controle	7,72 b	7,00	5,50 b	7,00 b	2,00 b	1,45	13,35	1,49 a
Média	8,44	7,46	5,96	10,23	2,33	1,48	13,45	1,37
CV (%)	5,79	9,24	15,55	7,63	21,43	4,85	4,35	5,80

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

*ns. - Não significativo.

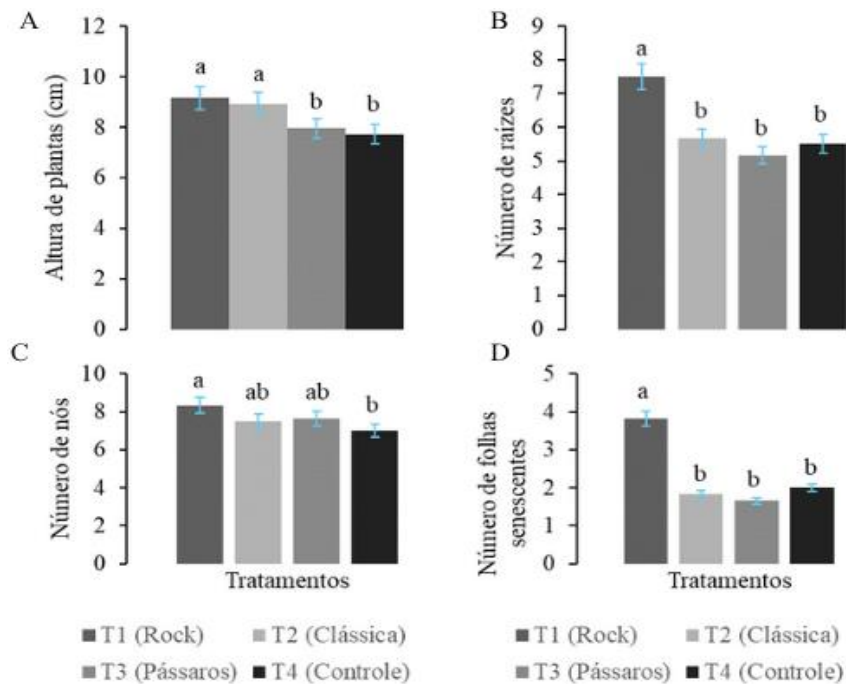


Figura 4- Efeitos dos tratamentos sonoros no crescimento de plantas de batata-doce in vitro aos 30 dias: (A) altura de plantas (cm), (B) número de raízes, (C) nós e (D) folhas senescentes. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A altura das plantas de batata-doce cv. Campina foi maior nos tratamentos rock (9,15 cm) e música clássica (8,93 cm), sendo ambas superiores aos sons de pássaros (7,95 cm) e ao tratamento controle (7,72 cm), que não diferiram entre si. O número de raízes e de folhas senescentes foi maior nas plantas sob rock (7,50 e 3,83, respectivamente), tendo se diferenciado daquelas sob música clássica (5,66 e 1,83), som de pássaros (5,16 e 1,66) e o controle (5,50 e 2,00), que não diferiram entre si. O número de nós nas plantas também foi maior sob rock (8,33), mas sem diferir daquelas sob som de pássaros (7,66) e música clássica (7,50), no entanto, foi maior que aquelas no controle (7,00). A área foliar das plantas foi maior no controle (1,49 cm²) e sob música clássica (1,43 cm²), sem diferirem do som de pássaros (1,36 cm²), mas estatisticamente maior que aquelas sob rock (1,21 cm²) (Tabela 1 e Figura 5).

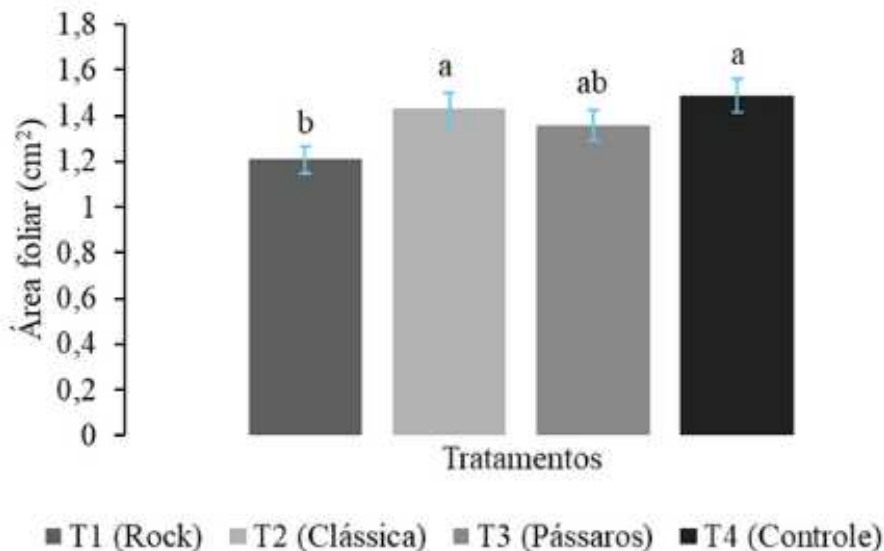


Figura 5- Área foliar (cm²) em plantas de batata-doce submetidas a diferentes tratamentos sonoros (Rock, Música Clássica, Canto de Pássaros e Controle), aos 30 dias in vitro. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As diferenças observadas entre os tratamentos sonoros e a ausência de som, podem estar relacionadas ao estresse induzido pelo estímulo sonoro, já que plantas podem responder às ondas sonoras de acordo com a frequência, intensidade, duração da exposição e tipo de fonte sonora (Frongia; Forti; Arru, 2020). Estudos recentes têm mostrado que essas variáveis influenciam o desempenho fisiológico e morfológico das plantas (Ghosh et al., 2016; Kim et al., 2021).

A maior altura das plantas de batata-doce sob rock ocorreu devido à influência das frequências (Hz) sonoras específicas desse estilo musical. Embora os tratamentos tenham sido

aplicados com a mesma intensidade sonora (dB), o rock se caracteriza por variações acentuadas de frequência e timbre, capazes de estimular de forma diferenciada os processos fisiológicos das plantas (Frongia; Forti; Arru, 2020). Essas variações podem ter promovido maior atividade metabólica e absorção de nutrientes, resultando em crescimento mais acentuado. Resultados semelhantes foram observados em alface, onde a exposição à música eletrônica e ao rock também estimulou crescimento superior em relação à música clássica e a ausência de som (controle) (Wang; Xiao, 2023).

Também o maior número de raízes observado nas plantas sob o som rock, reforça essa tendência, indicando que esse estímulo sonoro possibilitou o crescimento de um sistema radicular mais ativo, proporcionando melhores condições de absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, seu maior crescimento (Jung et al., 2018).

Esse estímulo também influenciou a divisão celular meristemática, evidenciada pelo maior número de nós nesse tratamento, sugerindo que as vibrações sonoras causadas pelo rock, podem alterar o ciclo celular e promover o aumento de fitormônios ligados à divisão celular (Mishra; Ghosh; Bae, 2016).

Já o aumento na senescência foliar sob rock, pode estar relacionado ao maior crescimento vegetativo observado nesse tratamento. Seu crescimento mais acelerado, demanda maior consumo energético e de nutrientes, o que pode antecipar o envelhecimento natural da folha, ocorrendo sua senescência. Dessa forma, o rock pode ter estimulado tanto o crescimento e desenvolvimento, quanto antecipado a senescência em função do maior gasto metabólico (Zhang et al., 2021).

A menor área foliar observada sob o estímulo sonoro rock sugere que o maior direcionamento de fotoassimilados para crescimento e emissão de raízes, nós e folhas totais (senescentes e não senescentes), reduziu sua disponibilização para as folhas que tiveram menor área, o que também foi relatado para plantas de alface submetidas a diferentes tipos de sons (Wang; Xiao, 2023).

A massa fresca e seca da parte aérea não diferiu estatisticamente entre si. Já a massa fresca das raízes foi maior nas plantas sob rock (0,1132 g) sem diferir daquelas sob clássica (0,1049 g) e no controle (0,0984 g), mas diferindo daquelas submetidas ao som de pássaros (0,0908 g). A massa seca das raízes também foi maior naquelas sob rock (0,0119 g), sem diferir daquelas sob música clássica (0,0115g), mas estatisticamente maiores do que aquelas sob controle (0,0104 g) e pássaros (0,0096 g) (Tabela 2 e Figura 6).

Tabela 2- Massa fresca da parte aérea e raiz (MFPA e MFR) e massa seca da parte aérea e raiz (MSPA e MSR) de batata-doce em função de diferentes sons (Rock, Clássica e Pássaros) e ausência de som (Controle), aos 30 dias in vitro.

.Sons	MFPA (g)	mFR (g)	MSPA (g)	MSR (g)
Rock	0,4580 ns*	0,1132 a	0,0384 ns	0,0119 a
Clássica	0,4866	0,1049 ab	0,0382	0,0115 ab
Pássaros	0,4542	0,0908 b	0,0357	0,0096 c
Controle	0,4682	0,0984 ab	0,0359	0,0104 bc
Média	0,47	0,10	0,04	0,01
CV (%)	5,78	12,44	5,84	6,93

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

*ns.-não significativo.

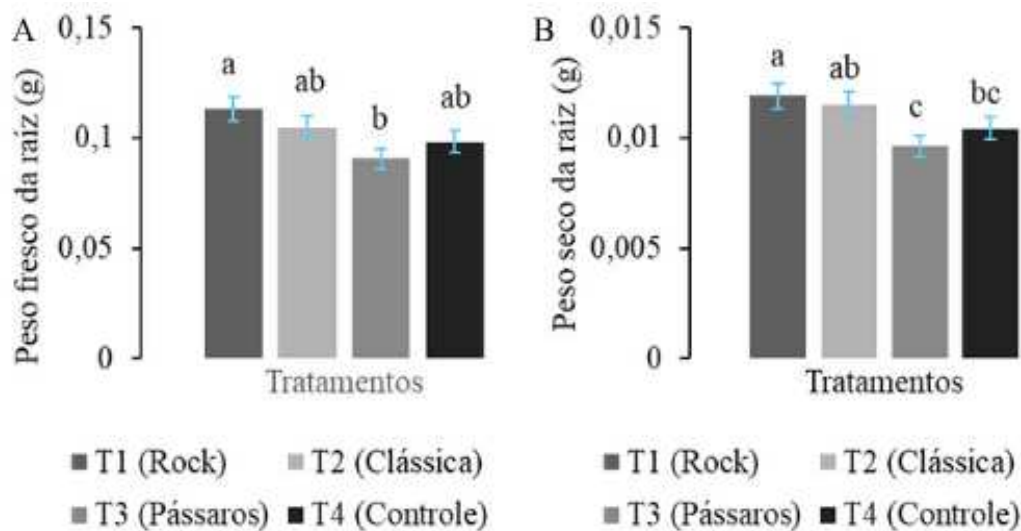


Figura 6- Efeitos dos tratamentos sonoros no desenvolvimento de plantas de batata-doce cv. Campina in vitro aos 30 dias: (A) massa fresca da raiz (g) e (B) massa seca da raiz (g). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As maiores massas fresca e seca, das raízes nas plantas sob o som rock, reforçam a hipótese de que as vibrações acústicas amplas e intensas desse estilo sonoro podem estimular processos fisiológicos ligados à absorção de água e síntese de biomassa (Pagano; Del Prete, 2024).

Os teores médios de clorofila α , β e totais, nas plantas de batata-doce Cv. Campina, diferiram entre os tratamentos sonoros e a ausência de som (Tabela 3 e Figura 7).

Tabela 3- Teores de clorofila α (Ca), clorofila β (Cb), clorofilas totais (Ct) e carotenoides (Car) em plantas de batata-doce cv. Campina *in vitro* submetidas a diferentes sons (Rock, Clássica e Pássaros) e ausência de som (Controle), aos 30 dias.

Sons	Ca	Cb	Ct	Car
Rock	0,7267 b	0,3533 c	1,0800 c	0,1800 ns*
Clássica	0,9533 a	0,4267 b	1,3800 b	0,2400
Pássaros	1,0900 a	0,5267 a	1,6167 a	0,2433
Controle	1,1633 a	0,5467 a	1,7100 a	0,2733
CV (%)	9,01	8,17	8,40	14,43

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott. *ns.- não significativo.

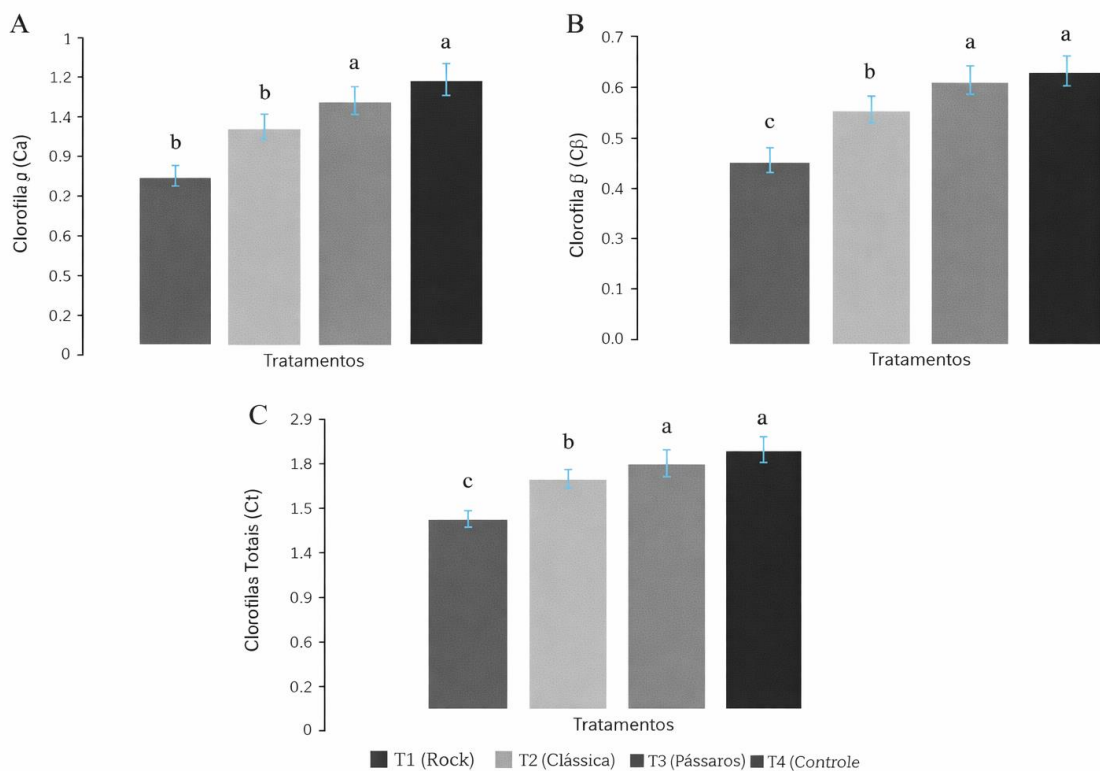


Figura 7- Efeitos dos tratamentos sonoros no desenvolvimento de plantas de batata-doce cv. Campina *in vitro* aos 30 dias: (A) Teores de clorofila α ($C\alpha$), (B) clorofila β ($C\beta$) e clorofilas totais (Ct). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott

Os teores de clorofila α ($C\alpha$), clorofila β ($C\beta$) e clorofilas totais (Ct) em plantas de batata-doce cv. Campina, cultivadas *in vitro*, foram significativamente influenciados pelos diferentes estímulos sonoros. O tratamento com música Rock teve os menores valores de $C\alpha$ (Figura 7A), $C\beta$ (Figura 7B) e Ct (Figura 7C), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Em contraste, os tratamentos com sons de Pássaros e o Controle tiveram os maiores teores de $C\alpha$ (Figura 7A), $C\beta$ (Figura 7B) e Ct (Figura 7C), não diferindo estatisticamente entre si.

Frequências e intensidades de som podem influenciar parâmetros biológicos e fisiológicos em plantas por meio de efeitos sobre a sinalização mecânica e metabólica (Jeong et al., 2008; Kim et al., 2021), assim, vibrações sonoras atuam como estímulos mecânicos capazes de alterar a expressão gênica, o metabolismo e o balanço hormonal das plantas. Estímulos sonoros mais intensos ou desarmônicos, como a música Rock, podem induzir respostas fisiológicas associadas ao estresse, refletindo na redução dos pigmentos fotossintéticos (Ghosh et al., 2016). Em contra-partida, estímulos acústicos suaves e contínuos tendem a promover ajustes fisiológicos positivos, enquanto sons mais intensos podem desencadear respostas adversas ao metabolismo vegetal (Chowdhury; Lim; Bae, 2014). Estudos com *Lemna minor* demonstraram que a exposição à música suave foi capaz de aumentar a eficiência fotossintética, avaliada pela razão F_v/F_m , evidenciando que estímulos sonoros harmônicos podem favorecer o desempenho do aparato fotossintético (Ye et al., 2023). Quando aplicada de forma controlada, a vibração sonora contribui para a manutenção do aparato fotossintético, enquanto estímulos mais intensos ou desarmônicos tendem a induzir respostas fisiológicas menos favoráveis (Choi et al., 2017).

Na análise morfoanatômica por microscopia eletrônica de varredura, foram observadas diferenças morfológicas nos tricomas globulares das plantas submetidas aos tratamentos sonoros em relação ao controle (ausência de som). Nas plantas sob rock (Figura 8A), foram verificadas anomalias como variação no tamanho e presença de estômato (seta), quando comparado ao controle (Figura 8D). Nas plantas sob música clássica (Figura 8B) e sons de pássaros (Figura 8C), os tricomas tiveram morfologia semelhante ao controle, ou seja, sem alterações aparentes significativas.

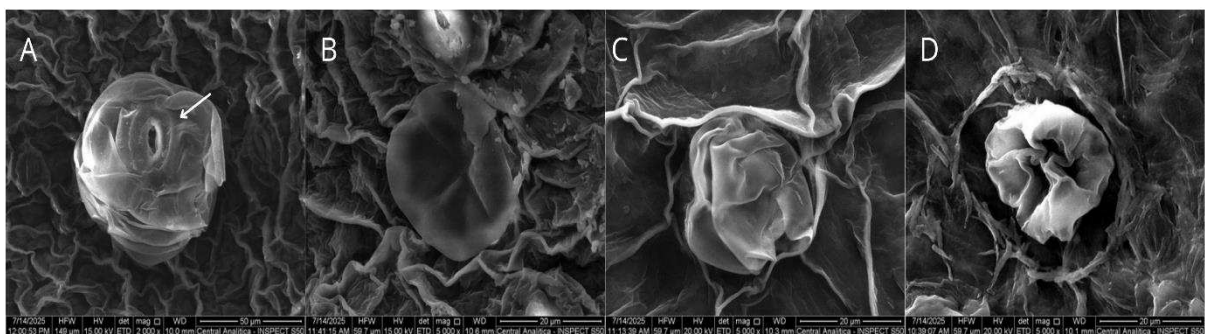


Figura 8- Eletromicrografias de varredura evidenciando tricomas globulares foliares abaxial de batata-doce cv. Campina sob diferentes sons (A) música rock, (B) música clássica e (C) sons de pássaros, e (D) ausência de som (controle). A seta branca indica a abertura de um estômato apical em um tricoma, aos 30 dias in vitro (A - barra~50µm e B, C e D - barra~20µm).

Nas quatro micrografias, obtidas com a mesma ampliação (500x; escala de 200 µm), é possível observar variações na densidade e na distribuição dos estômatos e tricomas,

bem como diferenças no tamanho dessas estruturas. O som rock resultou em menor densidade de estômatos e tricomas maiores (Figura 9A); a música clássica, em maior número e distribuição de estruturas (Figura 9B), porém menores; os sons de pássaros (Figura 9C), em alta densidade estomática e tricomas moderados; e o controle teve características intermediárias (Figura 9D).

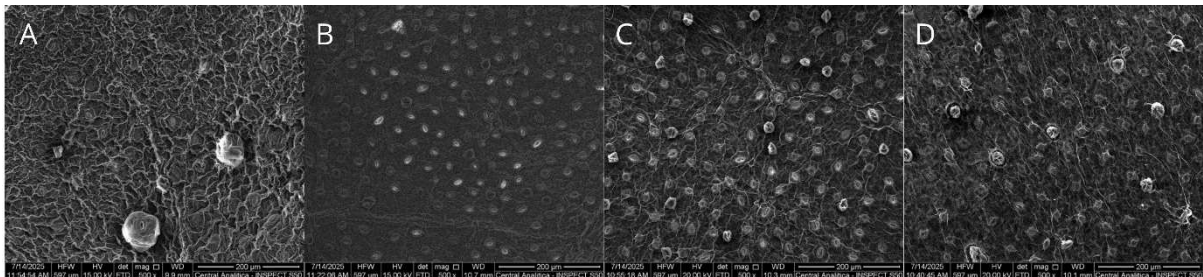


Figura 9- Eletromicrografias de varredura de tricomas globulares e estômatos foliares abaxial de batata-doce cv. Campina sob diferentes sons (A) música rock, (B) música clássica e (C) sons de pássaros, e (D) ausência de som (controle), aos 30 dias in vitro. (Barra~200µm).

Os resultados morfoanatômicos diferentes entre as folhas das plantas de batata-doce in vitro submetidas ao som rock em relação aos demais sons e ausência de som, possibilitam afirmar que há determinados estímulos sonoros capazes de alterar a morfologia foliar, quanto ao tamanho, densidade e disposição de estômatos e tricomas. Neste estudo, as plantas expostas ao rock tiveram tricomas maiores e superfície foliar mais rugosa, além de anomalias estruturais. Já naquelas sob música clássica tiveram maior densidade de tricomas e estômatos, porém com dimensões reduzidas, enquanto o som de pássaros teve alta densidade estomática e tricomas de tamanho intermediário, todas em relação ao controle (ausência de som).

Os diferentes resultados entre tratamentos possibilitam afirmar que vibrações sonoras distintas podem ativar respostas mecanossensíveis também distintas, modulando o crescimento e a diferenciação celular das plantas (Liu et al., 2017), essas, por sua vez, são capazes de perceber sinais acústicos como estímulos físicos, desencadeando alterações morfológicas e fisiológicas relacionadas à sua adaptação e ao estresse ambiental (Jung et al., 2018; Del Stabile et al., 2022).

5 CONCLUSÃO

Os estímulos sonoros influenciaram as características biométricas (altura de plantas, número de raízes, folhas senescentes e nós, área foliar, e peso fresco e seco das raízes), fotossintéticas (Teores de clorofila α , clorofila β , e clorofilas totais) e morfoanatômicas (estômatos e tricomas) de plantas de batata-doce cv. Campina, com o som rock sendo o que possibilitou observar um maior conjunto de diferenças em relação ao controle.

Este estudo abre caminho para o aprofundamento das investigações acerca da influência de estímulos sonoros no crescimento e desenvolvimento vegetal de plantas de batata-doce.

REFERÊNCIAS

- ALAM, I. et al. Elimination and detection of viruses in meristem-derived plantlets of sweetpotato as a low-cost option toward commercialization. **3 Biotech**, v. 3, p 153–164, apr./aug. 2013.
- ANDRADE, S. R. M. Princípios da cultura de tecidos vegetais. **Embrapa**, Brasília, p. 16, dez. 2002.
- BETTONI, M. H.; WANG, Q.; WANG, S. In Vitro Regeneration, Micropropagation and Germplasm Conservation of Horticultural Plants. **Horticulturae**, v. 10, n. 1, p. 45, dec./jan. 2024.
- BIBADADI, S. S.; JAIN, S. M. Cellular, Molecular, and Physiological Aspects of In Vitro Plant Regeneration. **Plants**, v. 9, p. 20, may./jun. 2020.
- BOSE, J. C. **The Nervous Mechanism of Plants. London: Longmans.** Londres: Longmans, Green and Co., 1926.
- CARDOSO, A. D. Avaliação de clones de batata-doce em Vitória da Conquista. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 911– 914, out./dez. 2005.
- CHEN, J. et al. Establishment of an Efficient and Practical Virus-free Seedling Supply System by Means of Culture of Shoot Apexes, RT-PCR and Clonal Propagation in Sweet Potato (*Ipomoea batatas*). **Biotechnology Journal International**, v. 4, n. 1, p. 51– 63, 2014.
- CHOI, B. et al. Positive regulatory role of sound vibration treatment in *Arabidopsis thaliana* against *Botrytis cinerea* infection. **Nature**, v. 7, 2017.
- CHOWDHURY, M.; LIM, H.; BAE, H. Update on the Effects of Sound Wave on Plants. **Research in Plant Disease**, v. 20, n. 1, 2014.
- CHOWDHURY, M. et al. Effects of Temperature, Relative Humidity, and Carbon Dioxide Concentration on Growth and Glucosinolate Content of Kale Grown in a Plant Factory. **Foods**, v. 10, n. 1524, p 1–19, may./jul. 2021.
- COLLINS, M. E.; FOREMAN, J. E. The effect of sound on the growth of plants. **Canadian Acoustics**, v. 29, n. 2, p. 3–8, 2001.
- DEL STABILE. et al. Is There a Role for Sound in Plants?. **Plants**, v. 11, n. 18. 2022.
- DUTRA, L. F. et al. Micropropagação de Batata ‘BRS Ana’: Produção de Material Básico com Alta Sanidade. **Embrapa**, Brasília, p. 4, 2011.

FAN, L.; BAHARUM, M. R. The effect of exposure to natural sounds on stress reduction: a systematic review and meta-analysis. **Stress**, 2024. v. 27, n. 1, 2024.

FAN, T. T.; POTROZ, M. G.; TAN, E.-L.; PARK, J. H.; MIYAKO, E.; CHO, N.-J. Scanning electron microscopy (FESEM). **Bio-protocol**, 2019.

FAOSTAT, Food and Agriculture Data. **Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 15 out. 2025.

FEITOSA, L.; DALLÁLIO, A. Perspectivas sobre a música clássica brasileira e a influência da indústria cultural. Todas as Artes. **Revista Luso-brasileira de Artes e Cultura**, v. 6, n.1, p. 58–71, jan./abr. 2023.

FERNANDES, A. M. et al. Sistema de produção de batata-doce. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2021.

FRONGIA, A.; FORTI, L.; ARRU, L. Sound perception and its effects in plants and algae. **Plant Signaling & Behavior**, v. 15, n. 12 p. 7, jul./sep. 2020.

GHOSH, R. et al. Corrigendum: Exposure to Sound Vibrations Lead to Transcriptomic, Proteomic and Hormonal Changes in Arabidopsis. **Scientific Reports**, v. 6, 2016.

GRUSAK, M. A.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J. Plant Macro- and Micronutrient Minerals. **eLS (Encyclopedia of Life Sciences)**, 2016.

GUIMARÃES, F. F. F. **Do surgimento do rock à sua difusão pelo mundo: a apropriação do rock no Brasil através das versões, de meados da década de 1950 a meados da década de 1960. 2013**. Dissertação (Em Desenvolvimento Social) - Universidade Estadual De Montes Claros - Unimontes, Montes Claros, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: volume 1**. Mecânica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E. **Plant Propagation: Principles and Practice**. Prentice Hall. 8. ed, 2014.

HASSANIEN, R. H. E. et al. Advances in effects of sound waves on plants. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 135–348, 2013.

IESE, V. et al. Facing food security risks: The rise and rise of the sweet potato in the Pacific Islands. **Global Food Security**, v. 18, p. 48–56, 2018.

JACKSON, M. B.; COLMER, T. D. Response and adaptation by plants to flooding stress.

Annals of Botany, v. 96, n. 4, p. 501–505, 2005.

JEONG, M. J. et al. Plant gene responses to frequency-specific sound signals. **Molecular Breeding**, v. 21, n. 2, p. 217–226, 2008.

JIN, X. et al. Insights into Plant Sensory Mechanisms under Abiotic Stresses. **Plants**, v. 13, n. 14, p. 1907, may./jul. 2024.

JUNIOR, C. C. et al. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, ago./set. 2012.

JUNG, J. Beyond Chemical Triggers: Evidence for Sound-Evoked Physiological Reactions in Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018.

JUSLIN, P. N.; SLOBODA, J. A. **Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications**. Oxford: Oxford University Press, 2010.

KIM, J. Y. et al. Sound Waves Promote Arabidopsis thaliana Root Growth by Regulating Root Phytohormone Content. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 11, p. 5739, 2021.

KUMAR, S; REDDY, M. P. In vitro Plant Propagation: A Review. **Journal of Forest Science**, v. 27, n. 2, p. 61–72, 2011.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350–382, 1987.

LIU, Q. et al. Arabidopsis Leaf Trichomes as Acoustic Antennae. **Biophysical Journal**, v. 113, n. 49, p. 2068–2076, 2017.

MARTINS, A. D. **Saiba como a qualidade da luz interfere no crescimento das plantas**. Lavras: UFPA, 2021.

MESHER, C; DE MORAES, C. M. Role of plant sensory perception in plant–animal interactions. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 425–433, 2014.

MISHRA, R. C; GHOSH, R; BAE, H. Plant acoustics: in the search of a sound mechanism for sound signaling in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 15, p. 4483–4494, 2016.

MOTSA, N. M.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as a drought tolerant and food security crop. **South African Journal of Science**, v. 111, n. 11/12, 2015.

- OLIVEIRA, N. A física da música. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, n. 25, 2014.
- OTTOSEN, C. O.; MORTENSEN, L. M.; GISLERØD, H. R. Effect of relative air humidity on gas exchange, stomatal conductance and nutrient uptake in miniature potted roses. **Gartenbauwissenschaft**, v. 67, n. 4, p. 143–147, 2002.
- PAGANO, A; DEL PRETE, S. Symphonies of Growth: Unveiling the Impact of Sound Waves on Plant Physiology and Productivity. **Biology**, v. 13, n. 5, p. 326, 2024.
- PAVLOVIC, A. Touch, light, wounding: how anaesthetics affect plant sensing abilities. **Plant Cell Reports**, v. 43, n. 12, p. 293, sep./nov. 2024.
- PIERIK, R; BALLARÉ, C. L. Control of Plant Growth and Defense by Photoreceptors: From Mechanisms to Opportunities in Agriculture. **Mol Plant**, v. 4, n. 14, p. 61–76, 2021.
- PIMENTEL, C. E; DONNELLY, E. D. O. P. A relação da preferência musical com os cinco grandes fatores de personalidade. **Psicologia: Ciência e Profissão**, v. 28, n. 4, 2008.
- PYPKA, M.; SIEMIANOWSKI, O. Plant tropism: cue detection and control over growth direction – the many ways for plants to explore and exploit the environment. **The Botanical Review**, p. 1-29, 2025.
- ROBARDS, A. W. Critical point drying of biological specimens for scanning electron microscopy. **Journal of Microscopy**, 1978.
- SALASAR, F. et al. Propriedades nutricionais e benefícios do consumo da polpa e folha de batata-doce. **Desenvolvimento Agropecuário Sustentável**, 2019.
- SAPAKHOVA, Z. et al. Sweet Potato as a Key Crop for Food Security under the Conditions of Global Climate Change: A Review. **Plants**, v. 12, n. 13, p. 2516, 2023.
- SELEIMAN, M. F. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. **Plants**, v. 10, n. 2, 2021.
- SILVA, R. J. et al. Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. Cultura de tecidos e transformação genética de plantas. **Embrapa**, Brasília, 1998.
- VILLALBA, M. et al. Optimizing sweet potato production: insights into the interplay of plant sanitation, virus influence, and cooking techniques for enhanced crop quality and food security. **Frontiers in Plant Science**, v. 18, n. 15, 2024.

VITAL, P; MESSIAS, C. M. B. O. Composição e aspectos nutricionais da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam): revisão de literatura. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 26, n. 3, p. 155-163, 2023.

WANG, S; XIAO, Q. Effect of Audio Control Technology on Lettuce Growth. **Sustainability**, v. 15, n. 3, 2023.

WEST, J. Robert Boyle's landmark book of 1660 with the first experiments on rarified air. **Journal of Applied Physiology**, v. 98, n. 1, 2005.

WU, Y. et al. The role of sound stimulation in production of plant secondary metabolites. **Natural products and bioprospecting**, v. 12, n. 8, 2023.

YE, Z. et al. Evidence for the role of sound on the growth and signal response in duckweed. **Plant Signal Behav**, v. 18, n. 1, 2023.

ZHANG, Y. et al. Multiple Layers of Regulation on Leaf Senescence: New Advances and Perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 1, p. 2438, 2021.

ZHAO, L. et al. Comparative Analysis of Nutrients, Phytochemicals, and Minerals in Colored Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Roots. **Foods**, v. 13, n. 22, 2024.