



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

LUIZA LOPES DA SILVA

**CRESCIMENTO E PERFIL BIOQUÍMICO POR ESPECTROSCOPIA NO  
INFRAVERMELHO DE PLÂNTULAS DE *Mimosa tenuiflora* COM DIVERSAS  
INTENSIDADES DO CAMPO MAGNÉTICO**

SERRA TALHADA

2023

LUIZA LOPES DA SILVA

**CRESCIMENTO E PERFIL BIOQUÍMICO POR ESPECTROSCOPIA NO  
INFRAVERMELHO DE PLÂNTULAS DE *Mimosa tenuiflora* COM DIVERSAS  
INTENSIDADES DO CAMPO MAGNÉTICO**

Monografia submetida ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito para obtenção do título de bacharela em Ciências Biológicas.

**Orientador:** Prof. Dr. Luiz Carlos da Silva Junior

SERRA TALHADA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586c

Silva, Luiza Lopes da  
CRESCIMENTO E PERFIL BIOQUÍMICO POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO DE  
PLÂNTULAS DE *Mimosa tenuiflora* COM DIVERSAS INTENSIDADES DO CAMPO MAGNÉTICO / Luiza  
Lopes da Silva. - 2023.  
60 f. : il.

Orientador: Luiz Carlos da Silva .  
Inclui referências e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Serra  
Talhada, 2023.

1. Campo Magnético . 2. *Mimosa tenuiflora* . 3. Espectroscopia no infravermelho . 4. Perfil bioquímico .  
5. Vegetais. I. , Luiz Carlos da Silva, orient. II. Título

CDD

---

LUIZA LOPES DA SILVA

**CRESCIMENTO E PERFIL BIOQUÍMICO POR ESPECTROSCOPIA NO  
INFRAVERMELHO DE PLÂNTULAS DE *Mimosa tenuiflora* COM DIVERSAS  
INTENSIDADES DO CAMPO MAGNÉTICO**

Monografia submetida ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito para obtenção do título de bacharela em Ciências Biológicas.

---

Prof. Dr. Luiz Carlos da Silva Junior (Orientador)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Unidade Acadêmica de Serra Talhada

---

Profa. Dra. Luciana Sandra Bastos de Souza (Examinadora interna)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Unidade Acadêmica de Serra Talhada

---

Prof. Dr. José Francielson Queiroz Pereira (Examinador interno)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Unidade Acadêmica de Serra Talhada

SERRA TALHADA

2023

*Dedico esse trabalho a Deus, a minha mãe e ao meu marido, por terem me encorajado e incentivado durante essa trajetória.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que me deu forças e saúde para que eu pudesse seguir em frente.

A minha mãe, que sempre acreditou no meu potencial e me incentivou a estudar.

As minhas irmãs e meus sobrinhos, por serem minha base e sempre deixarem seus sentimentos de orgulho e admiração por mim muito bem explícito.

Ao meu marido, que com muito amor, acompanhou todas as minhas lutas diárias e esteve sempre presente nos meus melhores e piores momentos.

Ao meu orientador Prof. Luiz Carlos, e à sua esposa, Jaqueline Silva que me orientaram com muita dedicação e carinho, sempre tentando fazer o melhor para com todos os orientandos, obrigada pela paciência, pelos conselhos e por todas as conversas que tivemos. Vocês são incríveis.

A todos do Laboratório de Energia, Física e Matemática (Prof. Luiz Carlos, Prof. Mário, Ayrton, Felícia, Karen e Gleyson), que tornaram os dias de trabalhos mais leves e puderam agregar os seus conhecimentos neste trabalho científico, e dividiram momentos e sentimentos memoráveis.

A todos do Grupo de Análises Químicas (GAQ/UAST) e o Núcleo de Química Analítica Avançada de Pernambuco (NUQAAPE/FACEPE/PRONEX - APQ-0346-1.06/14) pelas análises de infravermelho e a professora Maria Fernanda Pimentel (DEQ/UFPE) pelo uso do programa The Unscrambler e Matlab.

A todos os meus amigos que me apoiaram e estiveram presentes quando mais precisei, especialmente a Jeferson Matheus Gomes Moura, meu amigo, primo e irmão, que esteve comigo durante toda a minha graduação, dividiu um quarto e todas as noites em claro.

A meu anjo, Maria Elenilza Ferreira da Silva, que não está mais entre nós, mas me deu forças e cuidou de mim de onde quer que esteja.

A Cícero Ferreira da Silva, Maria Eduarda Ferreira Lemos e sua família, por terem me proporcionado momentos leves, divertidos e amorosos durante toda a minha jornada.

Ao Programa de Tutoria Discente, juntamente à Professora Maria do Socorro e demais colaboradores da Pró-Reitoria de Ensino e Graduação.

Aos membros da banca avaliadora por aceitarem participar e por suas sugestões.

A UFRPE/UAST por ter cedido a estrutura para realização desse trabalho.

A todo corpo docente, técnico, administrativo e demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização desse trabalho.

Ao Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) e a Rede de Sementes do Programa de Integração do São Francisco (PISF), pela doação das sementes de *Mimosa tenuiflora*.

*“Quando você faz uma descoberta - mesmo se você for a última pessoa na Terra a ver a luz -  
você jamais vai se esquecer.”  
(Carl Sagan)*



## RESUMO

A presença de um campo magnético (CM) pode afetar as condições biológicas das plantas. Em determinados níveis de intensidade, pode prejudicar a germinação e o crescimento vegetal. Neste trabalho, utilizou-se espectroscopia na região do infravermelho médio (MID) em conjunto com tratamentos estatísticos para identificar alterações no crescimento e mudanças no perfil bioquímico em plântulas de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., expostas a campos magnéticos de diferentes intensidades sob ambiente controlado. O estudo foi realizado no Laboratório de Energia, Física e Matemática juntamente com o Grupo de Análises Químicas na Unidade Acadêmica de Serra Talhada. A espécie analisada foi escolhida por ser nativa da Caatinga. Os dados espectrais foram comparados com dados biométricos e fisiológicos, como o percentual de germinação (G), o comprimento da radícula (CR), o comprimento do hipocótilo (CH) e a morfometria foliar (MF). As sementes de *M. tenuiflora* foram colocadas em placas de Petri com filtros qualitativos e alocadas numa incubadora DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) com temperatura ( $25^{\circ}C$ ) e fotoperíodo ( $12h$ ) controlados e divididas em dois grupos: próximo da fonte luminosa (grupo P) e distante (grupo D). As amostras das plântulas (folhas, hipocótilo e radícula) foram submetidas à análise espectroscópica MID por reflexão atenuada (ATR). Os valores de CR, CH e MF reduziram significativamente ( $p < 0,05$ ) no grupo próximo à fonte de luz em comparação com o controle. A análise por componentes principais (PCA) dos dados espectrais das amostras permitiu visualizar uma distinção clara entre as amostras dos grupos P e D. Considerando as análises das amostras que receberam a intensidade de  $0,24T$  para o grupo P e  $0,18T$  para o grupo D, foram notadas diferenças espectrais na faixa de  $1200$  a  $1000cm^{-1}$  correspondentes às vibrações  $C - O$ ,  $C - H$  e  $OH$  e na faixa de  $1050$  e  $1735cm^{-1}$  associadas às bandas de estiramento  $C = O$ , respectivamente. Conjuntamente, os dados sugerem que o CM atua nas plântulas de forma diferente em relação à distância da fonte luminosa. A utilização do MID possibilitou a avaliação da composição e intensidade das bandas, e quando associada aos tratamentos estatísticos (teste  $t$  de Student e PCA), mostrou-se uma ferramenta promissora e complementar aos estudos do efeito do campo magnético nas plantas em relação à fonte luminosa.

**Palavras-chave:** Campo magnético; *Mimosa tenuiflora*; Espectroscopia no Infravermelho; Perfil bioquímico; Vegetais.

## ABSTRACT

The presence of a magnetic field (MF) can affect the biological conditions of plants. At certain intensity levels, it can cause damage to plant germination and growth. In this study, middle infrared (MIR) spectroscopy was used together with statistical treatments to identify changes in growth and biochemical profile in *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., seedlings exposed to magnetic fields at different intensities under controlled environments. The study was carried out at the Laboratory of Energy, Physics and Mathematics together with the Chemical Analysis Group at the Academic Unit of Serra Talhada. The species analyzed was chosen because it is native to the Caatinga. Spectral data were compared with biometric and physiological data, such as germination percentage (G), radicle length (RL), hypocotyl length (HL) and leaf morphometry (LM). *M. tenuiflora* seeds were placed in Petri dishes with qualitative filters and allocated in a BOD (Biochemical Oxygen Demand) incubator under controlled temperature ( $25^{\circ}C$ ) and photoperiod (12h), and divided into two groups: closer to the light source (group C) and distant (group D). Samples of the seedlings (leaves, hypocotyl, and radicle) were subjected to MID spectroscopic analysis by attenuated total reflectance (ATR). RL, HL, and LM values decreased significantly ( $p < 0.05$ ) in the group closer to the light source compared to the control. Principal component analysis (PCA) of the spectral data of the samples allowed to see a significant distinction between the samples from group C and group D. Considering the analysis of samples that received an intensity of  $0.24T$  for group C and  $0.18T$  for group D, differences were noted in the range of  $1200$  to  $1000\text{cm}^{-1}$  corresponding to C-O, C-H, and OH vibrations and in the range of  $1050$  and  $1735\text{cm}^{-1}$  associated with C=O stretching bands, respectively. Together, the data suggest that MF acts differently on seedlings depending on the distance from the light source. Through MIR spectra it was possible to evaluate the composition and intensity of the bands and, when associated with statistical treatments (Student's t-test and PCA), proved to be a promising and complementary tool for studying the effect of magnetic fields on plants in relation to the light source.

**Keywords:** Magnetic field; *Mimosa tenuiflora*; Infrared spectroscopy; Biochemical profile; Vegetables.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação esquemática de uma onda eletromagnética . . . . .	21
Figura 2 – Análise das sementes para o experimento . . . . .	25
Figura 3 – Materiais Usados: manta e béquer . . . . .	26
Figura 4 – Materiais Usados: termômetro infravermelho . . . . .	26
Figura 5 – Quebra de dormência das sementes . . . . .	27
Figura 6 – Materiais Usados: micropipeta e papel filtro . . . . .	28
Figura 7 – Materiais Usados: B.O.D. . . . .	29
Figura 8 – Materiais Usados: ímãs . . . . .	29
Figura 9 – Materiais Usados: placas de petri . . . . .	30
Figura 10 – Materiais Usados: paquímetro . . . . .	30
Figura 11 – Materiais Usados: Espectrofotômetro no infravermelho médio . . . . .	32
Figura 12 – Estrutura química da clorofila a e b . . . . .	33
Figura 13 – Porcentagem de germinação no grupo P . . . . .	34
Figura 14 – Porcentagem de germinação no grupo D . . . . .	35
Figura 15 – Comparação da germinação de 0, 18T grupo P e D . . . . .	36
Figura 16 – Comparação da germinação de 0, 45T grupo P e D . . . . .	37
Figura 17 – Crescimento dos hipocótilos grupo P . . . . .	38
Figura 18 – Comparação do crescimento dos hipocótilos grupo P e D . . . . .	39
Figura 19 – Comparação entre as médias dos hipocótilos grupo P . . . . .	40
Figura 20 – Ilustração do Efeito Faraday nas placas . . . . .	42
Figura 21 – Crescimento dos hipocótilos grupo D . . . . .	43
Figura 22 – Crescimento médio das radículas grupo P . . . . .	45
Figura 23 – Crescimento médio das radículas grupo D . . . . .	46
Figura 24 – Gráficos dos espectros médios do grupo controle . . . . .	47
Figura 25 – Gráficos dos Scores da PCA . . . . .	49
Figura 26 – Gráficos dos Scores da PCA E Loadings do grupo P (0, 18T, 0, 24T e 0, 45T)	50
Figura 27 – Gráficos dos Scores da PCA e Loadings do grupo D (0, 18T, 0, 24T e 0, 45T)	51
Figura 28 – Gráfico das médias das radículas x intensidades . . . . .	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Constante de Verdet para algumas substâncias selecionadas. . . . .	42
Tabela 2 – Médias do comprimento radicular das 5 amostras de cada placa do grupo D.	60

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO</b> . . . . .	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> . . . . .	<b>16</b>
2.1	Objetivo geral . . . . .	16
2.2	Objetivos específicos . . . . .	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> . . . . .	<b>17</b>
3.1	Campo Magnético . . . . .	17
3.2	Campo Magnético Terrestre . . . . .	18
3.3	Ondas Eletromagnéticas . . . . .	19
<b>3.3.1</b>	<b>Fonte geradora de ondas eletromagnéticas</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Ondas eletromagnéticas: O que são?</b> . . . . .	<b>20</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Propriedades das ondas eletromagnéticas</b> . . . . .	<b>20</b>
3.4	Relação do Campo Magnético Aplicado aos Vegetais . . . . .	22
3.5	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir. . . . .	23
3.6	Espectroscopia no Infravermelho Médio . . . . .	23
3.7	Análise por componentes principais . . . . .	24
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> . . . . .	<b>25</b>
4.1	As sementes . . . . .	25
4.2	Secagem e seleção das sementes . . . . .	26
<b>4.2.1</b>	<b>Disposição das placas na incubadora BOD</b> . . . . .	<b>28</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Escolha da intensidade do Campo Magnético e dos ímãs</b> . . . . .	<b>28</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Adição de água</b> . . . . .	<b>29</b>
4.3	Análises biométricas das plântulas . . . . .	29
<b>4.3.1</b>	<b>Análises espectroscópica das plântulas (Infravermelho Médio - UATR)</b> .	<b>31</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Dados de leitura do infravermelho para identificação de moléculas e grupos funcionais presentes nas plântulas</b> . . . . .	<b>31</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Análise estatística</b> . . . . .	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> . . . . .	<b>34</b>
5.1	Porcentagem de germinação das sementes . . . . .	34
5.2	Análises Biométricas . . . . .	37
<b>5.2.1</b>	<b>Crescimento do hipocótilo do grupo P</b> . . . . .	<b>37</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Crescimento do hipocótilo do grupo D</b> . . . . .	<b>43</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Crescimento das radículas do grupo P</b> . . . . .	<b>44</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Crescimento das radículas do grupo D</b> . . . . .	<b>45</b>

5.3	Resultados das análises espectrais das plântulas no infravermelho médio - MID	46
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	<b>52</b>
6.1	Continuidade da pesquisa . . . . .	52
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICES</b> . . . . .	<b>59</b>
7.1	APÊNDICE A - Gráfico do comprimento médio da radícula em relação à todas as intensidades do campo magnético . . . . .	59
7.2	APÊNDICE B - Médias do comprimento radicular das placas distante à fonte luz (placas do grupo D) . . . . .	59

## 1 APRESENTAÇÃO

A aplicação do campo magnético (CM) pode ser uma estratégia promissora para aumentar a produtividade agrícola em um curto período de tempo, trazendo benefícios tanto para produtores quanto para consumidores. Estudos têm mostrado que o campo magnético pode influenciar positivamente o crescimento e germinação das plantas (RIVAS, 2019). No entanto, não existem pesquisas que falem sobre esses efeitos em uma espécie nativa da Caatinga, como a *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., e que utilizem a análise espectroscópica na região do infravermelho para avaliar os efeitos do campo magnético no perfil bioquímico.

Diversas áreas do conhecimento, têm dedicado esforços para investigar a influência do campo magnético nos organismos vivos (PRADELA et al., 2018). Algumas pesquisas têm investigado as possíveis influências do campo magnético nas características fisiológicas e biológicas das plantas. Observou-se um aumento significativo na germinação (AGUILERA; MARTÍN, 2016), no crescimento das plântulas (COSTA, 2018) e das raízes (FILHO et al., 2018), na quebra da dormência das sementes, (AGUILERA; MARTÍN, 2016) bem como a influência na biomassa da parte aérea e das raízes (PRADELA et al., 2018).

A Caatinga, nome dado ao bioma que ocupa a região semiárida do Brasil e que tem sua origem na língua tupi-guarani significando "mata-branca", é de extrema importância para a biodiversidade do planeta (Instituto Sociedade, População e Natureza, 2023a). No entanto, é altamente vulnerável às mudanças climáticas no país, e a crescente degradação. (Instituto Sociedade, População e Natureza, 2023b)

Com base no exposto no parágrafo anterior, a *Mimosa tenuiflora*, conhecida como jurema-preta, foi escolhida para este estudo por ser uma leguminosa arbórea nativa da Caatinga e de grande importância econômica, cultural e ecológica. Dentre suas várias aplicações, destacam-se a eficiência na regeneração de solos erodidos (BENEDITO, 2012), a alimentação de ruminantes (DIAS; SOUTO, 2007), a utilização em construções civis de pequeno porte (BENEDITO, 2012) e, principalmente, a produção de carvão e lenha a partir de sua madeira (ROCHA et al., 2015). Além disso, não há na literatura nenhuma pesquisa sobre a aplicação do campo magnético nessa espécie. Portanto, é de suma importância analisar os efeitos do campo magnético durante a germinação de *M. tenuiflora*, visto que essa espécie é muito utilizada no reflorestamento de áreas degradadas (NEMA, 2019).

Além disso, também não se encontraram trabalhos que utilizassem a técnica de avaliação por espectrofotômetro no infravermelho para analisar o comportamento dos efeitos do campo magnético durante o processo germinativo.

Dentre as motivações deste trabalho, também podemos mencionar a abordagem de caráter interdisciplinar, que permite a junção de habilidades em áreas como física, química e biologia,

oportunizando a união entre diferentes áreas do conhecimento, o que resulta na elaboração de soluções que envolvam conceitos mais abrangentes em cada uma das disciplinas, facilitando assim, o processo de resolução de problemas e o surgimento de novos conhecimentos.

Sendo assim, o trabalho visa responder os seguintes questionamentos: Será que haverá um aumento significativo no crescimento da radícula e do hipocótilo? Será que haverá uma maior ou menor alteração do perfil bioquímico? Será que a aplicação do campo magnético com variação do tempo de exposição vai acelerar o processo germinativo? A exposição de plântulas de *M. tenuiflora* ao campo magnético altera o crescimento ou morfometria? O crescimento inicial ou o processo germinativo é alterado pelo CM?

Esta monografia está organizada da seguinte forma:

- No tópico 1, é feita uma introdução ao tópico central, onde são destacadas as razões fundamentais para sua realização, juntamente com seus objetivos e a organização dos capítulos que o compõem.
- No tópico 2, é realizada uma revisão sobre os principais conceitos do Campo Magnético, incluindo a relação desse campo com os vegetais, o campo magnético terrestre, e as ondas eletromagnéticas. Além disso, são descritas as propriedades da Espectroscopia no infravermelho e da planta *Mimosa tenuiflora*.
- No tópico 3, apresenta a metodologia utilizada para a realização da pesquisa, com uma descrição detalhada dos métodos empregados em subseções como: (i) seleção e análise das sementes, (ii) quebra de dormência, (iii) processo de secagem e seleção das sementes, (iv) além de análises biométricas das plântulas.
- No tópico 4, apresenta-se a contribuição original deste trabalho em relação as propriedades magnéticas nas plântulas de *Minmosa tenuiflora*, abordando: (i) porcentagem de germinação das sementes; (ii) Análises biométricas; (iii) Análises espectrais das plântulas no Infravermelho Médio;
- No tópico 5, são expostas as considerações finais desta monografia, que apontam para possíveis direções de pesquisa futura.
- No tópico 6, são apresentados os anexos para contribuir na compreensão dos resultados finais desta monografia.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos positivos ou negativos no perfil biométrico e biomolecular em plântulas de *Mimosa tenuiflora* expostas ao campo magnético com diversas intensidades.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Verificar alterações entre as plântulas que serão expostas ao campo magnético em comparação com as que não serão expostas;
2. Comparar o crescimento da radícula e hipocótilo do tratamento e controle;
3. Investigar o processo germinativo de sementes expostas ao CM e as que não foram expostas;
4. Analisar e discutir o perfil bioquímico.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 CAMPO MAGNÉTICO

As civilizações antigas Grécia e China não conheciam as propriedades do magnetismo, mas sabiam que certas pedras, como a magnetita ( $Fe_3O_4$ ), tinham a capacidade natural de atrair metais (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000). A primeira aplicação conhecida da magnetita foi na fabricação de uma bússola em 376 a.C., pelo general chinês Huang Ti (CARBONELL et al., 2017). No entanto, somente em 1600, o médico e cientista William Gilbert explicou o funcionamento da bússola e as propriedades magnéticas (PRESS et al., 2006). Com base nesses conhecimentos, os físicos estudaram os efeitos associados ao campo magnético e o classificaram como uma propriedade fundamental dos elétrons (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000). Existem duas formas de gerar um campo magnético: a primeira é através do momento magnético dos elétrons, isto é, quando um elétron em órbita gera um momento magnético ao redor do núcleo de um átomo (KNIGHT, 2009). Além disso, os elétrons possuem um momento magnético intrínseco ( $\mu_e$ ), no qual o momento angular de spin pode estar direcionado para cima ( $+\frac{1}{2}$ ) ou para baixo ( $-\frac{1}{2}$ ), dependendo da orientação do elétron. Entretanto, a orientação do elétron não afeta a energia do átomo (KNIGHT, 2009). A segunda maneira consiste em utilizar as propriedades dos elétrons para gerar uma corrente elétrica. Quando os elétrons em um fio se movem ordenadamente, geram uma corrente elétrica que produz um campo magnético cuja intensidade pode variar de acordo com a intensidade da corrente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000).

Dessa forma, podemos entender como os ímãs artificiais, temporários e permanentes, são produzidos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000). Os ímãs temporários são materiais que precisam estar na presença de um ímã permanente para que os spins dos elétrons presentes no material se alinhem e criem um campo magnético em torno do mesmo, e quando separados, o momento magnético torna-se nulo. Por outro lado, os ímãs permanentes, como a magnetita, possuem um momento magnético permanente, ou seja, seus spins estão orientados na mesma direção (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000). Além disso, os metais também podem se transformar em ímãs por meio do processo de imantação, que consiste em aplicar um campo magnético gerado por um ímã em uma barra de ferro não magnetizada (CALCADA; SAMPAIO, 2012). Ao aplicar o momento magnético, os ímãs elementares se organizam em direção ao campo magnético, deixando a barra magnetizada (CALCADA; SAMPAIO, 2012). Esse processo ocorre devido ao princípio da inseparabilidade dos pólos magnéticos e ao campo magnético gerado nas proximidades do ímã (CALCADA; SAMPAIO, 2012).

Os pólos magnéticos são representados por um polo Norte e um polo Sul (dipolos magnéticos), e mesmo que haja um pequeno fragmento no ímã, não há como formar um monopolo. A

partícula fragmentada também terá os dois polos, e eles são chamados de ímãs elementares (CALCADA; SAMPAIO, 2012). O campo magnético que se forma nas proximidades de um ímã é representado pelas linhas de campo magnético, que sempre tendem a sair do polo Norte e irem em direção ao polo Sul, e sua intensidade está relacionada à proximidade das linhas de campo - quanto mais próximas, mais intenso é o campo magnético, e quanto mais afastadas, menos intenso ele é (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000). Nesse sentido, os ímãs elementares possuem atração por polos opostos (Norte atrai Sul) e repulsão por polos iguais (Norte repele Norte ou Sul repele Sul) (CARBONELL et al., 2017). Diante do exposto, o campo magnético pode estar presente em todos os objetos que possuímos (SILVA, 2012), como, por exemplo, em computadores, rádios, televisores, telefones, e na ignição de um automóvel (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000).

### 3.2 CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

Na camada interna da Terra é produzido um campo magnético pouco conhecido pelos cientistas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000), porém, acredita-se que o campo magnético terrestre possa ser mantido pelo movimento de convecção do núcleo externo para o manto. Esse movimento ocorre quando o fluido aquecido no núcleo se torna menos denso do que o fluido presente no manto, fazendo com que o material mais leve saia da sua camada atual (núcleo externo) em direção a camada superior (o manto) (PRESS et al., 2006). O calor transportado de uma camada para outra (PRESS et al., 2006) garante que o campo magnético no núcleo externo não seja destruído, visto que, quando um ímã é aquecido acima de  $500^{\circ}C$  perde as propriedades do campo magnético (SILVA, 2012). Além disso, o núcleo é composto por ferro, que é um ótimo condutor de eletricidade, ou seja, possui elétrons livres em seus átomos, sendo assim, o movimento gerado através da convecção, além de resfriar o núcleo externo produz corrente elétrica que gera um campo magnético terrestre (geomagnético) de baixa intensidade (PRESS et al., 2006).

Tendo isso em vista, podemos entender a teoria de William Gilbert ao dizer que a Terra é um grande ímã que alinhava a agulha presente na bússola, deixando o polo Norte e o polo Sul em uma inclinação de  $11^{\circ}$  graus em relação ao eixo de rotação da Terra (PRESS et al., 2006). Esse campo magnético gerado no interior do planeta, no núcleo, abrange toda a superfície terrestre (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000) e se comporta igualmente como uma barra magnetizada, com uma inclinação de  $11^{\circ}$  do eixo de rotação da Terra e com seus campos elementares atraindo seus opostos. Nesse sentido, para que uma agulha de bússola possa girar sob a influência do magnetismo terrestre, ela precisa rotacionar na direção dos campos elementares opostos (PRESS et al., 2006). Dessa forma, o polo magnético da bússola aponta para o inverso do polo magnético geográfico, ou seja, o polo Norte do ímã constituído na bússola aponta aproximadamente na direção do polo Sul geomagnético, porque a extremidade pela qual as linhas do campo magnético do ímã saem (polo Norte) é atraído pela entrada

das linhas do campo magnético da Terra (polo Sul) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2000). Sendo assim, as linhas de campo geomagnético atuam como um campo magnético com dois pólos (dipolar) (PRESS et al., 2006). Como resultado, tanto os seres humanos quanto outros animais desenvolveram estratégias para adaptar-se ao campo magnético (GROTZINGER JOHN; JORDAN, 2013). Diversos animais, como aves marinhas, baleias, tartarugas marinhas e certas bactérias, utilizam o campo magnético como um guia para a navegação, com base em sistemas sensoriais compostos por pequenos cristais de magnetita que se alinham com as linhas de campo geomagnético (GROTZINGER JOHN; JORDAN, 2013). De acordo com Sales (2011), o campo magnético também é capaz de regular a velocidade de movimento dos íons presentes na seiva bruta dentro dos vasos condutores das plantas, o que pode resultar tanto em uma aceleração quanto em uma desaceleração do processo de germinação dos vegetais. Ademais, o campo magnético presente na superfície terrestre pode ter um efeito constante tanto nos organismos vivos como nos sistemas que sustentam a vida na Terra (UMUARAMA; KAMAL; BRUNA, 2008). Um exemplo disso é a defesa contra a radiação dos ventos solares (GROTZINGER JOHN; JORDAN, 2013). Esse escudo é formado pelas linhas magnéticas do campo magnético da Terra que se originam do núcleo externo e se expandem pela crosta, constituindo uma barreira magnética que impede a entrada de partículas carregadas do sol, as quais seriam letais para os seres vivos e para a atmosfera, já que poderiam destruir a camada de ozônio e a vida na Terra (GROTZINGER JOHN; JORDAN, 2013). Portanto, a proteção gerada pelas linhas de campo ocasionam uma convergência de partículas carregadas nos pólos geográficos, pois os elétrons dessas partículas seguem as linhas de campo, o que se intensifica nos polos gerando uma cortina luminosa conhecida como aurora boreal.

### 3.3 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

#### 3.3.1 Fonte geradora de ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas são resultantes da união dos campos elétricos e magnéticos, os quais se manifestam sempre que há fluxo de corrente elétrica em dispositivos como linhas de transmissão, distribuição, cabos e fiação residencial. No entanto, a intensidade desses campos é maior próximo à fonte e diminui conforme aumenta a distância (PROFISSIONALIZANTE, 2017). O espectro das ondas eletromagnéticas abrange várias frequências, sendo que apenas uma fração é composta pela luz visível (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Dentre essas ondas estão as de rádio, micro-ondas, raios infravermelhos, luz ultravioleta, raios-X e raios gama. (ROBINSON FRANK NEVILLE H., 2023). O conjunto de comprimentos de onda que o olho humano é capaz de captar é conhecido como espectro de luz visível, e normalmente abrange a faixa de 380 a 700 nanômetros. O Sol é a fonte primária de luz visível que é percebida pelos nossos olhos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). As ondas de rádio extremamente longas fazem parte do espectro eletromagnético. Quando captadas por um receptor de rádio, essas ondas são convertidas em vibrações mecânicas no alto-falante, criando as ondas sonoras

que podemos ouvir (CIENTÍFICAS, 2010). Já as micro-ondas estão localizadas na extremidade de frequência mais alta do espectro de rádio e são diferenciadas das ondas de rádio por meio das tecnologias utilizadas para acessá-las, como os fornos de micro-ondas e os receptores de GPS (CIENTÍFICAS, 2010). O controle remoto utiliza ondas de luz infravermelha para mudar de canal na TV, que estão além do espectro visível de luz. Já a luz ultravioleta tem comprimentos de onda mais curtos que a luz visível e o Sol é uma fonte de radiação ultravioleta. Outras ondas eletromagnéticas, como os raios X e os raios gama, são produzidas por fontes atômicas ou nucleares (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

### 3.3.2 Ondas eletromagnéticas: O que são?

As ondas eletromagnéticas são resultado da interação entre campos elétricos e magnéticos que variam com o tempo (CIENTÍFICAS, 2010). Esta interação foi primeiramente explicada pelas equações do físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), que descrevem como as oscilações dos campos elétrico e magnético se propagam pelo espaço na forma de uma onda (CALCADA; SAMPAIO, 2012). Quando há uma variação no campo elétrico, é gerado um campo magnético correspondente, e vice-versa, formando um ciclo contínuo de oscilações que se propagam no espaço à velocidade da luz (ROBINSON FRANK NEVILLE H., 2023). Portanto, podemos dizer que a luz (raio luminoso) é a propagação de uma onda eletromagnética (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

### 3.3.3 Propriedades das ondas eletromagnéticas

Propriedade 1: A onda transversal é caracterizada pela perpendicularidade dos campos elétrico e magnético em relação à direção de propagação da onda. Em outras palavras, os campos  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  estão dispostos em um plano perpendicular à direção de movimento da onda (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

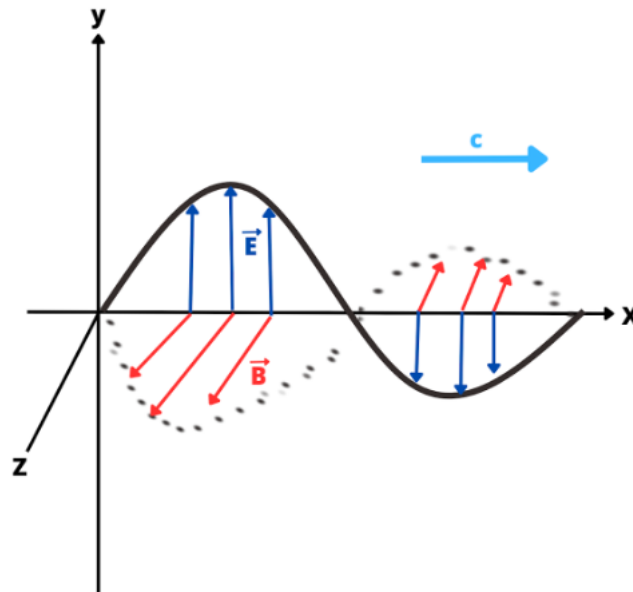
Propriedade 2: A orientação do campo elétrico é perpendicular à do campo magnético (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Propriedade 3: O resultado do produto vetorial entre  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  está direcionado ao longo da direção de propagação da onda (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Propriedade 4: Os campos oscilam de forma senoidal, o que é típico de ondas transversais. Além disso, eles possuem a mesma frequência e estão em fase (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Com base nas características mencionadas anteriormente, os campos elétricos ( $\vec{E}$ ) e magnéticos ( $\vec{B}$ ) são representados por funções senoidais (equação 3.1 e equação 3.2), onde o campo elétrico oscila na direção do eixo  $y$  e o campo magnético oscila na direção do eixo  $z$ , sendo ambas simultaneamente perpendiculares (CALCADA; SAMPAIO, 2012). Isso pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Onda eletromagnética representada pela oscilação do campo elétrico  $\vec{E}$  e do campo magnético  $\vec{B}$  no plano do eixo  $x$  com velocidade  $c$ .



Fonte: representação do campo eletromagnético (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)

Os campos elétricos e magnéticos podem ser escritos matematicamente como as equações 3.1 e equação 3.2.

$$E = E_m \times \text{sen}(kx - \omega t) \quad (3.1)$$

$$B = B_m \times \text{sen}(kx - \omega t) \quad (3.2)$$

A polarização da luz ocorre quando as ondas eletromagnéticas que formam a luz são orientadas em uma única direção, diferentemente da luz não polarizada que vibra em todas as direções (LKHAMKHUU et al., 2020). Esse processo pode acontecer naturalmente por meio da reflexão, refração ou dispersão da luz, ou por meio do uso de filtros polarizadores que geram a polarização artificialmente (HECHT, 2002). A polarização da luz se refere à direção das ondas eletromagnéticas que compõem a luz. Se o campo elétrico permanecer paralelo a uma linha perpendicular à direção de propagação, dizemos que a onda está linearmente polarizada (TIPLER; MOSCA, 2000). Ondas produzidas por várias fontes geralmente não são polarizadas, pois seus campos elétricos variam aleatoriamente devido à falta de correlação entre os átomos individuais que produzem a luz (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). No entanto, a polarização das ondas pode ser criada através de dispositivos como antenas dipolo elétrico (TIPLER; MOSCA, 2000). Por exemplo, a diferença na orientação das antenas de televisão entre Inglaterra e Estados

Unidos se deve à polarização das ondas eletromagnéticas que transportam o sinal de TV (HECHT, 2002). As antenas inglesas são projetadas para receber ondas polarizadas verticalmente, com o campo elétrico oscilando na vertical, enquanto as americanas recebem ondas polarizadas horizontalmente. Para que a antena receba o sinal corretamente e produza corrente, é necessário que esteja alinhada com a polarização das ondas transmitidas (HECHT, 2002).

### 3.4 RELAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO APLICADO AOS VEGETAIS

Quando as plantas são expostas a uma fonte geradora do campo magnético diversos efeitos podem ser verificados: primeiro, a germinação é um processo em que o embrião da semente entra em estado ativo, permitindo a entrada de água na semente e estimulando os processos de hidratação dos tecidos e a respiração celular (CID; TEIXEIRA, 2017). A aplicação prévia do campo magnético nas sementes tem o efeito de quebrar a dormência do tegumento (FILHO et al., 2018) e aumentar a taxa de germinação (JÚNIOR et al., 2020). Portanto, o tratamento magnético resulta em um tempo de germinação significativamente menor. Segundo, estimula as atividades proteicas e enzimáticas em comparação com plantas não tratadas (ULGEN; YILDIRIM; TURKER, 2017). Terceiro, o campo magnético promove a estimulação do crescimento radicular durante as primeiras horas de germinação (BALDERA et al., 2022) e quarto, o campo magnético exerce influência sobre a velocidade de movimento dos íons presentes na seiva bruta que circula pelos vasos condutores das plantas, o que pode resultar na aceleração ou desaceleração da germinação do vegetal (SALES, 2011). Dessa forma, o campo magnético pode afetar os vegetais de diferentes formas, e a intensidade do campo é um fator determinante para as mudanças observadas. Por exemplo, foi demonstrado que um campo magnético de 3500 Gauss (0,35 T) pode alterar as propriedades físico-químicas da água em experimentos (ARGOLO et al., 2016). Em outros estudos, o uso de um ímã estático com intensidade de  $50mT$  (0,05T) durante 5 horas consecutivas, foi capaz de acelerar o crescimento radicular e aumentar o caule das sementes (BALDERA et al., 2022).

A literatura também mostra que, o campo magnético pode afetar outras estruturas além dos vegetais, como a recristalização de NaCl (SALES; FONSÊCA, 2021) e a capacidade de deslocar íons de um solo salinizado mais rapidamente a partir de uma solução com cloreto de cálcio (SOUZA et al., 2018). Além disso, estudos mostram que o campo magnético pode ter um efeito positivo no crescimento da raiz de sementes de cereais, como constatado por Martinez, Florez e Carbonell (2017) ao utilizar um campo magnético com intensidade de  $125mT$  (0,125T). Outras pesquisas também relatam que um campo magnético estático de  $50mT$  (0,05T) aplicado durante 5 horas consecutivas pode acelerar o crescimento radicular e aumentar o caule das plântulas (BALDERA et al., 2022). A intensidade do campo magnético também pode modificar as propriedades físico-químicas da água, como observado com o campo magnético de 3500 Gauss (0,35T) em um estudo realizado por Argolo et al. (2016).

### 3.5 *MIMOSA TENUIFLORA* (WILLD.) POIR.

A *Mimosa tenuiflora*, também conhecida como jurema-preta, foi selecionada por ser uma espécie arbórea nativa da Caatinga e por ser encontrada em áreas de clima predominantemente seco, como é o caso do Nordeste brasileiro (NEMA, 2019). Além disso, outro fator que contribuiu para sua escolha é que suas sementes apresentam dormência do tipo impermeabilidade do tegumento à água, o que é um mecanismo eficiente para garantir a sobrevivência e a perpetuação da espécie. No entanto, isso pode ser um fator limitante à sua propagação, já que apenas pequenas porcentagens das sementes germinam em condições naturais (CARVALHO, 2019). A espécie pertence à família Fabaceae e é uma árvore semidecídua, que pode atingir até 7 metros de altura e 30 centímetros de diâmetro à altura do peito na idade adulta (NEMA, 2019). Suas folhas são compostas, alternas e bipinadas, com 4 à 7 pares de pinas medindo de 2 à 4 centímetros de comprimento (CARVALHO, 2019). As inflorescências são espigas isoladas, com flores brancas e um cheiro característico, medindo de 4 a 8 centímetros de comprimento. Seu fruto é uma vagem pequena, que se abre tardiamente em múltiplas articulações, medindo entre 2,5 à 5 centímetros de comprimento. Já as sementes são pequenas, ovais, achatadas e possuem coloração castanho-clara, medindo de 3 à 4 milímetros de comprimento (CARVALHO, 2019).

Essa espécie possui diversas utilidades, como o potencial em regenerar solos erodidos e a contribuição em aumentar o teor de nitrogênio no solo (BENEDITO, 2012), permitindo que seja utilizada na recuperação de áreas degradadas, como já ocorre no Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) (NEMA, 2019). As folhas e os frutos são utilizados como pasto para bovinos e caprinos (LIMA, 1996). A madeira da jurema-preta possui alta resistência e é aplicada em construções civis de pequeno porte, móveis rústicos e estacas (BENEDITO, 2012). Ela também é utilizada como fonte de energia (carvão vegetal e lenha), devido à sua boa estabilidade dimensional e resistência em comparação com outras madeiras (ROCHA et al., 2015), além de apresentar alta resistência a fungos como o *Ganoderma* sp., que causa podridão branca (NOGUEIRA; CASTRO; ARAUJO, 2021). A *M. tenuiflora* (jurema-preta) também é uma planta alucinógena utilizada por índios do Nordeste do Brasil para tratar infecções, lesões, queimaduras e eczemas (SOUZA et al., 2008). A partir disso, é de suma importância que mais pesquisas venham a contribuir com técnicas que possibilitem a formação de mudas de qualidade com métodos mais eficientes, possibilitando ao produtor rural um avanço ecológico que permite a otimização do tempo de colheita, sendo esta, uma fonte econômica associada à aplicação do CM.

### 3.6 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO MÉDIO

A Espectroscopia no Infravermelho (IR, do inglês Infrared), também conhecida como espectroscopia no infravermelho próximo, é uma ferramenta fundamental na análise qualitativa e quantitativa de variados compostos moleculares (LIMA, 1996). Essa técnica se baseia na faixa de energia do espectro eletromagnético de absorção na região do infravermelho, que



provoca mudanças nos estados vibracionais e/ou rotacionais das moléculas. (SIMOMUKAY ELTON; FERRARI, 2022). Essa energia é absorvida pelas moléculas, permitindo a realização de análises espectrais (SIMOMUKAY ELTON; FERRARI, 2022).

O espectro infravermelho compreende valores de número de onda que variam de 12.800 a  $10\text{cm}^{-1}$  no espectro eletromagnético, e é dividido em três regiões distintas: infravermelho próximo (NIR, do inglês Near Infrared), infravermelho médio (MIR, do inglês Middle Infrared) e infravermelho distante (FAR, do inglês Far Infrared), cada uma com suas próprias características espectrais (FORATO et al., 2010). A técnica de Espectroscopia no Infravermelho (IR) tem sido amplamente reconhecida como uma ferramenta promissora devido às suas inúmeras vantagens, como a não necessidade de reagentes, a facilidade de execução, o baixo custo e possibilidade de usar a amostra em diversos estados (FORATO et al., 2010). Na literatura existem diversos exemplos da utilização da espectroscopia no infravermelho em diferentes áreas. Por exemplo, SILVA (2015) destaca a aplicação dessa técnica na classificação de espécies de peixes de água doce e água salgada, incluindo a tilápia. Além disso, Lima et al. (2020) avaliou o desempenho do policloreto de vinila (PVC) como fase sensora para detecção de  $17\beta$  – *estradiol* em água utilizando espectroscopia no infravermelho médio. Outra aplicação relevante é a avaliação toxicológica de plântulas de *Lactuca sativa* L. (alface) induzida por sulfato de níquel com a técnica de espectroscopia no infravermelho ATR-FTIR (SILVA, 2021).

### 3.7 ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS

A técnica estatística conhecida como Análise de Componentes Principais (PCA, do inglês, Principal Component Analysis) é uma ferramenta amplamente utilizada em diversas áreas científicas para análise de dados (KARAMIZADEH et al., 2013). O objetivo dessa análise consiste em identificar a base mais significativa para a reexpressão dos dados, permitindo assim, que a estrutura oculta dos dados seja revelada e o ruído filtrado (KURITA, 2019). A PCA pode proporcionar a redução de dimensionalidade, compactação de dados, extração de recursos e a visualização de dados (KURITA, 2019). A computação das principais componentes é simplificada por meio da resolução de um problema que envolve autovetores e autovalores de uma matriz simétrica e positiva (MISHRA et al., 2017).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 AS SEMENTES

As sementes da *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta) foram obtidas por meio de uma doação da Rede de Sementes do Projeto de Integração do São Francisco e do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA).

Inicialmente foi realizada uma análise visual, no qual consideramos as sementes com perfurações (Figura 2b) como uma semente imprópria para a germinação, e as sementes sem deformações (Figura 2a) como sementes apropriadas para o experimento, das quais 500 passaram pelo procedimento de quebra da dormência.

Figura 2 – Análise de sementes para o experimento



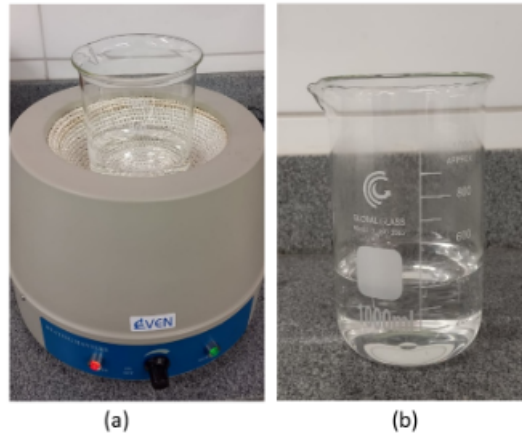
Sementes que foram avaliadas como saudáveis e propícias para o experimento (a); sementes descartadas e avaliadas como impróprias para a germinação devido às más formações encontradas nas mesmas (b).  
Fonte: elaborado pela autora (2023)

As sementes selecionadas foram submetidas à superação da dormência por imersão em água aquecida a  $80^{\circ}\text{C}$  durante 2 minutos conforme a instrução 105 descrita nas Regras para Análise de Sementes (REGRAS, 2009).

A água utilizada na quebra da dormência foi fornecida pelo Laboratório de Química, onde foi destilada no aparelho tipo Pilsen (SOLAB®, SL-71/5) e mantida no Laboratório de Matemática, Energia e Física em um barrilete de pvc com capacidade para 30 litros da substância. O aquecimento da água destilada iniciou-se com a elevação da temperatura de 500 mililitros de água dentro de um béquer de vidro de capacidade para 1000 mililitros (BORO 3. 3 ISO 3585). Esse processo foi desenvolvido na manta aquecedora (N/S 20150313) até atingir a temperatura desejada ( $80^{\circ}\text{C}$ ) como demonstrado na Figura 3.

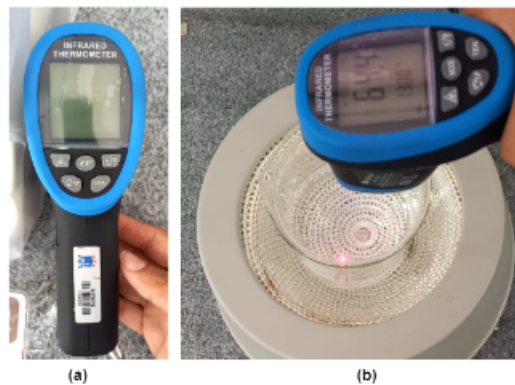
A medição da temperatura da água foi realizada por meio de um termômetro infravermelho (HoldPeak®, HP-1500) que possui uma faixa de medição de  $-50^{\circ}\text{C}$  até  $1500^{\circ}\text{C}$  (Figura 4). O béquer contendo o líquido foi retirado da manta ao atingir a temperatura ideal, e as sementes foram despejadas na água aquecida durante um período de dois minutos.

Figura 3 – Aquecimento da água destilada.



Manta aquecedora com béquer (a); Béquer com 500 mililitros de água destilada (b).  
Fonte: elaborado pela autora (2023)

Figura 4 – Análise da temperatura da água.



Termômetro infravermelho (a); Termômetro medindo a temperatura da água (b).  
Fonte: elaborado pela autora (2023)

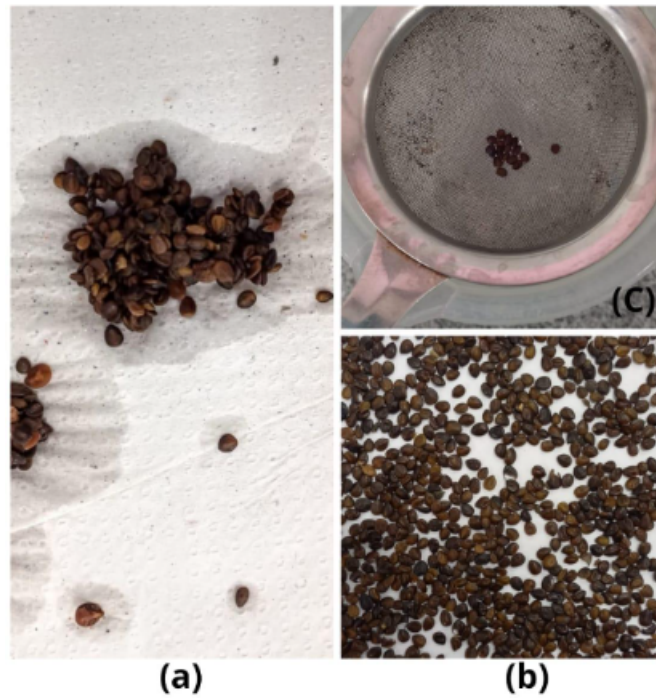
## 4.2 SECAGEM E SELEÇÃO DAS SEMENTES

Após a quebra de dormência, as sementes foram filtradas em uma peneira de aço com auxílio de um béquer de polietileno e colocadas em papéis toalha para retirada do excesso de água (Figura 5). A seleção se deu pelas características visuais das sementes, sendo separadas 400 sementes com aspectos homogêneos.

As características para distinguir a qualidade das sementes foram baseadas na cor do tegumento e sua dureza. Visto que, algumas sementes absorveram água durante o processo da quebra de dormência e ficaram túrgidas, sendo essas desconsideradas do experimento. Entretanto, as que tinham aparência uniforme, foram mantidas.

Em seguida, as sementes com aspectos homogêneos foram colocadas em placas de petri

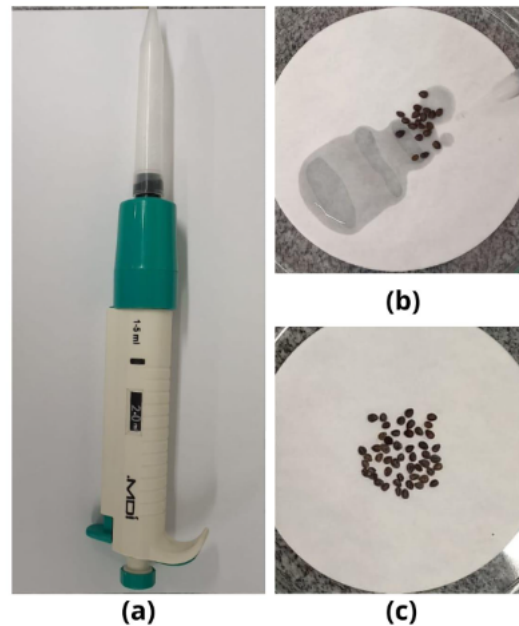
Figura 5 – Sementes após a quebra de dormência.



Secagem das sementes (a) Seleção das sementes homogêneas. (b) Filtração das sementes (c).  
Fonte: elaborado pela autora (2023)

de 140 milímetros com papel filtro qualitativo (CELAB®) de 80 gramas e 11 centímetros de diâmetro (Figura 6c). Foram distribuídas 50 sementes em cada placa, totalizando 8 placas e 400 sementes. Após esse processo, as placas receberam 3 mililitros de água destilada com o auxílio de uma micropipeta de volume variável de 1,0 – 5,0 mL, semi-autoclavável (MDI® VIP - 1100) para dar início a germinação conforme a Figura 6.

Figura 6 – Adição de água em sementes na placa de Petri.



Micropipeta volumétrica (a); Adição de água nas sementes (b); Placa com sementes após a quebra da dormência (c).  
 Fonte: elaborado pela autora (2023)

#### 4.2.1 Disposição das placas na incubadora BOD

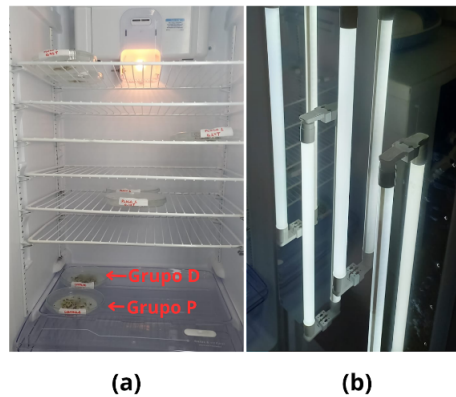
As placas foram colocadas em uma câmara de germinação tipo B.O.D (Demanda Bioquímica de Oxigênio) (Lucadema®, LUCA-161/01) com fotoperíodo de 12 horas e temperatura controlada à  $25^{\circ}C$ . As placas que receberam a mesma intensidade do campo magnético (CM) foram dispostas em uma única grade para evitar a atração magnética. A distribuição das mesmas foi organizada em grupos, o grupo que ficou mais próximo à fonte luminosa foi denominado de grupo P e o grupo que permaneceu distante à fonte de luz recebeu o nome de grupo D. Cada grupo recebeu uma placa com intensidades de campos magnéticos diferentes, sendo: 0, 18*Tesla*, 0, 24*Tesla* e 0, 45*Tesla*, além do grupo controle. Conforme mostra a Figura 7.

#### 4.2.2 Escolha da intensidade do Campo Magnético e dos ímãs

O experimento foi conduzido com ímãs de neodímio de diferentes intensidades. Nesse sistema, escolhemos 3 níveis de intensidades, sendo elas, 0, 18 Tesla, 0, 24 Tesla e 0, 45 Tesla (Figura 8) para comparação de resultados. O ímã de neodímio foi escolhido devido às suas propriedades magnéticas, sendo este, um ímã permanente de alta durabilidade, eficácia e de baixo custo.

Na Figura 9 podemos perceber que os ímãs foram acoplados na base das placas de petri, resultando em 4 grupos com duas placas e seus respectivos ímãs, exceto, o grupo que não recebeu nenhuma intensidade, sendo titulado como grupo teste ou controle.

Figura 7 – Placas na câmara de germinação.



As placas composta pelo grupo P e grupo D (a); Fonte de luz disposta na porta da BOD (b).  
Fonte: elaborado pela autora (2023)

Figura 8 – Ímãs de neodímio.



A figura (a) possui um ímã de intensidade  $0,18T$  e dimensões  $(12,5 \times 2mm)$ ; a figura (b) representa um ímã de intensidade  $0,24T$ , e dimensões  $(15 \times 5mm)$ ; a figura (c) demonstra um ímã de intensidade  $0,45T$ , e dimensões  $(5 \times 3mm)$ .

Fonte: elaborado pela autora (2023)

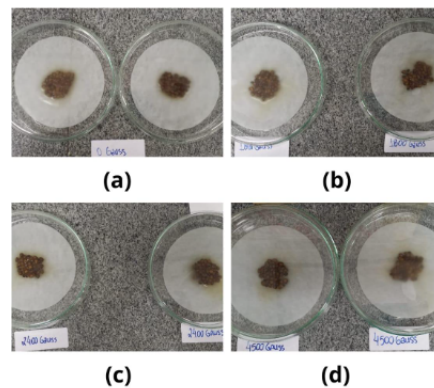
### 4.2.3 Adição de água

A água era adicionada à medida que as plântulas à absorviam, nesse caso, eram repostos de 1 a 3 mililitros de água destilada todos os dias apenas nas placas que apresentavam redução da umidade do papel filtro.

## 4.3 ANÁLISES BIOMÉTRICAS DAS PLÂNTULAS

As análises das estruturas externas das plântulas foram realizadas após o 4<sup>o</sup> dia do experimento, quando todas as placas apresentavam cerca de 90% da germinação total. A germinação

Figura 9 – Placas de petri distribuídas em grupos.

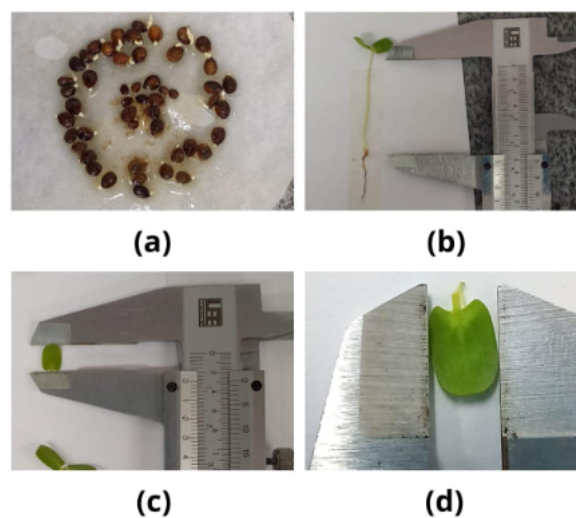


A figura demonstra 4 grupos com (a) 2 placas, sendo um grupo controle e (b) grupos com ímãs de intensidade 0, 18*T*, (c) 0, 24*T* e (d) 0, 45*T*.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

era contada manualmente a partir da separação das sementes que apresentavam a primeira parte do embrião (radícula) das que ainda não tinham germinado. A classificação da germinação foi dada em porcentagem, desde os primeiros dias até a completa germinação dos embriões, sendo estabelecido de 0 à 100% de acordo com o número total de sementes (50) em cada placa. Nesse sentido, o primeiro dia não constava com sementes germinadas, logo, recebia 0% na germinação, no segundo dia em diante as sementes eram contadas e classificadas de acordo com o processo germinativo (Figura 10a).

Figura 10 – Análises das plântulas e do processo germinativo.



(a) Separação das sementes germinadas para verificar a porcentagem de germinação de cada placa ; (b) medição do hipocótilo com o paquímetro ; (c) medição longitudinal da folha ; (d) medição transversal da folha.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Após a germinação, foram sorteadas 5 amostras de plântulas de cada placa durante 7 dias

para a seguinte avaliação: comprimento da radícula e hipocótilo, e comprimento X largura das folhas. As análises foram efetuadas com o auxílio de uma fita aderente para que a radícula e o hipocótilo ficassem na vertical para facilitar a medição com o paquímetro inox (LEE®, 150mm), que possui uma aferição de 0,02mm (Figura 10b). As folhas foram destacadas do hipocótilo para facilitar o manuseio, e em seguida, foram medidas as seções longitudinais e transversais de todas as folhas de cada amostra (Figura 10).

#### **4.3.1 Análises espectroscópica das plântulas (Infravermelho Médio - UATR)**

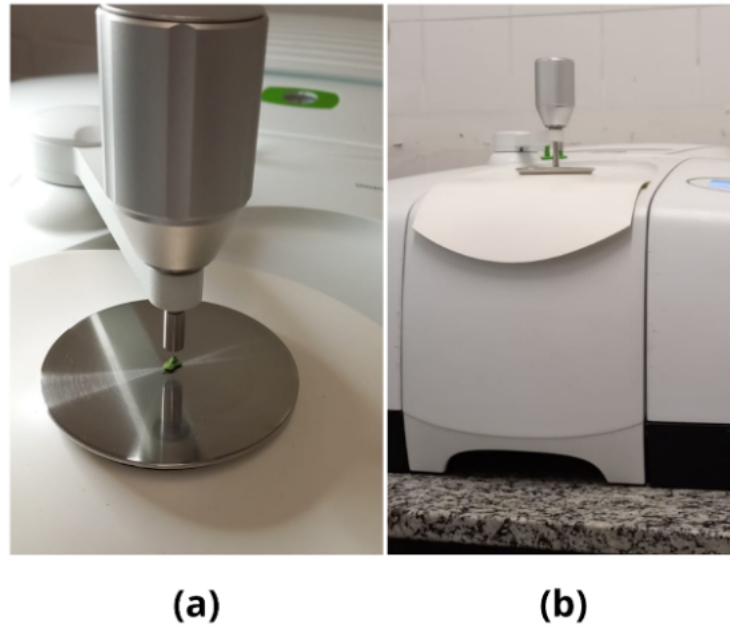
Durante 5 dias consecutivos, foram retiradas 5 amostras de cada placa que continham diferentes intensidades de campo magnético (0, 18T, 0, 24T e 0, 45T), totalizando 200 plântulas analisadas. Cada amostra utilizada no experimento foi coletada de placas com diferentes intensidades de campo magnético, incluindo um grupo controle, e cada placa continha 50 sementes. O experimento foi realizado em duplicata e a leitura foi feita diretamente nas partes da plântula (radícula, hipocótilo e folhas), com análises realizadas em intervalos de tempo por dias.

#### **4.3.2 Dados de leitura do infravermelho para identificação de moléculas e grupos funcionais presentes nas plântulas**

As análises espectrais das amostras foram realizadas em um espectrofotômetro de infravermelho, modelo Frontier da Perkin Elmer, utilizando o acessório Universal de Reflectância Total Atenuada (UATR). Os espectros foram adquiridos na região de  $4000 - 600\text{cm}^{-1}$ , resolução  $4\text{cm}^{-1}$  e 16 varreduras. O branco utilizado foi o ar e as medições foram realizadas diretamente nas amostras, sem pré-tratamento (Figura 11). Foram utilizadas a média de três medidas (radícula, hipocótilo e folhas) em 5 plântulas, totalizando 15 repetições espectrais por tratamento durante 5 dias. Os grupos funcionais presentes nas biomoléculas em amostras de tecidos vegetais, podem ser observadas nos espectros na região do infravermelho de menor número de onda correspondente a curvas e vibrações do esqueleto de carbono ( $600 - 1.450\text{cm}^{-1}$ ); as regiões das bandas protéicas, amida I e amida II estão entre  $1.500 - 1.800\text{cm}^{-1}$  e a região de número de onda mais alto ( $2.550 - 3.500\text{cm}^{-1}$ ) está relacionado aos alongamentos de vibrações como *SH*, *CH*, *NH* e *OH* (D'SOUZA et al., 2008); (BAKER et al., 2014); (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017).



Figura 11 – Análise espectroscópica das amostras biológicas.



(a) Acessório UATR e (b) Espectrofotômetro no infravermelho médio;  
Fonte: elaborado pela autora (2023)

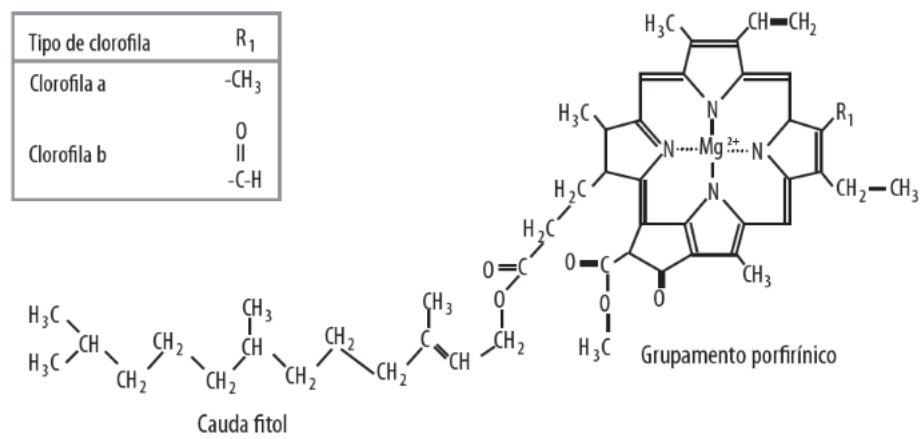
Todos os modos vibracionais das ligações químicas observadas estão presentes na molécula de clorofila (Figura 12). As diferentes regiões da molécula apresentam grupos funcionais distintos. Na molécula é possível observar uma cauda apolar, contendo basicamente apenas hidrocarbonetos. A cabeça polar da molécula apresenta ligações polares de éster, éter, amidas e alcenos ressonantes (BARDWELL; DIGNAM, 1987).

#### 4.3.3 Análise estatística

Os experimentos foram conduzidos utilizando um delineamento inteiramente casualizado, e os resultados obtidos foram expressos em médias. As diferenças significativas entre essas médias foram consideradas para um valor de  $p < 0,05$ , utilizando o teste t para análise de dados. Para aumentar a precisão das conclusões foram realizadas 2 repetições para cada intensidade do campo magnético analisada.

A análise exploratória das amostras foi conduzida utilizando os dados espectrais de 200 plântulas. A avaliação qualitativa desses dados permitiu a identificação da formação de agrupamentos de amostras, o que indicaria se há semelhanças ou diferenças na germinação das plantas quando expostas a diferentes intensidades de campo magnético. Para isso, utilizou-se a análise por componentes principais (PCA, do inglês, Principal Component Analysis). Todos os dados foram tratados usando o programa The Unscrambler® x, versão 10.2 e o Matlab® (Matrix Laboratory).

Figura 12 – Estrutura química da clorofila a e b.



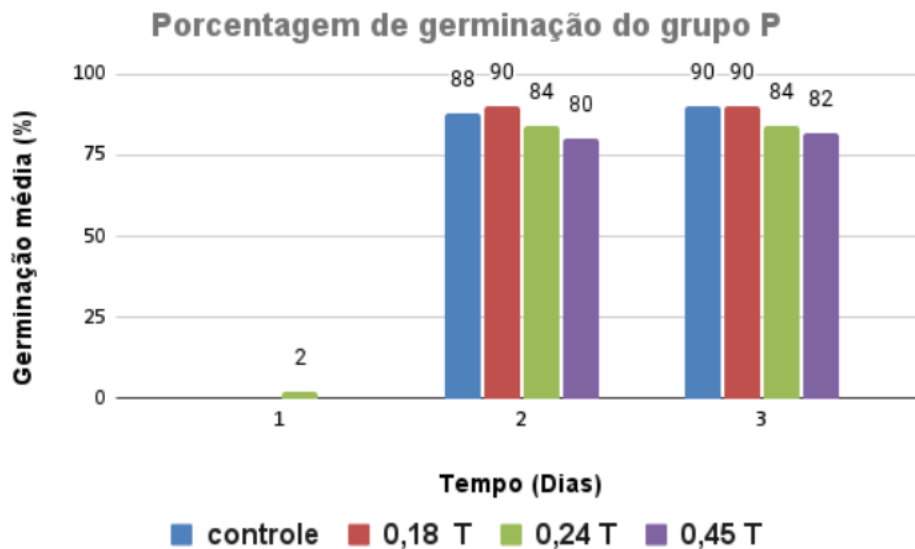
Fonte: (CARVALHO; RECCO-PIMENTEL, 2019)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 PORCENTAGEM DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES

Durante os três primeiros dias do experimento, a germinação das sementes foi avaliada a cada 24 horas em cada placa com e sem o campo magnético (grupo controle). Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem e organizados em gráficos separados de acordo com a posição das placas na incubadora BOD: as placas mais próximas à fonte luminosa foram denominadas grupo P e as mais distantes, grupo D. Os grupos P (Figura 13) e D (Figura 14) foram destacados nos gráficos de acordo com as intensidades do campo magnético: as placas que receberam o campo magnético com a intensidade de  $0,18T$  foram destacadas em vermelho, as placas com intensidades  $0,24T$  estão representadas em verde e as com intensidade  $0,45T$  em lilás. O grupo controle, que representa as placas sem o campo magnético, foi evidenciado com a cor azul, conforme a Figura 13.

Figura 13 – Porcentagem de germinação das sementes presentes no grupo P.



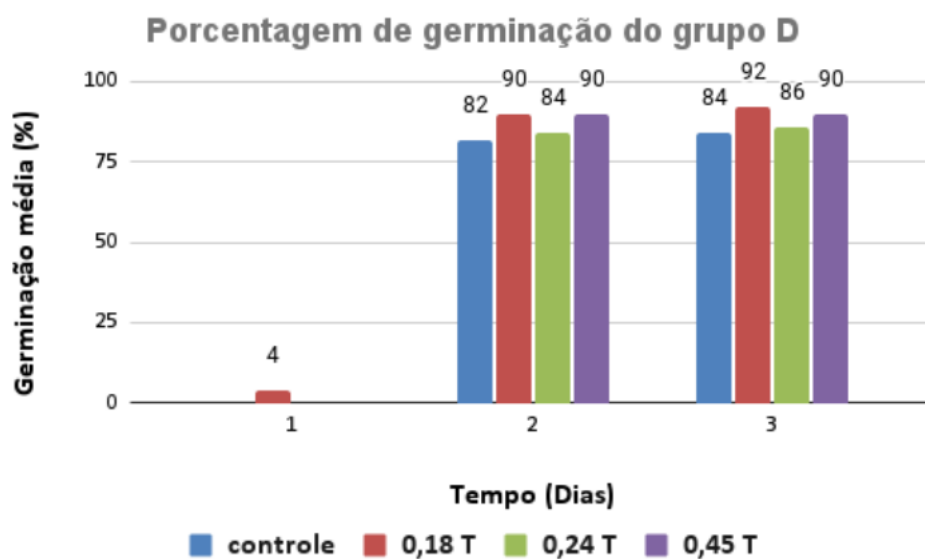
Germinação do grupo P com intervalos de 24 horas, representadas pelas cores: azul (placa controle -  $0T$ ), vermelha (placa com intensidade de  $0,18T$ ), verde (placa com intensidade de  $0,24T$ ), e lilás (placa com intensidade de  $0,45T$ ).

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Ao analisar a imagem da Figura 13 (placas do Grupo P), percebe-se que as sementes de *Mimosa t.* também tiveram uma resposta positiva em relação a germinação considerando as primeiras 48h do processo, a intensidade que melhor respondeu em 48h foi a de 0,18T, que é considerado um campo de baixa intensidade, a intensidade com pior desempenho foi a de 0,45T com apenas 80% de germinação para as mesmas horas de estudo. O estudo realizado por Matwijczuk, Kornarzynski e Pietruszewski (2012) estabeleceu uma relação entre o tempo de exposição e a intensidade do campo magnético, indicando que as sementes de girassol apresentam uma resposta positiva em relação a germinação quando um campo magnético de baixa intensidade é aplicado.

Isso indica que à medida que a intensidade do campo magnético aumenta, a quantidade total de sementes germinadas diminui. Com base nessas informações, pode-se concluir que as sementes de *Mimosa tenuiflora* também podem responder positivamente à exposição a campos magnéticos de baixa intensidade.

Figura 14 – Porcentagem de germinação das sementes do grupo D.

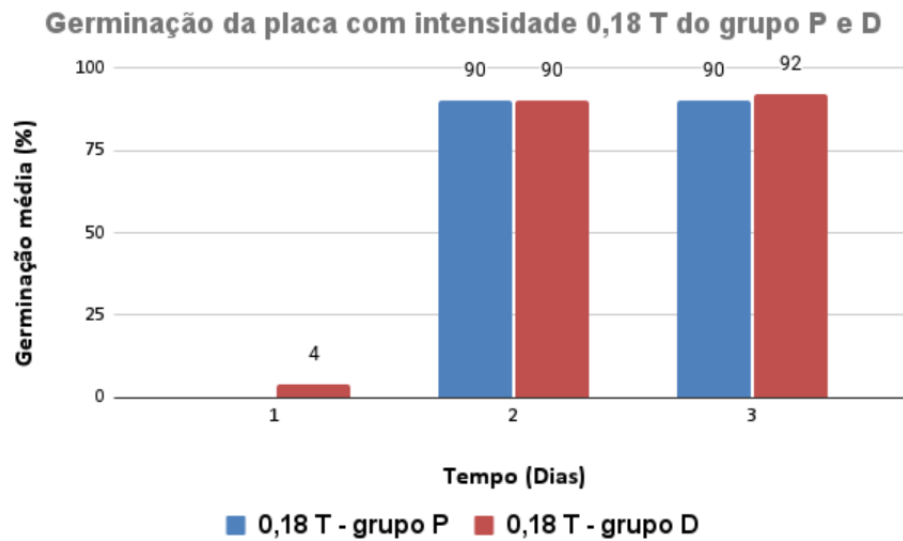


Germinação do grupo D com intervalos de 24 horas, representadas pelas cores: azul (placa controle - 0T), vermelha (placa com intensidade de 0,18T), verde (placa com intensidade de 0,24T), e lilás (placa com intensidade de 0,45T).

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Observando a Figura 14 (placas do Grupo D), percebe-se que as placas do grupo D reagiram melhor as aplicações do campo magnético, nesse grupo de placas, todas as intensidades tiveram uma reação positiva em relação a exposição do campo magnético, tendo como melhor resultado 0,18T (92%) e o pior resultado foi 0,24T (86%). A intensidade de 0,18T foi a que teve melhor desempenho, a germinação provocada por essa intensidade foi superior em ambos os grupos (P e D) quando comparada ao grupo controle (Figura 15).

Figura 15 – Porcentagem de germinação das sementes das placas com intensidade 0,18T do grupo P e D.



Grupo P e D com intervalos de 24 horas, representadas pelas cores: azul (placa com intensidade de 0,18T - grupo P) e vermelha (placa com intensidade de 0,18 T - grupo D).

Fonte: elaborado pela autora (2023)

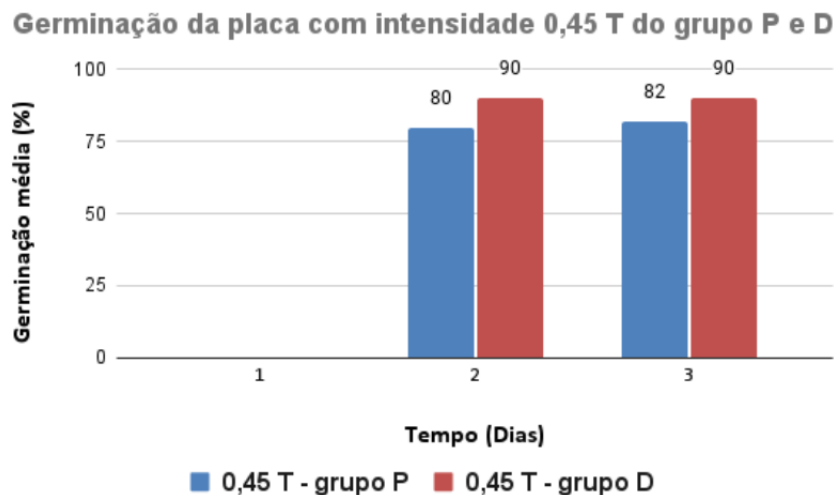
De acordo com a literatura científica (URETA-LEONES et al., 2021), os melhores resultados para a porcentagem de germinação foram obtidos com a menor intensidade do campo magnético. Outros estudos realizados por Filho et al. (2012) indicaram que o tratamento de sementes de *Lactuca sativa* L. (alface) com campos magnéticos constantes e de baixa intensidade resultou em um crescimento superior do grupo tratado em relação ao grupo controle. Isso justifica o fato de que, no segundo dia de experimento, as sementes tratadas com o campo magnético de menor intensidade (0,18T) germinaram primeiro.

No trabalho de Hakala-Yatkin et al. (2011), foi observado que o campo magnético de baixa intensidade atua no estágio denominado fotossistema II da fotossíntese, reduzindo o gasto energético necessário para minimizar os efeitos negativos do oxigênio singlete ( $1O^2$ ) no cloroplasto. Neste artigo, é proposto que o campo magnético possa atuar diminuindo o gasto energético necessário para reduzir os danos provocados pelo oxigênio singlete, fazendo com que a planta economize energia para que ela possa ser aplicada em outras funções, como por exemplo, o seu crescimento.

Possivelmente, um mecanismo semelhante (de redução de agentes estressantes) possa estar atuando no caso deste trabalho em relação à taxa de germinação, pois as sementes de *Mimosa tenuiflora* são fotoblásticas positivas, essas sementes precisam ser plantadas em superfície ou levemente cobertas com solo, permitindo que a luz penetre e estimule a germinação (CUNHA; FERREIRA; SILVA, 2021). Porém, para descobrir precisamente quais mecanismos estão atuando nesse processo demandam mais tempo e pesquisas. Além disso, nota-se que a taxa de germinação

das sementes que se encontram no grupo mais afastado da fonte luminosa é bem superior à do grupo controle.

Figura 16 – Porcentagem de germinação das sementes da placa com intensidade 0,45T do grupo P e D.



Porcentagem de germinação com intervalos de 24 horas, representadas pelas cores: azul (placa com intensidade de 0,45 T - grupo P) e vermelha (placa com intensidade de 0,45 T - grupo D).

Fonte: elaborado pela autora (2023)

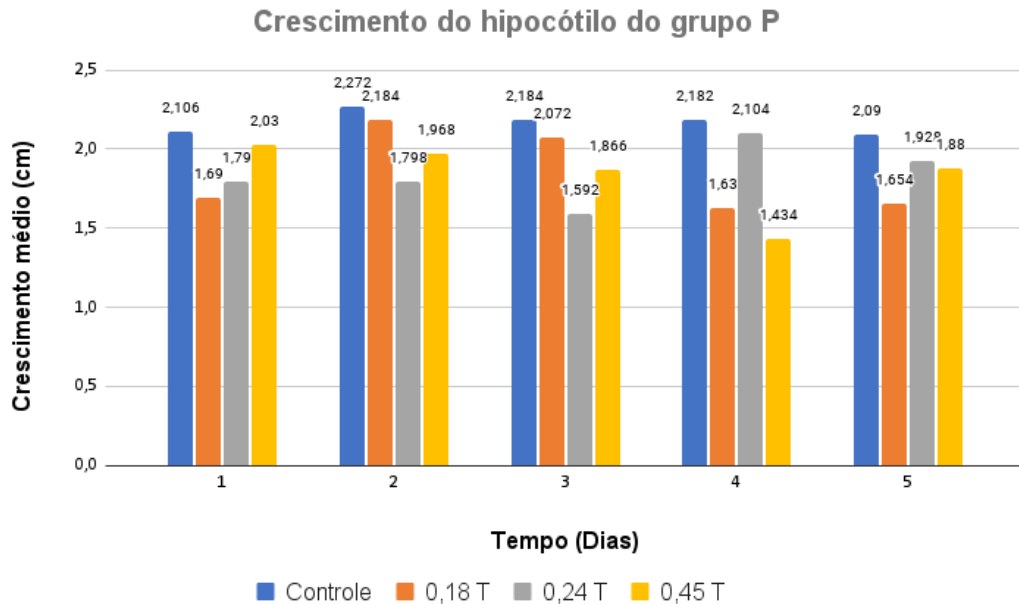
Quanto a placa com a intensidade de 0,45T do grupo D, verificou-se que a porcentagem de germinação (90%) permaneceu constante após 24 horas de experimento. No entanto, ela apresentou um resultado superior quando comparada à placa de mesma intensidade do grupo P (Figura 16), o que contradiz a literatura. Segundo Sales (2011), o aumento da intensidade do campo magnético deveria resultar em uma diminuição na taxa de germinação. Esses dados sinalizam um fator interessante, já que a única diferença entre o grupo P e o grupo D é a distância em relação à fonte luminosa da BOD. Surge, portanto, a questão: a distância em relação à fonte luminosa influencia a ação do campo magnético no metabolismo das sementes de *Mimosa tenuiflora*? Outra hipótese que demanda tempo e pesquisa para ser respondida.

## 5.2 ANÁLISES BIOMÉTRICAS

### 5.2.1 Crescimento do hipocótilo do grupo P

No quarto dia do experimento, iniciamos a medição dos hipocótilos e a realizamos por cinco dias consecutivos. Para cada placa, retiramos 5 amostras de plântulas e calculamos as médias diárias. Aplicamos o teste  $t$  ( $p < 0,05$ ) para todas as intensidades (0,18T, 0,24T e 0,45T) a fim de determinar se havia diferenças significativas entre as médias. Além disso, separamos os dados de acordo com a intensidade do campo magnético entre os grupos P e D, conforme mostrado nas Figuras 17 e Figura 21, respectivamente, para compará-los com os dados do grupo controle.

Figura 17 – Crescimento dos hipocótilos ao longo de cinco dias de análises mecânicas das amostras das placas presentes no grupo P.

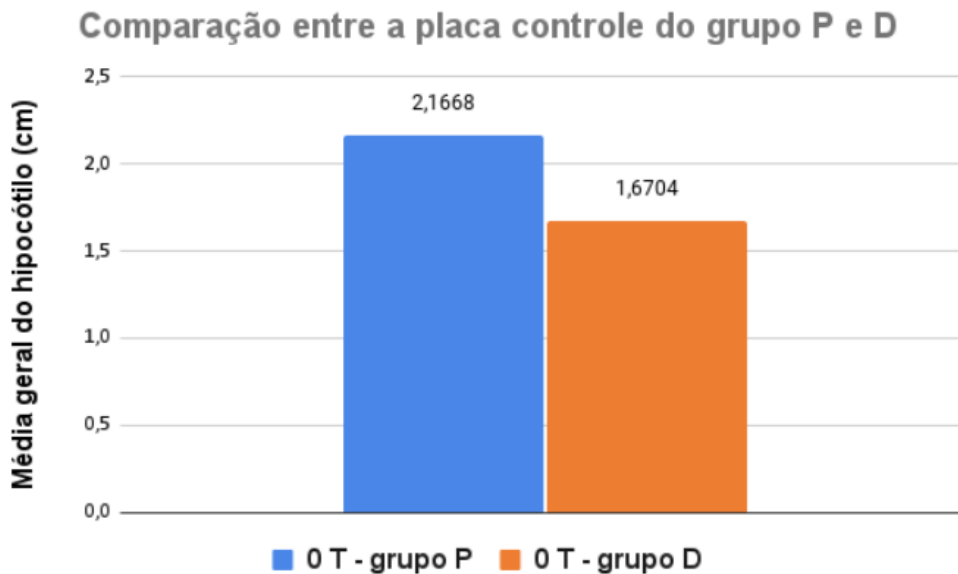


Crescimento dos hipocótilos no grupo P com campos magnéticos de intensidade  $0,18T$  (cor vermelha),  $0,24T$  (cor verde) e  $0,45T$  (cor lilás), em comparação com o grupo controle destacado em azul.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Observou-se que o crescimento médio do hipocótilo das placas do grupo P foi significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) do grupo controle para todas as intensidades. Em comparação com a placa controle ( $0T$ ), a placa com intensidade de  $0,18$  Tesla apresentou um crescimento  $17,3\%$  inferior, enquanto a placa com intensidade de  $0,24$  Tesla teve um crescimento médio  $17,6\%$  inferior e a placa com intensidade de  $0,45T$  apresentou uma diminuição de  $18\%$ . Os resultados do teste- $t$  nas três intensidades foram:  $p = 0,0147 < 0,05$  ( $0,18T \times 0T$ ),  $p = 0,0036 < 0,05$  ( $0,24T \times 0T$ ) e  $p = 0,0082 < 0,05$  ( $0,45T \times 0T$ ). Uma possível explicação para esse fenômeno é apresentada nas figuras a seguir Figura 18 e Figura 19.

Figura 18 – Comparação entre as médias do hipocótilo das placas sem campo magnético do grupo P e grupo D.



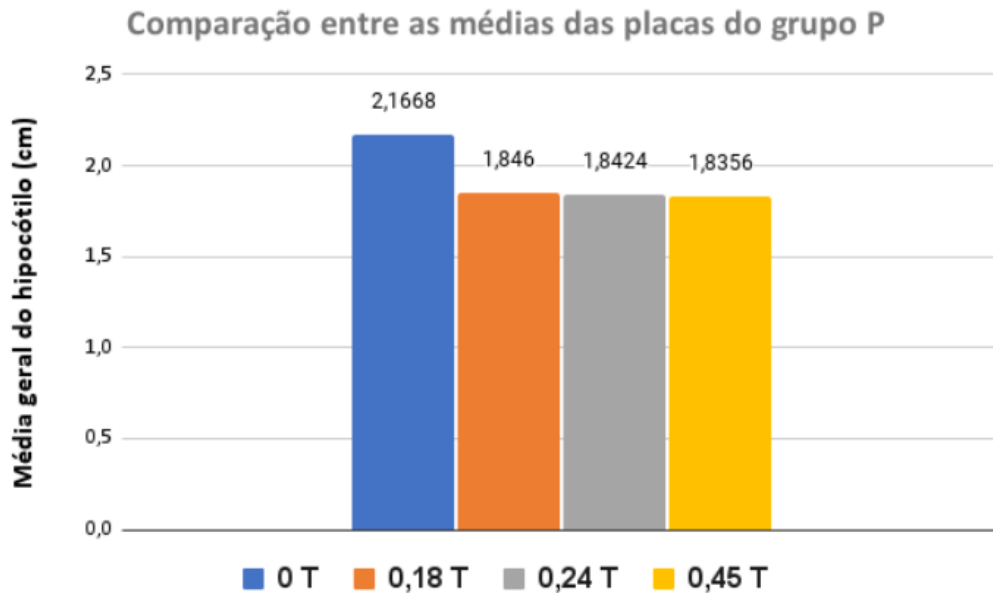
: elaborado pela autora (2023)

Para explicar o fenômeno que ocorreu nas placas do grupo P, foi necessário utilizar o gráfico que compara os dados dos dois grupos (P e D), e a exposição das médias foram posicionadas na extremidade superior (Figura 18 e Figura 19).

Ao aplicarmos o teste t para comparar as médias das placas sem campo magnético do grupo P e D, o resultado foi um  $p = 0,001603$  ao nível de significância de 5%. Ou seja, as médias realmente diferem entre si. Essa diferença entre as duas placas controle pode ser explicada pelo fato de uma estar mais próxima da fonte luminosa (grupo P) e a outra estar mais afastada (grupo D). Segundo o trabalho realizado por (GUIMARÃES, 2017), a distância entre a planta (*Humulus lupulus*) e a luminária colabora para atingir um maior PFFD (Ponto de Fluxo de Fótons por unidade de Duração), uma vez que a intensidade é inversamente proporcional ao quadrado dessa distância. O PFFD é uma medida importante para o crescimento e desenvolvimento de plantas sob luz artificial em ambientes controlados (nas mesmas condições deste trabalho). Como esse fator decai com o quadrado da distância, em tese, quanto mais próximo da fonte luminosa, mais PFFD a planta recebe e maior será o seu desenvolvimento. Isso explica o resultado obtido quando comparamos os dois grupos controle. Além desse, outro fator interessante ocorreu no grupo P (todas as placas que estavam próximas da fonte luminosa), conforme demonstra a Figura 19.



Figura 19 – Comparação entre as médias do hipocótilo de todas as placas do grupo P.



Fonte: elaborado pela autora (2023)

Pode-se observar que, curiosamente, os resultados das médias dos tratamentos em comparação com a média do grupo controle foram sempre inferiores, e diminuem a medida que a intensidade do campo aumenta. O único fator diferente nesse ambiente é o tratamento com os diversos níveis de campo magnético (0, 18T, 0, 24T e 0, 45T).

Segundo o trabalho de Hakala-Yatkin et al. (2011), o fato do grupo P estar mais próximo da fonte luminosa não deveria ser um fator que penalizasse o grupo tratado, pois, segundo o autor, a exposição do campo magnético deveria atuar para reduzir o excesso de oxigênio singlete, o que potencializaria o crescimento da plântula. O único fator que diferencia este trabalho do trabalho citado é a intensidade do campo magnético utilizado. No trabalho citado anteriormente, a intensidade está na faixa de  $2mT$  a  $160mT$ , enquanto que no presente trabalho a faixa de intensidade utilizada foi de  $180mT$  a  $450mT$ . Assim, uma possível explicação é que nessa faixa, considerada como de alta intensidade para as plântulas, o campo não consiga atuar na manutenção do oxigênio singlete. Entretanto, se apenas esse fator ocorresse, o valor médio esperado entre os tratamentos e o controle não deveria apresentar diferença estatisticamente significativa, pois a comparação entre o controle e as intensidades gerou os seguintes dados estatísticos:  $p_{0,18T} = 0,02287$ ,  $p_{0,24T} = 0,007951$  e  $p_{0,45T} = 0,014723$ , demonstrando que as médias são diferentes no nível de 5% de significância. Logo, existe outro mecanismo na planta que está atuando em seu estresse.

Segundo Lkhamkhuu et al. (2020), as plantas utilizam a maior parte da luz solar não polarizada para produzir carboidratos através do processo de fotossíntese. É importante destacar

que a luz não polarizada é composta por uma mistura aleatória de luz polarizada. Entretanto, segundo Hecht (2002), quando a luz passa por um ambiente que contém um campo magnético, ocorre um efeito denominado de **Efeito Faraday**. Esse efeito foi descoberto por Michael Faraday em 1845, quando ele observou que a luz propagada em um meio material pode ser influenciada pela aplicação de um campo magnético externo. Faraday descobriu que quando a luz se propaga em linha reta e atinge um pedaço de vidro, ela rotaciona quando um campo magnético externo forte é aplicado na mesma direção da propagação. Esse desvio sofrido pela luz é proporcional a intensidade do campo magnético (Equação 5.1) e depende também do meio material onde a luz está se propagando segundo a Tabela 1,

$$\beta = V \cdot B \cdot d. \quad (5.1)$$

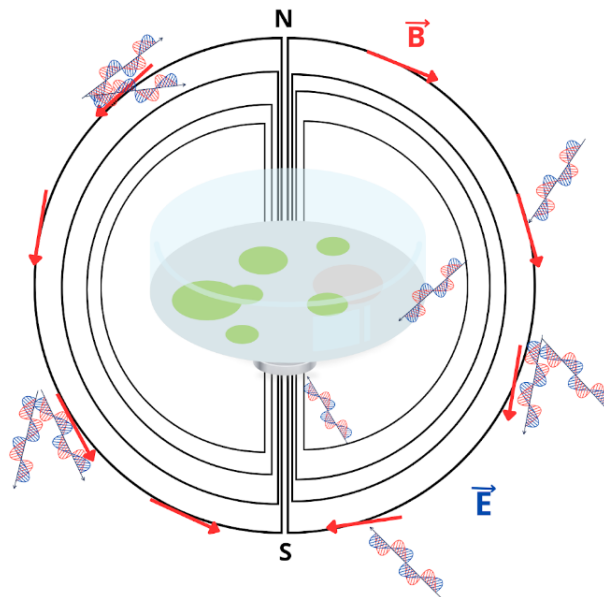
A quantidade pela qual o plano de vibração gira, é chamada de ângulo  $\beta$  e medida em minutos de arco, pode ser calculada empiricamente através da fórmula apresentada (equação 5.1), onde  $B$  representa a densidade do fluxo magnético estático em gauss,  $d$  é o comprimento do meio percorrido (em  $cm$ ) e  $V$  é a constante de Verdet, um fator de proporcionalidade específico para cada meio que, varia com a frequência (e cai rapidamente à medida que  $V$  diminui) e a temperatura. A constante de Verdet é cerca de  $10 - 5min$  de arco  $gauss^{-1}cm^{-1}$  para gases e  $10^{-2}min$  de arco  $gauss^{-1}cm^{-1}$  para sólidos e líquidos conforme apresentado na Tabela 1 (HECHT, 2002).

Tabela 1 – Constante de Verdet para algumas substâncias selecionadas.

$t(h)$	Temperatura ( $^{\circ}C$ )	$V(\text{min de arco gauss}^{-1}\text{cm}^{-1})$
Vidro de pederneira leve	4454, 0	0, 0317
Água	5752, 8	0, 0131
NaCl	5731, 5	0, 0359
Quartz	5671, 0	0, 0166
$NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	5684, 1	-0, 0005
Ar	5681, 8	$6, 27 \times 10^{-6}$
$CO_2$	5225, 2	$9, 39 \times 10^{-6}$

Com base nesses estudos, acredita-se que uma possível causa da diferenciação entre os tamanhos do hipocótilo (controle x tratamentos) possa estar relacionada ao efeito mencionado acima, pois os campos magnéticos utilizados no experimento podem ser considerados de alta intensidade. Sendo assim, é possível que a luz linear, ao passar pelo vidro da placa de petri combinada com o campo magnético de alta intensidade, possa ter promovido uma rotação no sentido de propagação da luz, fazendo com que apenas uma fração de fótons lineares atingissem as plantas de fato. No entanto, outros experimentos podem ser realizados para comprovar essa análise.

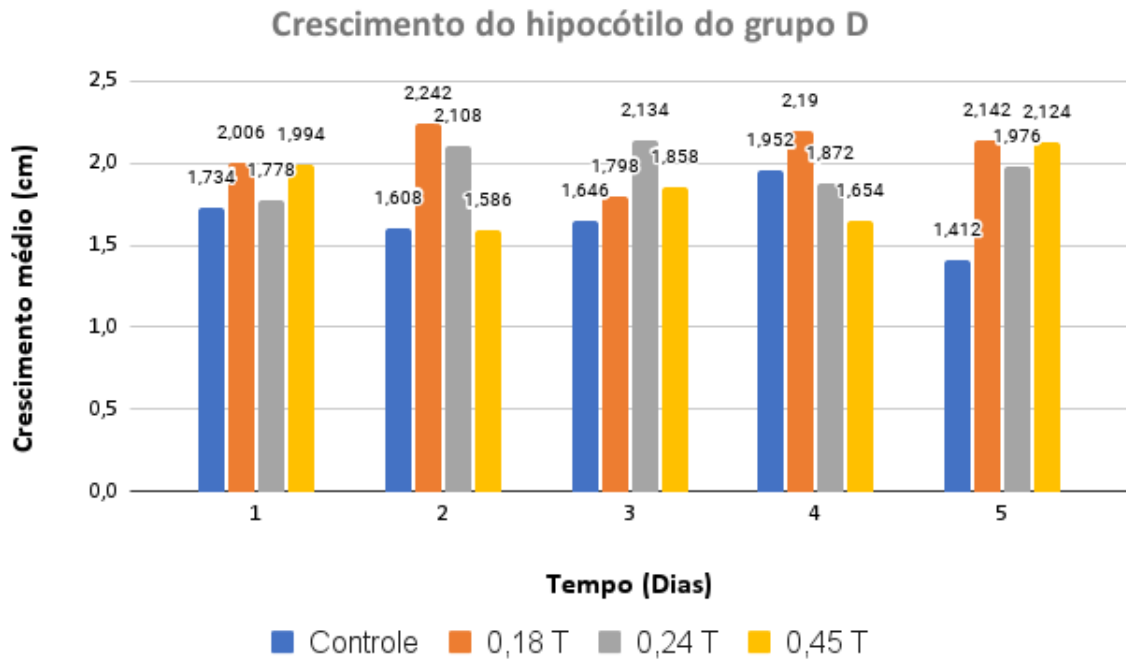
Figura 20 – Imagem ilustrativa de uma possível explicação do efeito Faraday sobre as placas de germinação.



Fonte: elaborado pela autora (2023)

## 5.2.2 Crescimento do hipocótilo do grupo D

Figura 21 – Crescimento dos hipocótilos ao longo de cinco dias de análises mecânicas das amostras das placas presente no grupo D.



Crescimento dos hipocótilos no grupo D com campos magnéticos de intensidade 0,18 T (cor vermelha), 0,24 T (cor verde) e 0,45 T (cor lilás), em comparação com o grupo controle destacado em azul.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

O crescimento do hipocótilo das placas do grupo D apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) em relação ao grupo controle apenas para as intensidades de 0,18 T e 0,24 T. A placa com intensidade de 0,18 T e 0,24 T cresceu 24,2% e 18,1% a mais do que o grupo controle, respectivamente. Os resultados do teste-t para ambas as intensidades foram:  $p = 0,00457 < 0,05$  (0,18 T  $\times$  0 T) e  $p = 0,0129 < 0,05$  (0,24 T  $\times$  0 T). Uma possível explicação para esse resultado é, se considerarmos que a intensidade da luz que passa pelo meio material é afetada pela distância em relação à fonte, pela equação 5.2:

$$I \propto 1/r^2 \quad (5.2)$$

A intensidade da luz é inversamente proporcional ao quadrado da distância, então a influência da distância da fonte de iluminação no Efeito Faraday poderia ocorrer da seguinte forma:

1- Se a distância da fonte de iluminação aumentar, a intensidade da luz que passa pelo meio material pode diminuir, o que pode resultar em uma redução na magnitude do Efeito

Faraday.

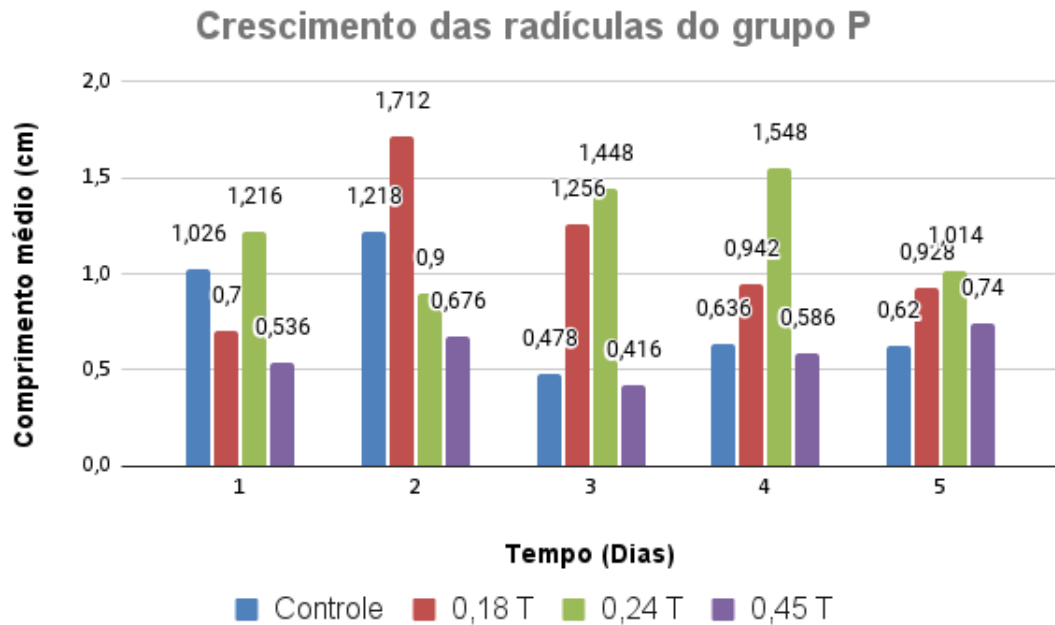
2- Por outro lado, se a distância da fonte de iluminação diminuir, a intensidade da luz que passa pelo meio material pode aumentar, o que pode resultar em um aumento na magnitude do Efeito Faraday.

Então, baseando-se nesse raciocínio a atenuação do Efeito Faraday em relação a fonte luminosa pode ter sido um dos fatores que promoveu um maior crescimento nas duas intensidades em destaque, exatamente as placas de menores intensidades de campo. Essa é uma possível explicação para os efeitos ocorridos nas placas do grupo D. Porém para uma confirmação de fato da ocorrência desses efeitos, se faz necessário mais estudos e ensaios.

### **5.2.3 Crescimento das radículas do grupo P**

As radículas foram medidas a partir do 4<sup>o</sup> dia do experimento durante 5 dias consecutivos. As médias diárias das análises foram submetidas ao teste  $t$  ( $p < 0,05$ ) para comparar todas as intensidades (0, 18T, 0, 24T e 0, 45T) com o grupo controle. As placas com a mesma intensidade foram separadas para análise. Os dados das placas do grupo P (próximo à fonte de luz) estão apresentados na Figura 22 e os dados referentes às placas do grupo D (distantes da fonte de luz) estão na Figura 23.

Figura 22 – Crescimento médio das radículas ao longo de cinco dias de análises mecânicas das amostras das placas do grupo P.



Crescimento médio das radículas sujeitas a campos magnéticos de intensidade  $0,18T$  (cor vermelha),  $0,24T$  (cor verde) e  $0,45T$  (cor lilás), em comparação com o grupo controle destacado em azul.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

O teste estatístico indicou que há diferença significativa entre as médias somente na Figura 22b ( $p = 0,0249 < \alpha = 0,05$ ), que relaciona o crescimento da radícula entre a placa com a intensidade de  $0,24T$  e a placa controle. Além disso, observou-se que o crescimento da radícula do grupo controle foi 53% inferior à placa com a intensidade  $0,24T$ .

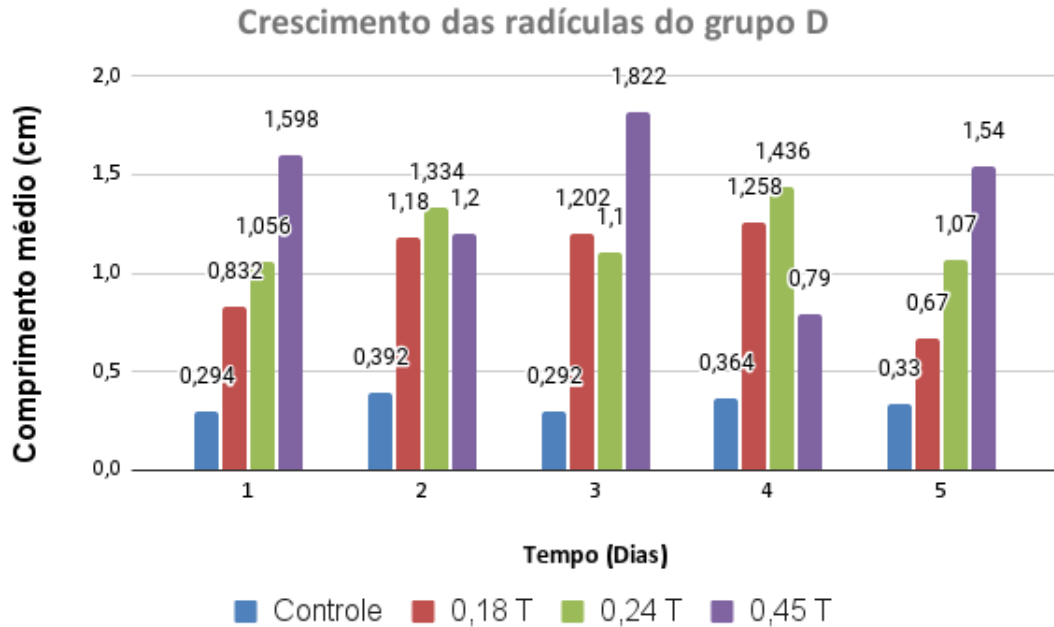
Como a radícula geralmente não possui cloroplastos (RAVEN PETER H.; EVERT, 1996), a influência do campo magnético em relação ao crescimento da mesma não pode ser atribuída a qualquer efeito provocado pelo campo magnético na luz, como por exemplo, o Efeito Faraday. Assim, o efeito da alta exposição à luz pode interferir no crescimento da radícula de tal maneira que a contribuição positiva dos campos de baixa intensidade pode não ser tão evidente.

#### 5.2.4 Crescimento das radículas do grupo D

O crescimento da radícula das placas do grupo D apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) em relação ao grupo controle para todas as intensidades. A placa com a intensidade de  $0,18$  Tesla cresceu 67,4% a mais do que o grupo controle (Figura 23a), a placa com a intensidade de  $0,24$  Tesla cresceu 72,1% a mais (Figura 23b) e a placa com a intensidade de  $0,45T$  cresceu 315,7% a mais (Figura 23c).

O teste  $t$  nas três intensidades mostrou os seguintes resultados:  $p = 0,0002 < 0,05$

Figura 23 – Crescimento médio das radículas ao longo de cinco dias de análises mecânicas das amostras das placas do grupo D.



Crescimento médio das radículas sujeitas a campos magnéticos de intensidade  $0,18T$  (cor vermelha),  $0,24T$  (cor verde) e  $0,45T$  (cor lilás), em comparação com o grupo controle destacado em azul.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

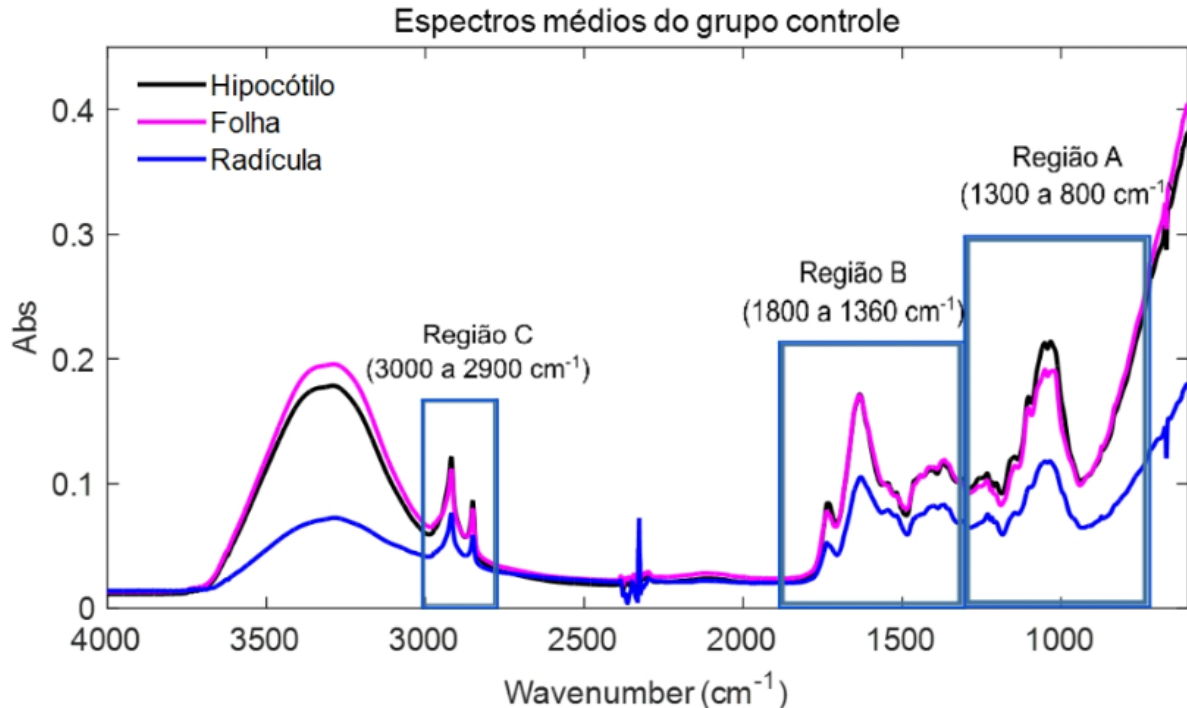
( $0,18 \times 0$ ),  $p = 0,0000 < 0,05$  ( $0,24 \times 0$ ) e  $p = 0,0002 < 0,05$  ( $0,45 \times 0$ ). Devido as mesmas explicações do tópico anterior 5.2.3 em relação à luz, uma possível explicação para esses resultados encontra-se no artigo (JIN et al., 2019), onde o autor afirma que os tratamentos realizados com o campo magnético de alta intensidade ( $600mT$ ) aplicado nas plantas de *Arabidopsis* aceleram a divisão do meristema devido a um maior conteúdo da auxina nas pontas das raízes, isso explica esse possível aumento da radícula quando comparada ao grupo controle, porém diferentemente do estudo anteriormente citado, as plântulas de *Mimosa tenuiflora* sobre a influência de campo magnético estático com um ímã fixo, sentido do campo Sul-Norte e temperatura controlada pode potencializar os efeitos sobre as radículas mencionados por (JIN et al., 2019).

### 5.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES ESPECTRAIS DAS PLÂNTULAS NO INFRAVERMELHO MÉDIO - MID

Sabendo a composição química da plântula, é possível indicar as principais bandas no espectro abaixo (amostras germinadas sem campo magnético). É interessante notar no espectro, que além da banda larga de  $OH$  (em torno de  $3300cm^{-1}$ ), a qual não será abordada, uma vez que as amostras não foram secas, três regiões são indicadas como informativas, que aqui será

denominada das regiões A, B e C, Figura 24.

Figura 24 – Gráficos dos espectros médios das amostras do grupo controle mostrando as principais regiões espectrais presentes nos espectros das plântulas.



Fonte: elaborado pela autora (2023)

Na Figura 24, as regiões A, B e C que sinalizam os picos mais importantes para a análise correspondem à região do espectro de 600 até  $4000\text{cm}^{-1}$ . A região A, que compreende as bandas de  $800\text{cm}^{-1}$  a  $1300\text{cm}^{-1}$ , está relacionada com regiões da impressão digital, caracterizando as biomoléculas como polissacarídeos, carboidratos, celulose lignina, pectina, entre outras. A Banda  $1230\text{cm}^{-1}$  é referente às vibrações das ligações  $C-O$ , que estão relacionadas às macromoléculas lignina, presentes na celulose da parede celular (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017). A Banda  $1154\text{cm}^{-1}$  é referente a vibração das ligações das moléculas de fosfato ( $PO^{2-}$ ), presentes nos ácidos nucleicos do RNA na síntese de proteínas (CHOO et al., 1995); (D'SOUZA et al., 2008). A Banda  $1106\text{cm}^{-1}$  é o espectro relacionado a vibração da molécula  $O-H$  presentes na curva plana da celulose (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017) e Amida III (MOVASAGHI; REHMAN; REHMAN, 2008). Vibrações de alongamento  $C-O$  e  $C-C$  também são características da banda  $1106\text{cm}^{-1}$  presentes no anel de pectina (HUSTI et al., 2016). A região abaixo de  $1000\text{cm}^{-1}$  é conhecida como a região da vibração do fosfato e resíduos de carboidratos ligados a vibração de amida III (MOVASAGHI; REHMAN; REHMAN, 2008). As bandas entre  $1200 - 1035\text{cm}^{-1}$  foram atribuídas por (CURRIE, 1968) como estiramentos simétricos  $C-O$  de ésteres, enquanto a banda  $1160 - 1035\text{cm}^{-1}$  corresponde aos estiramentos assimétricos. Nessa região podemos



identificar a presença de clorofila, celulose e pectina, através das vibrações de estiramento  $CO$ ,  $CC$ ,  $OCH$ ,  $COC$  presentes nessas bandas (HUSTI et al., 2016).

Na região B, a Banda  $1640\text{cm}^{-1}$  está relacionada a presença de amida II, que representa as biomoléculas de proteína, pectina, água associada a celulose ou lignina e alcalóides (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017). Essas amidas apresentam vibrações  $N - H$  em  $1615 - 1640\text{cm}^{-1}$ , comuns em proteínas, alcalóides e também na clorofila (CURRIE, 1968); (HUSTI et al., 2016). Esse espectro também se caracteriza as vibrações de alongamento  $C = O$  referente a ligação peptídica, fornecendo informações sobre a estrutura secundária da proteína (D'SOUZA et al., 2008) e estruturas secundárias de folha-beta, padrão estrutural encontrados em várias proteínas (MOVASAGHI; REHMAN; REHMAN, 2008). A Banda  $1735\text{cm}^{-1}$  corresponde às vibrações das ligações  $C - C$ ,  $C = C$  e  $C = O$  presentes em ácidos graxos, clorofila e pectina (HUSTI et al., 2016). A vibração da ligação  $C = O$  do estiramento de amidas secundária, complementar a banda de  $1640\text{cm}^{-1}$  de  $N - H$  (MOVASAGHI; REHMAN; REHMAN, 2008); (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017).

As vibrações observadas na região C fornecem informações sobre as ligações lipídica, relativas ao alongamento de vibrações de  $SH$ ,  $CH$ ,  $NH$  e  $OH$  (BAKER et al., 2014); (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017); (MOVASAGHI; REHMAN; REHMAN, 2008). As bandas detectadas nessa região podem caracterizar vibrações de grupos químicos de hidrocarbonetos  $CH$ ,  $CH_2$ ,  $CH_3$  que estão relacionados com fosfolipídios das membranas celulares. A região próxima da banda em  $2850\text{cm}^{-1}$  corresponde às vibrações dos alongamentos simétricos  $C - H$  e  $CH_2$ , principalmente de lipídeos com pequena contribuição de proteína, ácidos graxos, carboidratos e ácidos nucleicos (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017). As bandas  $2918\text{cm}^{-1}$  e  $2970$  correspondem às vibrações do alongamento  $C - H$  na região lipídica, relativas ao estiramento  $CH$ ,  $CH_2$  e  $CH_3$  (MOVASAGHI; REHMAN; REHMAN, 2008); (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017). Os espectros nessa região apresenta dois picos de intensidade moderada, correspondente às ligações de hidrocarbonetos presentes não apenas nos lipídeos, mas também nas demais moléculas contendo esse tipo de ligação na estrutura, como na clorofila e ácido graxos (HUSTI et al., 2016).

Realizando a PCA com as amostras do grupo de controle (faixa de  $1800$  a  $800\text{cm}^{-1}$ ) foi possível observar uma distinção clara entre as amostras do grupo perto da fonte luminosa (P) e do grupo distante da luz (D), no sentido da PC2. Ao observar a PCA das amostras das placas individualmente, percebe-se que há um padrão, em que as amostras das folhas se destacam das demais (radícula e hipocótilo). Essa PCA nos indica que a análise das amostras é de um mesmo grupo (controle), mas que pertencem a placas diferentes, a princípio devem ser analisadas separadamente, a fim de evitar que a variabilidade entre as placas seja um interferente para avaliar a variabilidade entre amostras com tratamentos diferentes.

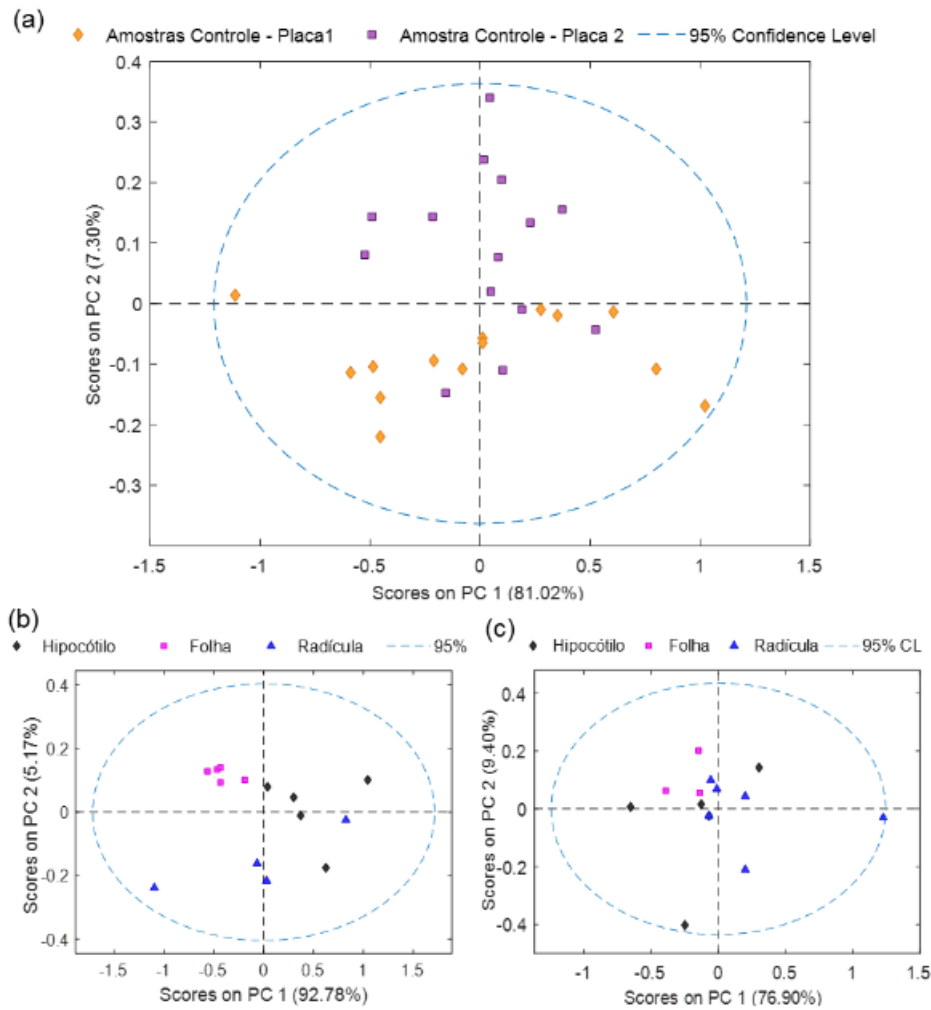


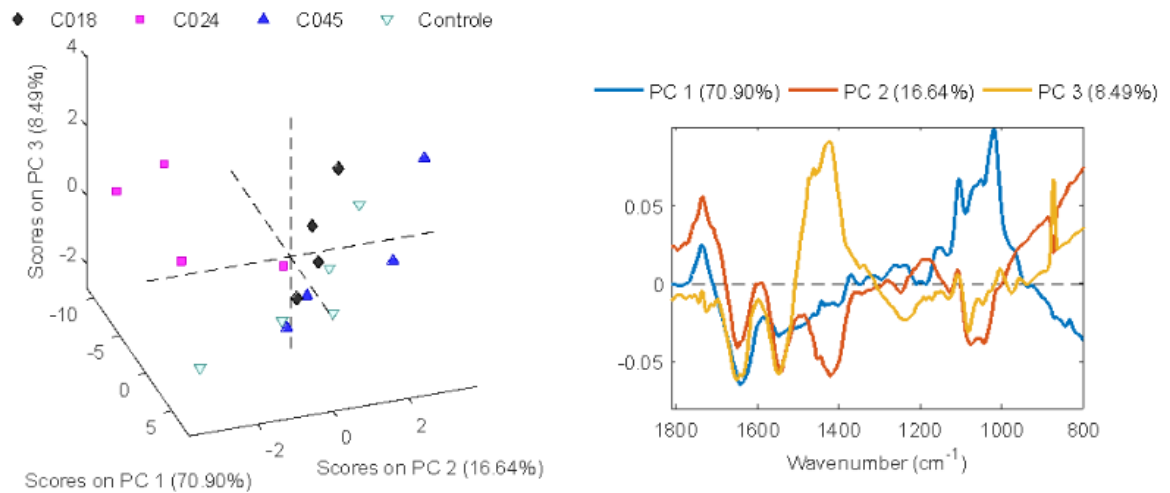
Figura 25 – Gráficos dos Scores da PCA.

As amostras controle em função da (a) placa de germinação do grupo P e grupo D; e gráficos dos Scores da PCA em função da parte da plântula para as amostras da (b) grupo P e (c) grupo D.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Utilizando apenas os espectros das folhas das amostras do grupo P, a PCA foi refeita e observou-se um agrupamento das amostras, com exceção das amostras expostas ao campo de 24 Tesla que destoam das demais devido a contribuição da PC1 e PC2 (Componente Principal 1 e 2). As variáveis espectrais que mais contribuíram para essa separação, pertencem a faixa de 1200 a 1000  $cm^{-1}$ , onde loadings da PC1 e PC2 mais diferem entre si, como observado na Figura 25. As bandas presentes nessa região são correspondentes às vibrações C-O, C-H e OH presentes na lignina da parede celular, proteínas do RNA e hidrocarbonetos da cauda apolar (WEIGL; LIVINGSTON, 1953).

Figura 26 – Gráficos dos Scores da PCA E Loadings do gupo P (0, 18T, 0, 24T e 0, 45T).

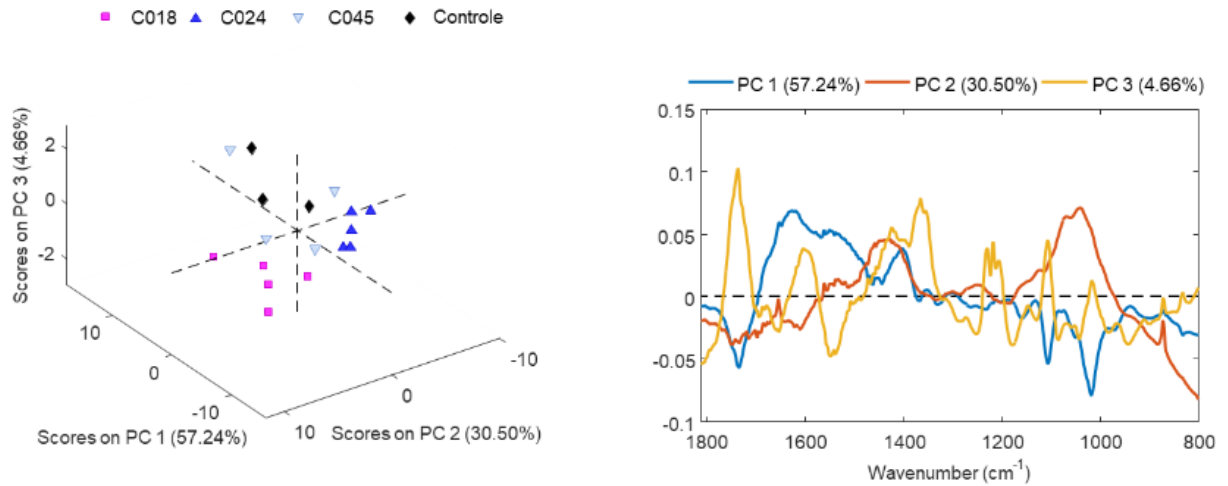


Dados da Placa 1. (a) Gráfico dos Scores da PCA, onde C018, C024 e C045 são as amostras submetidas aos campos de 0, 18, 0, 24 e 0, 45 Tesla. (b) gráfico de Loadings, que mostra as principais bandas espectrais que influenciaram os Scores da PCA.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

Executando a análise de PCA nos dados das amostras do grupo D, observou-se a formação de agrupamentos das amostras expostas aos campos de 0, 18T e 0, 24T, C018 e C024 respectivamente. As amostras de controle e de campo 45 T se dispersam de forma randômica, junto com as amostras do grupo controle. O conjunto de amostras C018 apresenta contribuições negativas em PC1 e PC3, e positivas em PC2, o que indica que são mais influenciadas pelas bandas em  $1050$  e  $1735\text{cm}^{-1}$ , que podem ser mais associadas às bandas de estiramento  $C = O$  (carbonila do grupo éster) na porção polar da molécula de clorofila. Já as amostras C024 são mais influenciadas pelas bandas de  $1000 - 1100\text{cm}^{-1}$  em PC2 e  $1050$  e  $1735\text{cm}^{-1}$  em PC1 (contribuição negativa em PC1), que representam as ligações  $C - O$  de ésteres.

Figura 27 – Gráficos dos Scores da PCA e Loadings do gupo D (0, 18T, 0, 24T e 0, 45T).



Dados do grupo D. (a) Gráfico dos Scores da PCA, onde C018, C024 e C045 são as amostras submetidas aos campos de 0, 18, 0, 24 e 0, 45 Tesla. (b) gráfico de Loadings, que mostra as principais bandas espectrais que influenciaram os Scores da PCA.

Fonte: elaborado pela autora (2023)

A princípio, observando os resultados PCA, os scores e Loadings, foi observada a forte influência de bandas correspondentes às ligações  $C - O$ ,  $C = O$ ,  $N - H$  e  $CH$ , presentes nas moléculas de celulose, lignina, lipídeos, proteínas e clorofila. Em se tratando da clorofila, as vibrações mais afetadas pela atuação dos campos magnéticos foram as bandas relacionadas com a parte polar da molécula, onde se encontram os ésteres, cetonas e amida II. Essa influência observada nos scores da PCA pode estar relacionada com a quantidade de clorofila presente, uma vez que todas as plântulas apresentam as mesmas vibrações, mas algumas delas (C024 para grupo P e C018 para grupo D) se agruparam e se diferenciam das demais amostras.

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho conseguiu elucidar os efeitos do campo magnético nas plântulas e sua associação com as propriedades eletromagnéticas. Nesse contexto apresentou as seguintes contribuições específicas:

1. As sementes de *Mimosa tenuiflora* tiveram uma resposta positiva à exposição a campos magnéticos de baixa intensidade em relação a germinação;
2. A intensidade de 0,18 Tesla foi a que teve melhor desempenho na taxa de germinação, em ambos os grupos (P e D) quando comparada ao grupo controle;
3. O campo magnético de alta intensidade, possa estar atuando como um polarizador da luz, fazendo com que apenas uma fração de fótons lineares atuassem no processo fotossintético;
4. Possivelmente, o efeito Faraday ocorreu em relação a fonte luminosa, promovendo um maior crescimento no hipocótilo nas duas placas que receberam um campo magnético de menor intensidade (0,18 T);
5. O efeito da exposição excessiva à luz pode interferir no crescimento da radícula de tal forma que a contribuição positiva dos campos de baixa intensidade pode não ser tão clara;
6. As plântulas de *Mimosa tenuiflora* que estavam no grupo mais distante à fonte de luz apresentaram um maior crescimento radicular;
7. Foi observada uma forte influência de bandas correspondentes às ligações de clorofila nas amostras em relação à aplicação do campo magnético de menor intensidade no grupo mais distante da fonte luminosa.

### 6.1 CONTINUIDADE DA PESQUISA

Ao constatar uma escassez de estudos correlacionando a interação do campo magnético e os vegetais em diferentes intensidades luminosas, o presente trabalho poderia dar continuidade a diversas investigações futuras, dentre elas:

1. Investigar a influência da intensidade luminosa nos campos magnéticos;
2. A investigação da influência entre a distância da fonte luminosa e as sementes de *Mimosa tenuiflora* expostas ao campo magnético;
3. Investigar se o campo magnético é capaz de otimizar a energia metabólica da espécie analisada;

4. A aplicação da mesma metodologia utilizada neste estudo, para investigar a interação molecular da clorofila com o campo magnético na *Mimosa tenuiflora*;
5. Correlacionar os efeitos do campo magnético com o efeito Faraday;
6. Investigar os efeitos das intensidades do campo magnético nos processos bioquímicos das plântulas de *Mimosa tenuiflora*.

## REFERÊNCIAS

- AGUILERA, J. G.; MARTÍN, R. M. Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *solanum lycopersicum* l. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 6, n. 1, 2016.
- ARGOLO, W. et al. ESTUDO DA ALTERAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA PELA AÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO. 2016.
- BAKER, M. J. et al. Using fourier transform ir spectroscopy to analyze biological materials. **Nature protocols**, Nature Publishing Group, v. 9, n. 8, p. 1771–1791, 2014.
- BALDERA, N. S. et al. Influencia del campo magnético en el crecimiento de semillas de *Phaseolus vulgaris*. Distrito de Valera 2021. **Revista Científica Dékamu Agropec**, v. 3, n. 1, p. 84–93, set. 2022. ISSN 2709-3190, 2709-3182. Disponível em: <<http://revista.unibagua.edu.pe/index.php/dekamuagropec/article/view/75>>.
- BARDWELL, J. A.; DIGNAM, M. J. Infrared spectra of langmuir-blodgett chlorophyll a films resolved into normal and tangential components. **Journal of colloid and interface science**, Elsevier, v. 116, n. 1, p. 1–7, 1987.
- BENEDITO, C. P. Biometria, germinação e sanidade de sementes de jurema-preta (*mimosa tenuiflora* willd.) e jurema-branca (*piptadenia stipulacea* benth.). Mossoro, RN, 2012.
- CALCADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física Clássica: Eletricidade e física moderna**. [S.l.]: Atual, 2012.
- CARBONELL, M. V. et al. Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. **Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales**, Universidad del Magdalena, v. 12, n. 2, p. 143–159, 2017.
- CARVALHO, H. F.; RECCO-PIMENTEL, S. M. **A célula**. 4. ed. Editora Manole, 2019. E-book. ISBN 9786555762396. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555762396/>>.
- CARVALHO, P. H. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras: Vol. 4: Jurema-Preta (Mimosa tenuiflora)**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2019.
- CHOO, L.-P. et al. Infrared spectra of human central nervous system tissue: Diagnosis of alzheimer's disease by multivariate analyses. **Biospectroscopy**, Wiley Online Library, v. 1, n. 2, p. 141–148, 1995.
- CID, L. P. B.; TEIXEIRA, J. B. **Fisiologia vegetal: definições e conceitos**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2017. 65 p. (Documentos / Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 356). ISBN 978-85-7035-782-6.
- CIENTÍFICAS, D. D. M. **Introdução ao Espectro Eletromagnético**. 2010. Disponível em: <[http://science.nasa.gov/ems/01\\_intro](http://science.nasa.gov/ems/01_intro)>.
- COSTA, Á. V. L. **Interferência magnética na sinalização elétrica em plantas de feijão preto**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pelotas, 2018.

CUNHA, M. d. C. L.; FERREIRA, T. C.; SILVA, R. P. de S. Cenários de mudanças climáticas influenciando a germinação e vigor de sementes de mimosa tenuiflora e cenostigma pyramidalis. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 54, p. 62–70, 2021.

CURRIE, L. A. Limits for qualitative detection and quantitative determination. application to radiochemistry. **Analytical Chemistry**, v. 40, n. 3, p. 586–593, 1968. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ac60259a007>>.

DIAS, P.; SOUTO, S. Jurema preta (mimosa tenuiflora): leguminosa arbórea recomendada para ser introduzida em pastagens em condições de mudas sem proteção e na presença do gado. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia, Uruguaiana*, v. . . . , 2007.

D'SOUZA, L. et al. Use of fourier transform infrared (ftir) spectroscopy to study cadmium-induced changes in padina tetrastromatica (hauck). **Analytical Chemistry Insights**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 3, p. 117739010800300001, 2008.

FILHO, R. N. d. S. C. et al. Tratamento magnético em sementes de alface (lactuca sativa) germinadas em água. In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. [S.l.: s.n.], 2012.

FILHO, W. F. M. et al. Quebra da dormência de sementes utilizando campo magnético dc. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.

FORATO, L. A. et al. A espectroscopia na região do infravermelho e algumas aplicações. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2010. 14 p., 2010.

GROTZINGER JOHN; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. [S.l.]: Grupo A, 2013.

GUIMARÃES, I. d. A. B. **Análise e dimensionamento de sistema de iluminação artificial com LEDs para suplementação luminosa no cultivo de *Humulus lupulus***. 2017. <<https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/8254/1/inahdeabguimaraestcc2017.pdf>>. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora.

HAKALA-YATKIN, M. et al. Magnetic field protects plants against high light by slowing down production of singlet oxygen. **Physiologia plantarum**, Wiley Online Library, v. 142, n. 1, p. 26–34, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo. Vol. 3**. [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física, volume 4: Óptica e física moderna. **Tradução e revisão Ronaldo Sergio de Biasi, Rio de Janeiro: LTC**, 2009.

HECHT, E. **Optics, 4th editio ed**. [S.l.: s.n.], 2002. v. 2. 3 p.

HUSTI, A. et al. Assessing the indoor pollutants effect on ornamental plants leaves by ft-ir spectroscopy. **Acta Physica Polonica A**, Polska Akademia Nauk. Instytut Fizyki PAN, v. 129, n. 1, p. 142–149, 2016.

Instituto Sociedade, População e Natureza. **Caatinga - ISPN - Instituto Sociedade, População e Natureza**. 2023. <<https://ispn.org.br/biomas/caatinga/#:~:text=Caatinga>>. Acesso em: 3 abr. 2023.



- Instituto Sociedade, População e Natureza. **MAPBIOMAS**. 2023. <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 3 abr. 2023.
- JIN, Y. et al. Static magnetic field regulates arabidopsis root growth via auxin signaling. **Scientific reports**, Springer, v. 9, n. 1, p. 1–14, 2019.
- JÚNIOR, R. A. B. et al. Magnetic field in coffee seed germination. **Ciência e Agrotecnologia**, SciELO Brasil, v. 44, 2020.
- KARAMIZADEH, S. et al. An overview of principal component analysis. **Journal of Signal and Information Processing**, Scientific Research Publishing, v. 4, n. 3B, p. 173, 2013.
- KNIGHT, R. D. **Física-V4: Relatividade Física Quântica**. [S.l.]: Bookman, 2009. v. 1.
- KURITA, T. Principal component analysis (pca). Springer, p. 1–4, 2019.
- LIMA, J. d. Plantas forrageiras das caatingas: usos e potencialidades. **Petrolina: Embrapa-CPATSA**, 1996.
- LIMA, T. d. S. et al. Fase sensora de poli (cloreto de vinila) na detecção de  $17\beta$ -estradiol em meio aquoso utilizando espectroscopia no infravermelho médio e quimiometria. **Química Nova**, SciELO Brasil, v. 43, p. 1035–1042, 2020.
- LKHAMKHUU, E. et al. Effect of circularly polarized light on germination, hypocotyl elongation and biomass production of arabidopsis and lettuce: Involvement of phytochrome B. **Plant Biotechnology**, v. 37, n. 1, p. 57–67, mar. 2020. ISSN 1342-4580, 1347-6114. Disponível em: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/plantbiotechnology/37/1/37\\_19.1219a/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/plantbiotechnology/37/1/37_19.1219a/_article)>.
- MARTINEZ, E.; FLOREZ, M.; CARBONELL, M. Stimulatory Effect of the Magnetic Treatment on the Germination of Cereal Seeds. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v. 2, n. 1, p. 375–381, 2017. ISSN 24561878. Disponível em: <[http://ijeab.com/upload\\_document/issue\\_files/47%20IJEAB-JAN-2017-49-Stimulatory%20Effect%20of%20the%20Magnetic%20Treatment%20on%20the%20Germination%20of%20Cereal%20Seeds.pdf](http://ijeab.com/upload_document/issue_files/47%20IJEAB-JAN-2017-49-Stimulatory%20Effect%20of%20the%20Magnetic%20Treatment%20on%20the%20Germination%20of%20Cereal%20Seeds.pdf)>.
- MATWIJCZUK, A.; KORNARZYNSKI, K.; PIETRUSZEWSKI, S. Effect of magnetic field on seed germination and seedling growth of sunflower. **International Agrophysics**, Polska Akademia Nauk. Instytut Agrofizyki PAN, v. 26, n. 3, 2012.
- MISHRA, S. P. et al. Multivariate statistical data analysis-principal component analysis (pca). **International Journal of Livestock Research**, v. 7, n. 5, p. 60–78, 2017.
- MOVASAGHI, Z.; REHMAN, S.; REHMAN, D. I. ur. Fourier transform infrared (ftir) spectroscopy of biological tissues. **Applied Spectroscopy Reviews**, Taylor & Francis, v. 43, n. 2, p. 134–179, 2008.
- NEMA. **NEMA - Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental**. Petrolina, PE: [s.n.], 2019. Disponível em: <[https://nema.univasf.edu.br/site/index.php?page=newspaper&record\\_id=27](https://nema.univasf.edu.br/site/index.php?page=newspaper&record_id=27)>.
- NOGUEIRA, S. S.; CASTRO, V. G.; ARAUJO, P. C. D. Influência dos extrativos na cor e durabilidade natural da madeira de jurema-preta. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 4, p. 1613–1620, 2021.

- PRADELA, V. et al. Produção de mudas de alface em resposta ao uso de água tratada magneticamente. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 3, p. 299–306, 2018.
- PRESS, F. et al. Para entender a terra. Porto Alegre: Bookman,, 2006.
- PROFISSIONALIZANTE, I. I. B. D. E. **Campos Eletromagnéticos. Santa Catarina, Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://inbraep.com.br/publicacoes/campos-eletromagneticos/>>.
- RAVEN PETER H.; EVERT, R. F. E. S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan,, 1996.
- REGRAS, P. A. D. S. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária.–brasília: Mapa/acs, 399 p. 2009.
- RIVAS, N. L. L. Efectos positivos del campo magnético en plantas cultivadas. **Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales**, Universidad del Magdalena, v. 14, n. 2, p. 160–170, 2019.
- ROBINSON FRANK NEVILLE H., K. E. e. M. S. B. **Eletromagnetismo. Encyclopedia Britannica**. 2023. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/electromagnetism>>
- ROCHA, H. L. S. da et al. Caracterização físico mecânica da madeira de jurema-preta (mimosa tenuiflora) visando seu emprego na indústria moveleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 262–267, 2015.
- SALES, F. H. S. EFEITOS DE CAMPO MAGNÉTICO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE ALFACE (Lactuca Sativa). 2011.
- SALES, F. H. S.; FONSÊCA, C. L. S. D. Efeitos do campo magnético na recristalização de cloreto de sódio NaCl / Effects of the magnetic field in the sodium chloride (NaCl) recrystallization. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 42804–42816, abr. 2021. ISSN 2525-8761. Disponível em: <<https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/28968>>.
- SILVA, B. F. A. d. **Preparação de ímãs híbridos aglomerados com mistura de pós a base de TR-Fe-B e ferrite**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2012.
- SILVA, I. D. d. L. Identificação e classificação de espécies de peixes pelas escamas utilizando espectroscopia NIR e métodos quimiométricos. Serra Talhada, PE, 2015.
- SILVA, J. R. D. N. avaliação das alterações de crescimento e do perfil bioquímico por espectroscopia no infravermelho de plântulas de lactuca sativa l. expostas a sulfato de níquel. Serra Talhada, PE, 2021.
- SIMOMUKAY ELTON; FERRARI, T. C. P. G. M. e. a. **Fundamentos de análise instrumental**. [S.l.]: Grupo A, 2022. ISSN 9786556903347.
- SOUZA, R. S. O. d. et al. Jurema-preta (mimosa tenuiflora [willd.] poir.): a review of its traditional use, phytochemistry and pharmacology. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, SciELO Brasil, v. 51, p. 937–947, 2008.
- SOUZA, Y. C. D. S. et al. Deslocamento de íons em solo salinizado por aplicação de solução de cloreto de cálcio tratada com campo magnético. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros. Vol. 2: eletricidade e magnetismo, óptica** . [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000.

TÜRKER-KAYA, S.; HUCK, C. W. A review of mid-infrared and near-infrared imaging: principles, concepts and applications in plant tissue analysis. **Molecules**, MDPI, v. 22, n. 1, p. 168, 2017.

ULGEN, C.; YILDIRIM, A. B.; TURKER, A. U. Effect of magnetic field treatments on seed germination of melissa officinalis l. **International Journal of Secondary Metabolite**, v. 4, n. 3, Special Issue 1, p. 43–49, 2017.

UMUARAMA, N. R. D.; KAMAL, C. E. P. H. T.; BRUNA, J. P. Título: O magnetismo terrestre. 2008.

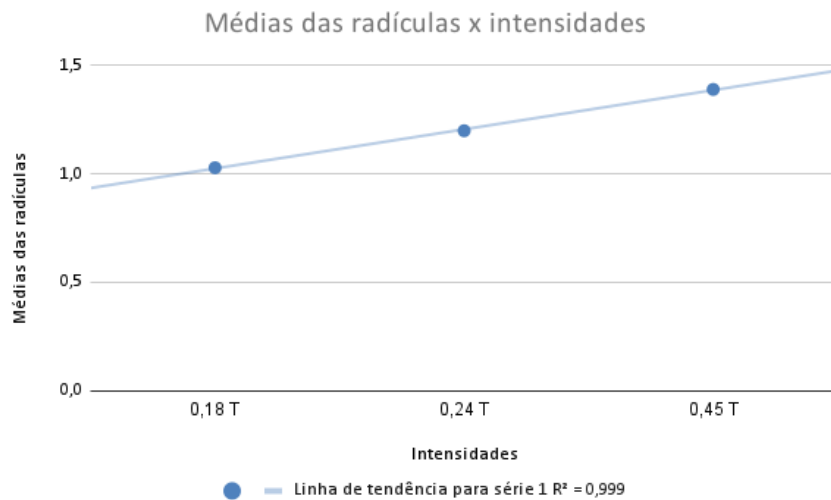
URETA-LEONES, D. et al. Effect of pre-germination treatment with direct magnetic field exposure: A systematic review and meta-analysis. **European Journal of Forest Research**, Springer, v. 140, p. 1029–1038, 2021.

WEIGL, J. W.; LIVINGSTON, R. Infrared spectra of chlorophyll and related compounds1. **Journal of the American Chemical Society**, ACS Publications, v. 75, n. 9, p. 2173–2176, 1953.

## 7 APÊNDICES

### 7.1 APÊNDICE A - GRÁFICO DO COMPRIMENTO MÉDIO DA RADÍCULA EM RELAÇÃO À TODAS AS INTENSIDADES DO CAMPO MAGNÉTICO

Figura 28 – Plotagem do comprimento médio da radícula em relação à intensidade do campo magnético por placa, feito através de uma regressão linear, resultando em um  $R^2$  muito próximo de 1.



Fonte: elaborado pela autora (2023)

Observa-se na Figura 28 que o comprimento médio das radículas para cada uma das intensidades (0,18 T, 0,24 T e 0,45 T) durante os cinco dias de medições possui uma linha de tendência muito próxima a 1 quando aplicado uma regressão linear, resultando em um  $R^2$  igual a 0,999. Isso significa que a relação entre o comprimento médio da radícula e a intensidade do campo magnético é aproximadamente linear.

### 7.2 APÊNDICE B - MÉDIAS DO COMPRIMENTO RADICULAR DAS PLACAS DISTANTE À FONTE LUZ (PLACAS DO GRUPO D)

Tabela 2 – Médias do comprimento radicular das 5 amostras de cada placa do grupo D.

Intensidade do Campo Magnético (T)	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
0	0,294	0,392	0,292	0,364	0,33
0,18	0,832	1,18	1,202	1,258	0,67
0,24	1,056	1,334	1,1	1,436	1,07
0,45	1,598	1,2	1,822	0,79	1,54

A Tabela 2 é uma demonstração dos valores brutos para conferência dos dados analisados.