



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**TADEU DE MOURA VALENTE JUNIOR**  
**LORRANE CAROLINE BORCEM DE JESUS**

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE MUDAS DE TENTO CAROLINA**  
**(*Adenantha pavonina* L.) SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES**  
**DE CÁDMIO E BRASSINOSTEROIDE**

**BELÉM**

**2024**

**TADEU DE MOURA VALENTE JUNIOR**  
**LORRANE CAROLINE BORCEM DE JESUS**

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE MUDAS DE TENTO CAROLINA  
(*Adenantha pavonina* L.) SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES  
DE CÁDMIO E BRASSINOSTEROIDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal para obtenção de título de bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientador:** Prof. M. Sc. Antônio José Figueiredo Moreira

**Co-orientador:** Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

**Belém**

**2024**

Dados Internacionais de Catalogação na  
Publicação (CIP) Bibliotecas da Universidade  
Federal Rural da Amazônia

Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

V154a Valente Junior, Tadeu de Moura

Avaliação nutricional de mudas de Tenta carolina (*Adenantha pavonina* L.) submetidas a diferentes concentrações de cádmio e brassinosteróide / Tadeu de Moura Valente Junior, Lorrane Caroline Borcem de Jesus. - 2024.

51 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2024.

Orientador: Prof. Me. Antônio José Figueiredo  
Coorientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de  
Oliveira Neto.

1. metal pesado. 2. hormônio vegetal. 3. elementos nutricionais. I. Moreira, Antônio José Figueiredo ,

*orient.* II. Título

---

CDD 581.1

**TADEU DE MOURA VALENTE JUNIOR**

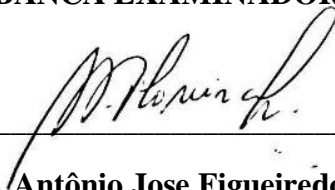
**LORRANE CAROLINE BORCEM DE JESUS**

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE MUDAS DE TENTO CAROLINA  
(*Adenantha pavonina* L.) SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES  
DE CÁDMIO E BRASSINOSTEROIDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia,  
como requisito essencial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.

**Aprovado em abril de 2024**

**BANCA EXAMINADORA**



---

**Prof. M. Antônio Jose Figueiredo Moreira**

**Orientador**

**Universidade Federal Rural da Amazônia**

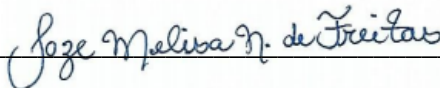


---

**Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto**

**Co-orientador**

**Universidade Federal Rural da Amazônia**



---

**Dr. Joze Melisa Nunes de Freitas**

**Universidade Federal Rural da Amazônia**



---

**M. Vitor Resende do Nascimento**

**Universidade Federal Rural da Amazônia**

---

**Dr. Ana Ecidia de Araujo Brito**

**Universidade Federal Rural da Amazônia**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por iluminar meu caminho e minhas escolhas desde o primeiro momento que eu entrei nessa universidade até agora nesta reta final da minha graduação, gostaria de enfatizar também a proteção do meu santo São Judas Tadeu que me auxiliou nas conquistas principalmente as que eu julgava impossíveis.

Sou grato a minha irmã Talita Amaral e a minha avós Maria Cecília e Rosemira de Moura (in memoriam) pelos abraços quentes, pelos conselhos, pelo amor, pelas pérolas de sabedoria, pelas brincadeiras saudáveis, pelas imensas gargalhadas, pelas grandes histórias e por fazerem da minha vida muito mais feliz. Agradeço aos meus primos Cristiano Augusto, Mario Augusto e Rosa Camila, às minhas tias-avós Cleonice Gifoni, Maria do Carmo e Maria de Fatima Pinheiro e aos meus padrinhos João Carlos e Beliza Valente pois vocês são aquelas pessoas amadas que reservaram o tempo das suas vidas para me apoiarem, para ajudar meus pais. Vocês foram peças fundamentais, que me deram incentivo, amor e suporte principalmente no começo da minha vida. Obrigado!

Agradeço a minha namorada, companheira de todos os dias e colega de TCC Lorrane Caroline por compartilhar toda essa jornada (que se revelou árdua para se caminhar sozinho), por estar ao meu lado em momentos difíceis, pela parceria, pelas alegrias e por todas as vezes que tirou os pesos dos meus ombros que demonstrou que nem sempre se chega nos resultados esperados com cobrança excessiva portanto tudo isso contribuíram para minha evolução pessoal e profissional. Agradeço a toda família da minha namorada, aos meus sogros (Wagner Sousa e Maria Anunciação) e meus cunhados (Lucas Borcem e Wevellen Loane) por todo acolhimento, por toda confiança e carinho depositados a mim ao longo desses anos de graduação.

Agradeço aos meus orientadores Antônio José Figueiredo Moreira e Cândido Ferreira de Oliveira Neto por terem acreditado no nosso potencial e aceitado nos orientar (Lorrane e Eu), por sempre estarem presente para indicar a direção mais adequada que o trabalho deveria tomar, pelos ensinamentos que os mesmos nos proporcionaram tanto na parte acadêmica quanto profissional. Agradeço a equipe do EBPS/UFRA, a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa) e a UFRA Belém.

Agradeço aos meus amigos de infância e da vida, Ayan Rodrigo, Felipe Quaresma (in memoriam), Samara Thais, Marcus Valente, Felipe Souza, Victor Simon, Renan Almeida,

Mateus Peralta, Icaro Cardoso, Caio Leon, Gabriel Lima por todo companheirismo, carinho, grande resenhas e lindas histórias em todos esses anos de existência.

Sou Grato aos meus companheiros Inaê Vilhena, João Matheus, Patricia Muribeca, Lucas Viana, Igor Rabelo, Danilo Campos, Prof. Felipe Almeida, Lorrane Caroline por tudo que dividimos ao longo desses anos na UFRA, agradeço ao Laboratório de física e sistemas ciberfísicos (LASIC) por toda ajuda e suporte principalmente durante a pandemia em 2020, levo vocês dentro do meu coração com lembranças e experiências de momentos memoráveis que compartilhamos e que estão eternizados na minha jornada.

Agradeço meu pai Tadeu de Moura Valente por todo amor incondicional, apoio e sacrifícios que fez por mim ao longo da vida.

Por último sendo o mais importante gostaria de agradecer a minha amada mãe, melhor amiga, professora, médica, enfermeira, psicóloga, nutricionista e principal apoiadora e incentivadora Simone Maria Rodrigues Amaral Valente por ser meu principal pilar em todos esses anos e me guiar pelos caminhos certos em todo momento tentando me educar, orientar para que eu possa tomar as melhores atitudes possíveis sempre visando fortalecer meu caráter e transferir com exemplos os princípios os quais julgou necessários. Obrigado por cada chamada de atenção, ” palmada ” e “ disciplina ” que a senhora tenha me aplicado que com certeza eu mereci, agradeço por disponibilizar cada segundo que dedicou a minha educação acadêmica sei que foi uma longa jornada cheia de desafios domingo após domingo e em nenhum momento a senhora deixou de acreditar, deixou de ter fé que tanto eu quanto minha irmã faríamos as escolhas certas. Me desculpe se fiz a senhora esperar alguns anos a minha aprovação no vestibular sofrendo com aqueles foguetes que devem ter apertado seu coração anos após anos, contudo no fim tudo valeu a pena. Muito obrigado de coração por tudo.

**Tadeu de Moura Valente Junior**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus por estar sempre presente me auxiliando, guiando e dando forças para superar as adversidades ao longo de toda minha vida, principalmente no momento que comecei a trilhar meu caminho rumo a graduação.

Regracio aos meus pais Wagner de Sousa e Maria Anunciação pela criação, ensinamentos, educação e por estarem sempre comigo me dando estrutura e aconselhando durante toda minha vida, me fazendo ser a mulher que sou hoje. Eu gratulo a minha irmã caçula Wevellen Loane por ser essa pessoa tão notável na minha vida e especialmente ao meu irmão Lucas Borcem por estarmos unidos e fortes em momentos adversos em nossas vidas, pelas conversas e afeto trocados.

Sou grata ao meu namorado, parceiro de graduação e colega de TCC Tadeu Junior por compartilhar as dores e alegrias ao longo de toda essa jornada, por me dar suporte e acreditar em mim em momentos que nem eu mesma acreditava, pelo ombro amigo, parceria e puxões de orelha que contribuíram para minha evolução pessoal e profissional.

Meus sinceros agradecimentos a toda família do meu namorado, em especial a minha sogra Simone Maria, minhas cunhadas Talita e Thayná e minha “dodó” Cecília que passaram a ser figuras presentes em minha vida e me proporcionam assistência, aconselhamentos e acolhimento, virando assim minha segunda família.

Minha gratidão e respeito aos meus orientadores José Figueiredo Moreira e Cândido Ferreira de Oliveira Neto por terem aceitado nos conduzir (Tadeu Jr e eu) no decorrer desse trabalho e pelos ensinamentos que os mesmos nos proporcionaram tanto na parte acadêmica quanto profissional. Agradeço a equipe do EBPS/UFRA, a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa) e a UFRA Belém por terem nos ajudado na construção desse trabalho.

Agradeço aos meus colegas da turma Florestal B, em especial aos meus eternos companheiros de grupo Adão Hiago, Inaê Vilhena, João Matheus, Patricia Muribeca e Tadeu Junior por tudo que dividimos ao longo desses anos na UFRA, levo vocês dentro do meu coração com lembranças lindas que compartilhamos e que estão eternizados na minha história.

A todos meu muito obrigada!

**Lorrane Caroline Borcem de Jesus**

## RESUMO

A *Adenanthera pavonina* L. é uma espécie pioneira pertencente à família Fabaceae, apresentando rápido crescimento, possuindo madeira escura e compacta sendo usada na marcenaria de luxo e em reflorestamentos, além de ter característica ornamental e forrageira. O cádmio ( $Cd^{2+}$ ) é um elemento não essencial para as plantas, causando toxidez até em pequenas concentrações. Todavia, os brassinoesteróides demonstram ser uma solução viável para a contaminação por Cd em plantas, já que os mesmos possuem potencial de proporcionar tolerância a estresses bióticos e abióticos. Neste trabalho objetivou-se avaliar o estado nutricional das plantas jovens de *A. pavonina* L. submetidas a diferentes concentrações de cádmio e 24-epibrassinolídeo e examinar como o metal pesado e o hormônio afetam a condição dos nutrientes N, P, K, Mg e Ca das folhas e raízes. O experimento foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 3x2, possuindo três teores de cádmio (0, 15 e 30 mg/L Cd) e duas concentrações do 24-epibrassinolídeo (0, 100 nM de EBR). Com cinco repetições em cada um dos seis tratamentos, totalizando 30 unidades experimentais, com uma planta em cada unidade. O  $Cd^{2+}$  diminuiu de forma geral as concentrações de todos os nutrientes nas duas partes da planta (raiz e folhas). Verificou-se que o EBR conseguiu mitigar de forma sucinta os níveis de toxidez do metal, possivelmente pela absorção e regulação de íons nas células.

**Palavras Chaves:** metal pesado, hormônio vegetal, elementos nutricionais

## ABSTRACT

*Adenanthera pavonina* L. is a pioneer species belonging to the Fabaceae family. It is fast-growing, has dark, compact wood and is used in luxury carpentry and reforestation, as well as having ornamental and fodder characteristics. Cadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ ) is a non-essential element for plants, causing toxicity even in small concentrations. However, brassinosteroids are proving to be a viable solution to Cd contamination in plants, as they have the potential to provide tolerance to biotic and abiotic stresses. The aim of this study was to evaluate the nutritional status of young *A. pavonina* L. plants subjected to different concentrations of cadmium and 24-epibrassinolide and to examine how the heavy metal and the hormone affect the nutrient status of N, P, K, Mg and Ca in leaves and roots. The experiment was completely randomized in a 3x2 factorial design, with three cadmium levels (0, 15 and 30 mg/L Cd) and two concentrations of 24-epibrassinolide (0, 100 nM EBR). There were five replicates in each of the six treatments, totaling 30 experimental units, with one plant in each unit.  $\text{Cd}^{2+}$  generally decreased the concentrations of all the nutrients in both parts of the plant (roots and leaves). It was found that the EBR was able to briefly mitigate the levels of metal toxicity, possibly through the absorption and regulation of ions in the cells.

Keywords: heavy metal, plant hormone, nutritional elements

## LISTA DE SIGLAS

BR– Brassinosteroide

24-EBL– 24-epibrassinolideo

N– Nitrogênio

P– Fósforo

K– Potássio

Ca– Cálcio

Cd– Cádmiio

Mg– Magnésio

Cu– Cobre

Zn– Zinco

Co– Cobalto

Pb– Chumbo

As– Arsênio

Se– Selênio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1	Objetivo geral .....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1	Descrição da espécie e seus possíveis usos .....	16
2.2	O cádmio .....	17
3.2.1	O cádmio no meio ambiente.....	17
3.2.2	O cádmio nas plantas.....	18
2.3	Descrição do brassinosteroide e seus possíveis efeitos .....	19
2.4	A nutrição mineral de plantas .....	21
2.5	Os elementos essenciais, suas funções nas plantas e sintomas de deficiência .....	22
2.1.1	Nitrogênio (N) .....	22
2.1.2	Fósforo (P).....	22
2.1.3	Potássio (K) .....	23
2.1.4	Cálcio (Ca) .....	23
2.1.5	Magnésio (Mg) .....	24
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3.1	Área de estudo .....	24
3.2	Coleta de dados .....	24
3.3	Tratamentos pré-germinativos .....	25
3.4	Implantação do experimento.....	26
3.5	Análises das amostras .....	29
4.5.1	Digestão das amostras .....	29
4.5.2	Nitrogênio (N).....	29
4.5.3	Fósforo (P) .....	30
4.5.4	Potássio (K).....	30
4.5.5	Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) .....	30
3.6	Análise de dados .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>

4.1	Teor de nitrogênio (N).....	31
4.2	Teor de fósforo (P).....	33
4.3	Teor de potássio (K).....	35
4.4	Teor de magnésio (Mg).....	37
4.5	Teor de cálcio (Ca).....	39
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	42
6	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um problema global. Segundo Cooper (2008), a deterioração dos solos possui uma preocupação importante por duas razões. Primeiro, este processo afeta a capacidade produtiva de um ecossistema. Segundo, influencia o clima do planeta através de alterações no equilíbrio da água e da energia e modificações nos ciclos de carbono, nitrogênio, enxofre e outros elementos, onde o mesmo pode ser ocasionado por fatores como processos naturais, desastres naturais e atividades antrópicas (principalmente a mineração), sendo que estas últimas são responsáveis pela perda de grande parte do solo saudável do mundo.

A exploração dos recursos minerais ocorre numa velocidade bastante acentuada e está comprometendo o futuro da sociedade como um todo. Inegavelmente, a atividade minerária traz benefícios financeiros e desenvolvimento para as regiões onde as jazidas se encontram, porém o bônus vem acompanhado de um ônus que reflete e se materializa com o decorrer dos anos (PORTELLA M. O, 2015).

Os metais pesados (MP) são classificados de acordo com a densidade relativa ( $MP > 5 \text{g.cm}^{-3}$ ) e podem estar presentes naturalmente no solo, devido a ação de intemperismo e de outros processos pedogênicos em rochas e no material de origem do solo (BAKER ET AL. 1994, BISINOTI ET AL. 2004, SANTOS 2005), prejudicando os organismos vivos quando em concentrações tóxicas no ambiente. A principal causa deste problema está relacionada ao fato dos metais pesados serem altamente reativos e bioacumuláveis, ou seja, os organismos são incapazes de eliminá-los quimicamente (OLIVEIRA E OLIVEIRA 2011), ficando retidos no ecossistema (CARNEIRO ET AL. 2001).

Alguns metais ocorrem naturalmente nos solos, tais como cobre (Cu), zinco (Zn) e cobalto (Co) que desempenham importante papel na nutrição de plantas e animais, enquanto outros, como cádmio (Cd), chumbo (Pb), arsênio (As) e selênio (Se), exercem efeitos deletérios sobre vários componentes da biosfera, sendo o cádmio (Cd), um elemento encontrado principalmente em rochas fosfatadas, embora raramente encontrado em grandes concentrações em ambientes naturais (ALLOWAY, 1995; KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Portanto a extração dos minérios desencadeia grande volume de problemas socioeconômicos futuros, acompanhados de danos que agredem diretamente a natureza e a qualidade de vida das pessoas. Fica demonstrado que se não houver planejamento adequado por parte dos agentes públicos, quanto ao desenvolvimento sustentável das regiões mineradas após o término das atividades de extração, culminará no declínio financeiro da população em torno da região e enorme passivo ambiental (PORTELLA M. O, 2015).

Uma alternativa viável para solucionar esses problemas de contaminação é o uso de espécies que possuam determinada tolerância a metais pesados. Uma possibilidade seria a *Adenantha pavonina* Linnaeus é uma árvore que possui qualidades ornamentais, madeireiras, ecológicas e medicinais. É uma espécie pioneira, que apresenta crescimento rápido, o que contribui para o desenvolvimento, sob suas copas, de plantas arbóreas, arbustivas e trepadeiras, que não toleram altas intensidades luminosas (FONSECA et al., 2003). *A. Pavonina* L. é uma espécie que demonstrou possuir certas capacidades de fitorremediação, ou seja, de eliminação ou redução de contaminantes do solo ou da água por meio de plantas. Assim como também detém, mesmo que de forma pequena, a capacidade de fixar biologicamente o N do ar, através da associação de suas raízes com bactérias diazotróficas presentes no solo, tendendo a fornecê-lo de forma gradativa (HUNGRIA, 2011; ALVES et al., 2015).

Para melhoria dessas possíveis espécies, podem ser usados os brassinosteroides, que formam um grupo de hormônios esteroides vegetais originalmente isolados do pólen de *Brassica napus* como substâncias promotoras de crescimento (GROVE et al., 1979). Os brassinosteroides também desempenham um papel na diferenciação de tecidos, ajudando as células a se especializarem em tipos específicos de tecidos, como xilema, floema, epiderme, entre outros. Eles são encontrados em diferentes concentrações em todos os órgãos vegetais, apresentando maiores teores em tecidos mais jovens, em crescimento, e em menores concentrações em tecidos mais maduros (BORCIONI, 2012; FRIDMAN, 2013).

Ações futuras têm que ser pensadas e idealizadas antes do início do empreendimento extrativista, tendo espaço de tempo suficiente para a sua implementação e adequação. A busca pela qualidade de vida das pessoas e a prevenção quanto aos danos ambientais, não pode ser instalada depois dos problemas acontecerem (PORTELLA M. O, 2015).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o estado nutricional das plantas jovens de Tenta carolina (*Adenantha pavonina* L.) submetidas a diferentes concentrações de cádmio e 24-epibrassinolídeo.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg em folhas e raízes de tento carolina (*Adenantha pavonina* L.) submetidas a diferentes concentrações de cádmio e 24-Epibrassinolide;
- Avaliar a interação do metal pesado (cádmio) e 24-epibrassinolídeo (24-epiBL) no estado nutricional de folhas e raízes de tento carolina (*Adenantha pavonina* L.).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Descrição da espécie e seus possíveis usos

*Adenanthera pavonina* Linnaeus é uma árvore semidecídua de qualidades ornamentais, madeiras, ecológicas e medicinais (tratamento da oftalmia crônica e de infecções pulmonares). Ela pertence à família Fabaceae, subfamília Mimosoideae, que é uma família representativa tanto em diversidade e densidade, além de terem grande importância econômica e ecológica, possuindo cerca de 714 gêneros e mais de 19.000 espécies conhecidas, além de ser o terceiro maior grupo do reino vegetal, sendo constituído, em sua maioria, por árvores tropicais (DOYLE, 1994; SPRENT, 2001).

A espécie em destaque é originária da África e Ásia, possuindo vários nomes populares, entre eles olho-de-dragão, tento-vermelho e tento-carolina. As folhas são compostas, bipinadas e alternas. As flores são de cor amarela, com frutos em vagens estreitas, marrons e espiraladas quando se abrem. As sementes são globosas, duras e vermelhas brilhantes. Sua floração ocorre de março a abril, com frutificação de junho a agosto. De madeira marrom-avermelhada e compacta, é útil na construção civil e na marcenaria. As sementes têm largo emprego no artesanato. É uma planta rústica e de rápido crescimento podendo, portanto, ser usada em reflorestamento (LORENZI, 2003).

As árvores desta espécie podem apresentar de 15 m a 20 m de altura (FANTI & PEREZ, 2003). É uma espécie pioneira, que apresenta crescimento rápido, o que contribui para o desenvolvimento, sob suas copas, de plantas arbóreas, arbustivas e trepadeiras, que não toleram altas intensidades luminosas (FONSECA et al., 2003). Do ponto de vista ecológico, trata-se de uma planta semidecídua que apresenta ampla e descontínua dispersão, porém com frequência muito pequena, apesar de produzir, anualmente, grande quantidade de sementes viáveis (LORENZI, 2009).

Sua madeira é escura, compacta, com veias onduladas e pequenos poros, usada em marcenaria de luxo e muito utilizada em reflorestamentos, além de ser ornamental e forrageira (KISSMANN et al., 2008). Possui folhagem de textura fina, floração e frutificação o ano todo, podendo ser plantada em ruas largas, parques e jardins de residências (FONSECA & PEREZ, 2003). Além de ter usos ornamentais como em arborização de ruas e praças e sombreamento, é muito empregada em peças de artesanato e medicamentos fitoterápicos (ARAUJO NETO et al., 2012).

Pelo prisma ambiental o tento carolina, mesmo que de forma pequena, possui a capacidade de fixar biologicamente o N do ar, através da associação de suas raízes com

bactérias diazotróficas presentes no solo, tendendo a fornecê-lo de forma gradativa. Além disso, permite a adição de matéria orgânica para o solo, disponibilizando outros nutrientes, a partir da ciclagem de nutrientes (HUNGRIA, 2011; ALVES et al., 2015).

## 2.2 O cádmio

O cádmio (Cd) na tabela periódica é classificado como um metal de transição pertencente ao grupo 12 (família 2B), possuindo o número atômico 48 e massa atômica 112.411 u, é macio, de cor branco-prateada ou branco-azulada. É encontrado na natureza principalmente em rochas fosfatadas (BIZARRO et al., 2008) e em depósitos de minério de zinco e chumbo, onde são mineradas principalmente no continente africano e no Oriente Médio, embora também sejam encontradas na América do Sul e na Europa, em concentrações que variam de 10 a 60 mg/Kg (ALLOWAY, 1995).

Este metal é utilizado em diversos setores industriais, tais como na produção de baterias Ni-Cd/Ag-Cd e pilhas, estabilizador, no processo de galvanoplastia (processo eletrolítico que consiste em recobrir um metal com outro) e na fabricação de ligas, pigmento e revestimentos (CHAVES & SOUZA, 2014; KARANLIK et al, 2013), assim como através do manejo inadequado de resíduos de fabricação de cimento, sedimentos de esgoto, lixo urbano e queima de combustíveis fósseis.

Outro fator contribuinte para o aumento de teores de Cd no solo é a utilização de fertilizantes fosfatados pela agricultura. Segundo Zoghlan et al. (2018), verificou-se que a presença de cádmio e níquel provenientes do despejo de esgoto urbano podem causar diversos danos ao solo, como aumento da salinidade e da acidez.

### 3.2.1 O cádmio no meio ambiente

O solo possui grande capacidade de retenção dos metais pesados, porém se esta capacidade for ultrapassada os metais alterarão sua disponibilidade para o meio. Devido às alterações do pH o solo interage, alterando sua capacidade de troca catiônica, modificando a estrutura cristalina dos grãos e criando condições que facilitam a lixiviação. Desta forma, os metais pesados penetram na cadeia alimentar dos organismos vivos ou podem ser lixiviados, pondo em risco a qualidade dos sistemas aquáticos adjacentes e as águas subterrâneas (PIERANGELI et al., 2004; 2005; CAMPOS et al., 2007).

A alta mobilidade em caso de metais pesados pode representar grande perigo, visto que a possibilidade destes elementos serem absorvidos pelo sistema radicular de plantas é maior (RIZWAN et al., 2016). Não se chegou a um consenso quanto a mobilidade do cádmio na

literatura, onde é possível encontrar autores que defendem que a mesma é alta e outros que o metal é de baixa locomoção, embora haja indícios de que a prática de irrigação possa facilitar a movimentação deste elemento em meio a infiltração da água no solo (McDOWELL, 2012; McLEOD; CAVANAGH; CARRICK, 2015; SALMANZADEH et al., 2017).

De acordo com o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), foram estabelecidos valores de referência para a proporção de cádmio nos solos e águas subterrâneas. Segundo a Resolução nº 460/2013 o valor de prevenção (VP) para o Cd no solo é de 1,3 mg/Kg, o valor de investigação (VI) para os setores agrícola, residencial e industrial são respectivamente 3 mg/kg, 8 mg/kg e 20 mg/kg e o teor de investigação para água subterrânea é de 5 µg/L.

### 3.2.2 O cádmio nas plantas

De modo geral, a exposição das plantas a concentrações elevadas de cádmio causa alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas e, resulta em rápido declínio da capacidade de absorção e acúmulo deste elemento pelas raízes principalmente em função da redução generalizada do metabolismo (OLIVEIRA et al., 2001; ANDRADE et al., 2005), entrando nas células vegetais através do transporte de cátions, onde, a absorção deste metal pesado por membranas plasmáticas vegetais pode ser mediado pelas proteínas da família ZIP (IRT1 e ZNT1), Nramp, CDF e LCT1, bem como através de canais de cálcio potássio (PERFUS BARBEOCH et al., 2002). No citosol, o Cd é ligado a quelantes, tais como fitoquelatinas e ácido cítrico e, posteriormente, sequestrado no vacúolo (CLEMENS, 1999).

O cádmio afeta a absorção, transporte e uso dos macronutrientes como P, Ca, K, S assim como a água. Dentre os efeitos mais comuns da toxicidade de cádmio em plantas estão a redução do crescimento vegetal, principalmente o das raízes por deficiências minerais (SHAH et al., 2001; VITÓRIA et al., 2001; FORNAZIER et al., 2002), com forte influência sobre a produção de biomassa (KNECHT et al.; 1994; SOLTAN & RASHED, 2003; BENAVIDES et al., 2005). Outro efeito que o cádmio possui na atividade enzimática se associa ao fato de que muitas enzimas possuem metais que se substituídos por outros com mesma carga e tamanho similar pode resultar na inibição da atividade da enzima, tal como ocorre com o zinco (KURDZIEL et al., 2004).

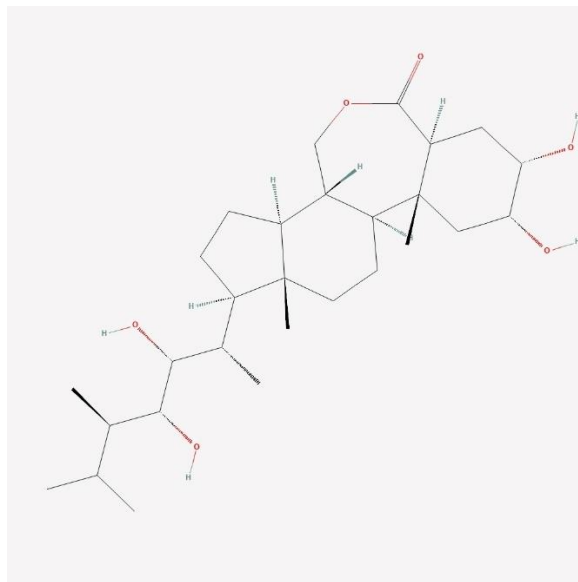
Para Kurdziel et al. (2004) & Lösch (2004) a atividade fotossintética também é afetada pelo cádmio, pois a redução da fotossíntese na planta pode ser causada pela inibição da cadeia de transporte de elétrons do cloroplasto, inibição de enzimas do Ciclo de Calvin ou diminuição da clorofila, podendo causar a clorose foliar, que é um dos sintomas visíveis que a planta

apresenta quando exposta a toxicidade do cádmio.

A clorose observada é maior em folhas novas quando comparadas com as mais velhas, indicando que folhas jovens absorvem mais Cd, ou que elas são mais vulneráveis a toxidez causada por este metal pesado (KURDZIEL et al., 2004; KÜPPER et al., 2007), uma vez que pode ocorrer uma competição por sítios de absorção na membrana plasmática entre o Cd e o Fe ou Mg. Segundo Godbold & Hutterman (1985), a presença do Cd pode provocar a deficiência de fósforo ou reduzir o transporte de manganês, podendo provocar também a clorose nas folhas.

### 2.3 Descrição do brassinosteroide e seus possíveis efeitos

Figura 1 - Fórmula química do 24-epibrassinolídeo



Fonte: Nation Library Of Medicine (2024).

O 24-epibrassinolídeo (EBR) é um hormônio vegetal pertencente ao grupo dos brassinosteroides (BRs), sendo uma das últimas classes identificadas de fitohormônios, com efeito coordenador nos vários processos de desenvolvimento das plantas, afetando decisivamente os processos de crescimento e desenvolvimento em condições ambientais normais e estressantes. A ação de coordenação dos BRs se reflete em vias de sinalização complexas, desencadeadas pela ligação de moléculas de BR a um receptor específico do plasmalema. As vias de sinalização BR interferem com outras vias de sinalização na célula vegetal: outros fitohormônios e sistemas de recepção de luz (por exemplo, sistema fitocromo etc.), bem como outras vias de sinalização (sinais de Ca, sinais de moléculas lipídicas etc.) (BOŽILOVIĆ, BOJANA et al., 2023).

Os brassinosteroides formam um grupo de hormônios esteroides vegetais originalmente isolados do pólen de *Brassica napus* L. como substâncias promotoras de crescimento (GROVE

et al., 1979). Os brassinosteroides também desempenham um papel na diferenciação de tecidos, ajudando as células a se especializarem em tipos específicos de tecidos, como xilema, floema, epiderme, entre outros. Eles são encontrados em diferentes concentrações em todos os órgãos vegetais, apresentando maiores teores em tecidos mais jovens, em crescimento, e em menores concentrações em tecidos mais maduros (BORCIONI, 2012; FRIDMAN, 2013).

Esses hormônios são um esteroide polihidroxilado semelhante aos hormônios esteroides animais, com o nome sistemático (22R, 23R, 24S) -2 $\alpha$ -3 $\alpha$ , 22, 23-tetrahidroxi-24-metil-6, 7-s-5 $\alpha$ . -colesterano-6, 7-lactona e brassinolide nome comum (BL). BL e seus derivados são designados como BRs. Atualmente, mais de 70 BRs de ocorrência natural foram identificadas no reino vegetal. Devido ao alto custo sintético do BL, o 24-epibrassinolídeo (24-epiBL) é frequentemente usado em experimentos de bioensaio em laboratório, sendo juntamente com o 28-homobrassinolide (28HomoBL) os BRs mais bioativos (CLOUSE, 2002; VARDHINI et al., 2006; CLOUSE, 2011; OKLESTKOVA, 2015).

Os brassinosteroides, incluindo o 24-epibrassinolídeo, destacam-se pelo papel na resposta das plantas ao estresse, seja ele biótico (como infecções por patógenos) ou abiótico (como estresse hídrico, salinidade, temperaturas extremas). Eles podem ajudar as plantas a tolerarem melhor essas condições adversas. Os BRs desempenham papéis fundamentais na ampla gama de fenômenos do desenvolvimento, incluindo divisão celular e alongamento celular em caules e raízes, fotomorfogênese, desenvolvimento reprodutivo, senescência foliar e também respostas de estresse (FUJIOKA; YOKOTA, 2003; CHOUDHARY et al., 2012).

Estudos têm comprovado que a atuação destes esteroides é positiva no incremento de trocas gasosas (HU et al., 2010), melhoria nos pigmentos fotossintéticos (RAMAKRISHNA et al., 2014) e alívio de estresse oxidativo (ANURADHA; RAO, 2007), modulação da expressão gênica (SHARMA et al., 2017) e crescimento das plantas (HE et al., 2015). Outro ponto interessante a se ressaltar é que os brassinosteroides também estão envolvidos na regulação de processos relacionados à reprodução das plantas, como a formação de flores e frutos.

Outros efeitos benéficos dos BRs têm ocasionado tolerância às plantas a diversos tipos de estresse bióticos e abióticos, dentre eles a salinidade (OLIVEIRA et al., 2018) estresse hídrico (FARIDUDDIN et al., 2009), ataques de patógenos (ROTH; FRIEBE; SCHNABL, 2000) extremas temperaturas (FARIDUDDIN et al., 2011) e tolerância à metais pesados (YUSUF et al., 2011), com a capacidade de regular a absorção de íons nas células vegetais e podem ser usados para reduzir o acúmulo de metais pesados e elementos radioativos nas plantas, minimizando os efeitos tóxicos e os sintomas gerados (BAJGUZ; HAYAT, 2009).

## 2.4 A nutrição mineral de plantas

O solo é o principal e mais importante meio para desenvolvimento de vegetais, retirando do meio água e nutrientes minerais, porém não é a única forma, visto a possibilidade das plantas poderem ser desenvolvidas em soluções nutritivas (hidroponia) ou em substratos orgânicos, nos quais recebem os nutrientes por meio de irrigação (fertirrigação) (BATISTA et al., 2018).

São considerados dezesseis elementos essenciais para o ciclo da planta (C, O e H constituem cerca de 90% do vegetal) e dependendo da demanda que os mesmos são exigidos estes são classificados em dois grupos (macronutrientes e micronutrientes). Os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), possuem grande demanda (acima de 10 mmol/kg de massa seca) e constituem a estrutura das moléculas, ao passo que os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn), são exigidos em quantidades menores (abaixo de 30 mmol/kg de massa seca) e detêm a função de ativadores de enzimas (PAULILO et al., 2015).

Os elementos essenciais desempenham funções metabólicas nas plantas e quando ausentes provocam nas plantas o aparecimento de sintomas de deficiência. Plantas que estão com deficiência mineral possuem um desenvolvimento anormal, muitas vezes apresentando baixa estatura. Já em plantas que apresentam disponibilidade mineral adequada, o seu desenvolvimento ocorrerá de forma normal (PAULILO et al., 2015).

Para Salisbury e Ross (1992) é possível definir uma concentração crítica que é a concentração mínima no tecido que permite uma taxa de crescimento de cerca de 90% do máximo possível. Em concentrações excessivas, os nutrientes podem ser considerados nocivos quando em excesso, por exemplo, a fertilização excessiva em nitrogênio pode resultar num crescimento excessivamente rápido da parte aérea, poucos tecidos de suporte, sistema radicular pouco desenvolvido, desenvolvimento reprodutivo retardado, deficiente resistência a estresses bióticos ou abióticos (LARCHER, 2001).

Para determinar a concentração crítica de um elemento no tecido vegetal são feitos experimentos controlados, onde as plantas recebem concentrações crescentes do elemento e avalia-se o crescimento que elas provocam, bem como as concentrações de nutrientes que a planta acumula em seus tecidos. Com esses dados é possível construir gráficos contendo a faixa de deficiência, a concentração crítica e a faixa adequada de tal elemento para a planta, possibilitando assim saber se o elemento está sendo oferecido de forma apropriada, em déficit ou exagerada para a planta (PAULILO et al., 2015).

É de conhecimento que todos os tipos de solos possuem deficiências nutricionais, onde, a planta demonstra a falta de determinado nutriente do substrato com sintomas de deficiência característicos como a redução do crescimento das raízes, dos caules ou das folhas, cloroses ou necroses de vários órgãos. De acordo com Salisbury e Ross (1992), primariamente os sintomas de deficiência para um elemento dependem de dois fatores: 1º - A função ou funções desse elemento na planta; 2º - A translocação desse elemento entre as folhas mais velhas e as mais novas ocorre facilmente ou não.

## **2.5 Os elementos essenciais, suas funções nas plantas e sintomas de deficiência**

### **2.1.1 Nitrogênio (N)**

O nitrogênio compõe proteínas, ácidos nucleicos, hormônios (algumas auxinas e citocininas) e clorofila. Muitas das proteínas são enzimas, moléculas imprescindíveis para que ocorram todas as reações químicas do metabolismo primário celular, como fotossíntese, via glicolítica, Ciclo de Krebs. Portanto, a deficiência em nitrogênio é caracterizada pela clorose (amarelecimento) geral das folhas e baixas taxas de crescimento (PAULILO et al., 2015).

Pelo nitrogênio ser um nutriente de alta mobilidade dentro do vegetal, os sintomas aparecem nas folhas mais velhas, onde as mesmas entram em senescência, visto que o nitrogênio se desloca para as folhas mais jovens da planta já que elas possuem uma demanda do nutriente maior quando comparadas as folhas mais velhas. O excesso de nitrogênio estimula acentuado crescimento da parte aérea da planta (folhas e ramos) e retarda a floração (PAULILO et al., 2015).

### **2.1.2 Fósforo (P)**

O fósforo está presente nas moléculas dos açúcares fosfatados que participam da fotossíntese, nas moléculas dos nucleotídeos do DNA e RNA, nos fosfolipídios presentes nas membranas, ATP, ADP, fosfato inorgânico e ácidos orgânicos fosforilados (PAULILO et al., 2015).

Um sintoma característico da deficiência de P na planta é a intensificação do tom de verde nas folhas, ocorrendo malformação e manchas necróticas nas mesmas, podendo em alguns casos apresentar uma coloração verde-amarelado das folhas, causado pelo acúmulo de antocianinas. O fósforo, assim como o nitrogênio, é um elemento de alta mobilidade dentro da planta e se desloca das partes mais velhas para as mais novas do vegetal, induzindo também a senescência das folhas mais antigas. A produção de sementes e frutos é reduzida e o caule da planta se apresenta mais curto quando este elemento está em déficit.

O excesso de fósforo estimula o crescimento mais das raízes do que da parte aérea, e em vários casos a aplicação de fertilizantes fosfatados é utilizada durante o transplante de plantas para estimular o estabelecimento de um sistema radicular forte (PAULILO et al., 2015).

### 2.1.3 Potássio (K)

O potássio é responsável por ativar várias enzimas no processo de fotossíntese e respiração, ocasionando problemas na síntese de amido e proteínas quando deficiente na planta. O nutriente também está ligado à osmorregulação, pois a água acaba fazendo o mesmo movimento de entrada e saída da célula assim como o K, o que causa variações na turgescência das células-guarda, sendo fator determinante para a abertura ou fechamento dos estômatos. Possui também influência nos movimentos de abertura e fechamento das folhas durante o dia e mudanças na orientação das folhas com relação ao Sol.

Na ausência de potássio, os estômatos não se abrem, impedindo a entrada de carbono para a fotossíntese. Da mesma forma, com os estômatos fechados, a corrente transpiratória que carrega todos os elementos minerais do solo para as partes aéreas da planta fica prejudicada, o que pode comprometer toda a nutrição mineral do vegetal (PAULILO et al., 2015).

Os sintomas de deficiência desse elemento aparecem primeiro nas folhas mais velhas, já que o potássio possui alta mobilidade dentro do vegetal e se caracteriza por clorose e lesões necróticas nas margens das folhas. As plantas possuem baixa estatura e são susceptíveis ao ataque das raízes por fungos.

### 2.1.4 Cálcio (Ca)

O cálcio é importante na divisão celular, já que está ligado a formação do fuso mitótico onde orienta a lamela média além de fazer parte da própria como pectato de cálcio. É mensageiro secundário dos mecanismos de ação hormonal e de respostas a fatores ambientais, além também de ser necessário na estabilização das membranas e regulação da atividade de várias enzimas.

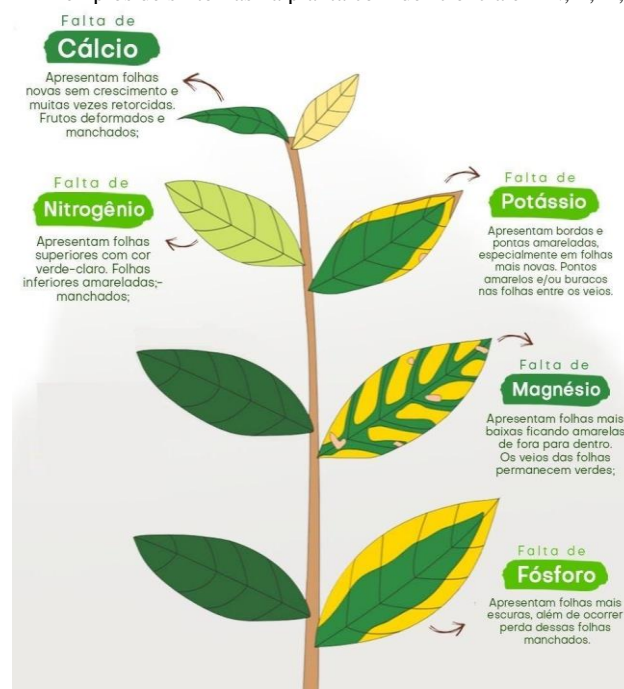
Um sintoma característico da deficiência em cálcio é o aparecimento de folhas jovens deformadas (devido à divisão assimétrica das células) e necróticas e morte dos meristemas. O crescimento das raízes também é prejudicado por causa do enfraquecimento da lamela média e, como o cálcio é um elemento relativamente imóvel dentro da planta, os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais jovens (PAULILO et al., 2015).

### 2.1.5 Magnésio (Mg)

O magnésio é componente da unidade de porfirina da clorofila, é estabilizador da estrutura dos ribossomos, ativador de enzimas como as da fotossíntese ribulose bifosfato e a fosfoenolpiruvato carboxilase, e liga as moléculas de ATP aos sítios ativos das enzimas

De acordo com Paulilo et al., (2015) por ser um elemento móvel na planta, o magnésio se desloca das partes mais velhas para as mais novas, provocando clorose nas porções mais antigas graças a degradação da clorofila nas regiões entre as nervuras, já que os cloroplastos nesse local são menos sensíveis ao déficit de Mg e reserva a clorofila por mais tempo.

Figura 2 - Exemplos de sintomas na planta com deficiência em N, P, K, Mg e Ca



Fonte: Grow Garden (2022).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área de estudo

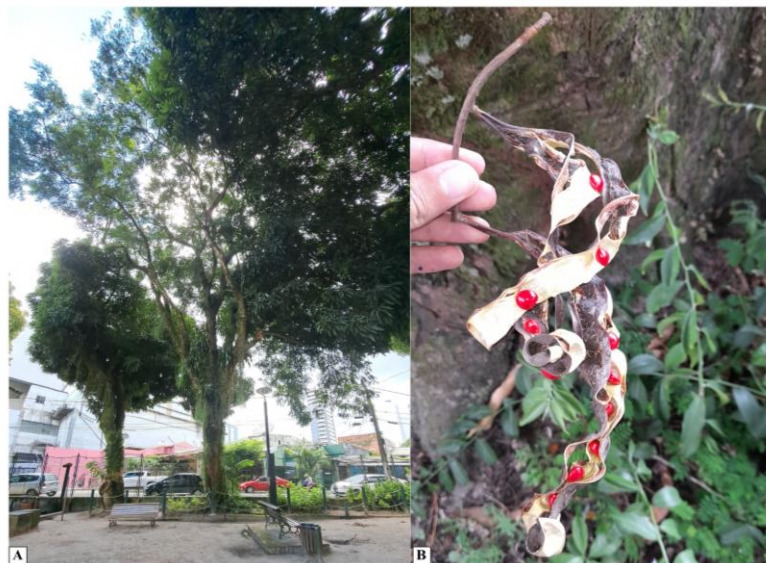
O experimento foi conduzido na casa de vegetação permanente Prof<sup>a</sup> Selma Ohashi, pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias (ICA), da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – campus Belém (01° 27' 21" S, 48° 30' 16" W), durante o período de julho 2023 a fevereiro de 2024. O clima local é classificado como Af, segundo Köppen, apresentando 26,7 °C de temperatura média e pluviosidade média anual de 2085 mm, umidade média de 84,9% e cobertura de nuvens elevada durante todo o ano.

### 3.2 Coleta de dados

As sementes de *Adenantha pavonina* L. utilizadas para a formação de mudas foram

coletadas em maio de 2023 na Praça Milton Trindade (Horto Municipal), bairro da Batista Campos – Belém ( $01^{\circ} 27' 29.7''$  S,  $48^{\circ} 29' 13.9''$  W), oriundas da mesma matriz (árvore aparentemente sem injúrias, com frutos deiscentes contendo sementes avermelhadas). Para a coleta das sementes, efetuou-se primeiramente uma abscisão das vagens (que estavam caídas próximas à matriz) e a retirada das sementes, posteriormente com o auxílio de um podão foram retirados alguns frutos que se situavam na parte aérea da árvore. O critério de seleção as sementes que não possuíam dilatação do tegumento, sem apresentação de injúrias e apresentavam um pigmento avermelhado lustroso, as sementes que tinham essas características foram separadas, lavadas em água corrente depois secadas ao ar livre e, logo após, armazenadas em recipientes de vidro para posteriormente serem submetidas a tratamentos pré-germinativos.

Figura 3 - [A]: Árvore matriz; [B]: Vagem com sementes de *Adenantha pavonina* L.



Fonte: Os autores (2024).

### 3.3 Tratamentos pré-germinativos

Para a superação da dormência tegumentar utilizou-se os seguintes tratamentos pré-germinativos: desponte por atrito em lixa de madeira (100 mm) no lado do hilo e embebidas em água deionizada por 24h para dilatação do tegumento favorecendo assim a quebra de dormência.

Figura 4 - Quebra da dormência das sementes de *Adenantha pavonina* L.



Fonte: Os autores (2024).

### 3.4 Implantação do experimento

A implantação do experimento ocorreu em julho de 2023, onde foi feita a semeadura de 400 sementes em vasos de 0,5 Kg dividindo-se em 8 sementes por vaso contendo como substrato terra orgânica, pois como a areia é um substrato recomendado pela RAS (BRASIL, 1992), mas apresenta o inconveniente de drenar a água, acarretando ressecamento na parte superior do substrato, além de ser muito pesada, o que dificulta o manuseio das caixas, vasos e recipientes no germinador (FIGLIOLIA et al., 1993). Desta forma foi utilizado terra orgânica (substrato) coletada em janeiro de 2023 em uma área residencial localizada na Travessa Rui Barbosa, bairro da Batista Campos – Belém (1° 27' 37.7" S, 48° 29' 08.2" W) possuindo as características mencionadas na tabela 1, no qual a mesma passou por peneiração.

**Tabela 1:** Análise química do solo da camada de 0-20 cm de profundidade.

Prof.	pH	MO	P	K <sup>+</sup>	Ca+Mg	Ca <sup>2+</sup>	Al	H+Al	SB	CTC (pH7)	V* m**
-	CaCl <sub>2</sub>	g/Kg	mg/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>						%	
0-20	3,5	29	6	0,6	6	4	18	133	7	140	5 72

pH = potencial hidrogeniônico; MO = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H = hidrogênio; CTC = capacidade de troca catiônica; SB = soma de bases; \*saturação por bases, \*\*Saturação por alumínio.

**Tabela 2:** Análise granulométrica do solo da camada de 0-20 cm de profundidade.

Camada	argila	areia	silte	Classificação textural
cm	g kg <sup>-1</sup>			SBCS*

0-20	212	693	95	Franco-argiloarenosa
------	-----	-----	----	----------------------

\*Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Em agosto de 2023 foi preparado o substrato (terra orgânica) para o transplântio das mudas, onde o mesmo precisou ser adubado da seguinte forma: 0,167 g de ureia; 0,17 g de superfosfato simples; 0,103 g de cloreto de potássio e 0,046 g de sulfato de manganês para cada 3 Kg de substrato. Posteriormente, foram escolhidas as 50 melhores mudas em bom estado de fitossanidade e homogeneidade (altura em torno de 15 cm) as quais passaram por lavagem de raízes para o transplântio em vasos de 3 Kg (etiquetados com as especificações dos tratamentos).

O experimento foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 3x2 (3 doses de cádmio e 2 de brassino), sendo as doses do metal 0 mg/L, 15 mg/L e 30 mg/L e do hormônio 0  $\mu$ m e 100  $\mu$ m, onde cada tratamento possuiu 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais composta cada uma por 1 muda de *A. pavonina* conforme o representado na figura 5.

Figura 5 - Exemplo das unidades experimentais



Fonte: Os autores (2024).

Em outubro, após 11 semanas em aclimação, ocorreu na casa de vegetação a aplicação das dosagens de 24-Epbrassinolídio nos vasos identificados com a etiqueta “BR100”. O hormônio foi aplicado no volume de 10 ml (figura 6), sendo a distribuição feita diretamente na parte aérea (folhas) em 4 direções e acima das mesmas com um pulverizador no qual a muda se localizava sobre uma mesa de vegetação separada das demais para que o hormônio não se espalhasse devido a ação do vento, sendo realizadas 4 aplicações de brassino nas plantas com

intervalos de 7 dias para cada aplicação (totalizando 1 mês da utilização do hormônio nas unidades experimentais).

Figura 6 – Aplicação do hormônio nas plantas



Fonte: Os autores (2024)

Em novembro, após 17 semanas de experimento, foi realizado na casa de vegetação a aplicação da dose única do metal (Dia 0) nas plantas, onde foi preparado 400 ml de solução possuindo as concentrações de 0, 15 e 30 mg/L de cádmio, sendo aplicado na forma de cloreto de Cd ( $\text{CdCl}_{2.5}/2\text{H}_2\text{O}$ ) juntamente com água deionizada, de forma ordenada conforme as etiquetas de identificação.

Figura 7 - [A], [B], [C]: Preparo da solução com cloreto de Cd e água deionizada; [D]: Aplicação da solução na unidade experimental; [E]: Disposição das unidades experimentais na casa de vegetação



Fonte: Os autores (2024).

Em fevereiro de 2024 (depois de 13 semanas da administração da solução com o metal), após 191 dias do transplante as plantas apresentaram brandos sinais de toxidez (clorose e epinastia), sendo assim, coletados os materiais para a realização de análises nutricionais, onde as raízes foram lavadas em água corrente e o substrato contaminado separado e alocado em local seguro para seu descarte adequado. As unidades experimentais foram separadas em folha, caule e raiz, armazenados em sacos de papel kraft e levados à estufa de ventilação de ar forçada a 65°C por 72 h.

Figura 8 - Preparação das partes das unidades experimentais (folha, caule e raiz) para as análises nutricionais



Fonte: Os autores (2024).

### 3.5 Análises das amostras

As análises de Macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) foram realizadas no laboratório de Física do Solo do campus de pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG, Belém – PA), de acordo com metodologia preconizada por TEDESCO et al. (1995).

#### 4.5.1 Digestão das amostras

Com a obtenção do material seco e moído, foram pesados 200mg de cada amostra e colocados em tubos digestores. Adicionou-se aos tubos 1mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%, 2mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e 700mg da mistura de digestão (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, 5H<sub>2</sub>O e Selênio). Os tubos foram levados para o bloco digestor inicialmente à 160-180°C (até evaporar a água), posteriormente a temperatura foi aumentada para 350-375°C, sendo mantidos nesta temperatura após o clareamento (cor amarelo-esverdeada) por uma hora.

Retirou-se os frascos do bloco digestor e após resfriamento o volume foi completado com H<sub>2</sub>O destilada até 50mL, sendo o conteúdo dos tubos digestores transferido para tubos de Falcon de 50mL, obtendo assim o extrato em que se retiraram as alíquotas para as determinações.

#### 4.5.2 Nitrogênio (N)

10ml do extrato de digestão foram pipetados para balão de destilação de 100ml, adicionando-se 5mL de NaOH 10M, iniciando-se assim a destilação com destilador de arraste

de vapor (micro-Kjeldahl). Destilou-se até coletar aproximadamente 35- 40mL, seguindo-se titulação com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025M. Cada mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025M utilizado na titulação corresponde a 700µg de N. Foram feitos os cálculos a partir da fórmula: %N= (mLH+am – mL H+br) x 700 x 5 x 5/ 10.000.

#### 4.5.3 Fósforo (P)

1ml do extrato de digestão foi pipetado para tubos de ensaio comuns, adicionando-se 2mL de H<sub>2</sub>O destilada, 3mL de solução P-B (Molibdato de amônio) e 3 gotas de solução P-C (ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfônico). Seguiu-se agitação e após 15 min as leituras foram realizadas em espectrofotômetro à absorvância de 660nm. Cada 0,002 de absorvância corresponde à aproximadamente 0,0015% de P na amostra.

Cálculos:

- a) Curva padrão de P.
- b) Fator de concentração: determinado pela curva padrão.
- c) Fator de diluição:  $fd = 50/0,20 \times 3/1 \times 6/3 = 1.500$
- d) Teor de P:P (%) = leitura x fc x fd/10.000

#### 4.5.4 Potássio (K)

1ml do extrato de digestão foi pipetado para tubos de ensaio comuns, adicionando-se 10mL de H<sub>2</sub>O destilada, e em seguida foi determinada a emissão de luz no fotômetro de chama.

Cálculos:

- a) Curva padrão de K.
- b) Concentração na solução final, determinada pela curva padrão.
- c) Fator de diluição:  $fd = 50/0,20 \times 11/1 = 2.750$
- d) Teor de K: K (%) = leitura x cs x fd/10.000

#### 4.5.5 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

2,5ml do extrato de digestão foi pipetado para tubos de ensaio comuns, adicionando-se 2,5mL de H<sub>2</sub>O destilada, e 5mL da solução de Sr (Estrôncio) 0,3% em HCl 0,2M. Determinou-se a absorvância do Ca no fotômetro de absorção.

Retirou-se 5mL do extrato utilizado para determinar a absorvância de Ca, adicionando 10mL de H<sub>2</sub>O destilada, e seguiu-se determinação da absorvância do Mg no fotômetro de absorção.

Cálculos:

- a) Cálcio
  - a.1) Curva padrão de Ca.
  - a.2) fator de concentração (fc)
  - a.3) fator de diluição:  $fd = 50/0,20 \times 5/2,5 \times 10/5 = 1.000$

a.4) Teor de Ca:  $Ca (\%) = \text{leitura} \times f_c \times f_d / 10.000$

b) Magnésio

### 3.6 Análise de dados

A análise estatística das variáveis e geração dos gráficos foi realizada através do software R-Studio, versão 1.4.1717 (R Project for Statistical Computing, RRID:SCR\_001905) (RStudio, 2021). Para identificar diferenças estatísticas entre as dosagens de cádmio e do hormônio 24-epibrassinolídeo, foi utilizado a package ExpDes.pt e a função “fat2.dbc”, o qual realiza análise de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk, foi realizado também o teste de homoscedasticidade pelo teste de Levene. Após, foi feito a ANOVA e posteriormente teste Post-Hoc de Tukey. Para todas as análises foi considerado o nível de significância de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teor de nitrogênio (N)

Os teores de nitrogênio no sistema radicular quando comparamos as dosagens 0 mg/L; 15 mg/L e 30 mg/L de Cd foram decrescentes nas unidades experimentais que não houve dosagens de Brassino (Br 0), onde as concentrações do nutriente obtidas foram 3,98 mg/Kg; 3,92 mg/Kg e 3,35 mg/Kg, portanto identificou-se uma diminuição mais latente de 14,5% entre as dosagens de 15 mg/L e 30 mg/L do metal.

À medida que as dosagens de Cd de 0 mg/L e 15 mg/L foram comparadas nas unidades experimentais com Brassino (Br 100), os teores de nitrogênio no sistema radicular diminuíram, obtendo uma diferença de 15,81% entre suas concentrações que foram 4,49 mg/kg e 3,78 mg/kg respectivamente. Entretanto, quando comparamos os teores de 15 mg/L e 30 mg/L do metal, onde tiveram o resultado de 3,78 mg/kg e 3,84 mg/kg constatou-se que ocorreu um incremento do nutriente de 1,59%.

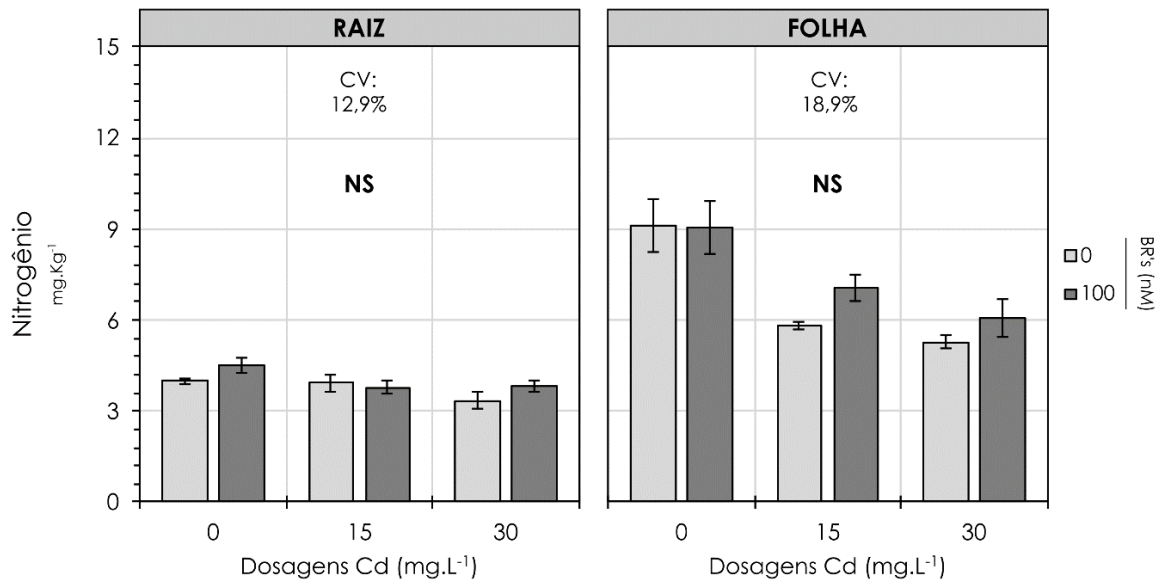
Com relação a área foliar, observou-se que ocorreu o declínio das concentrações de nitrogênio (9,11 mg/Kg; 5,81 mg/Kg e 5,27 mg/Kg) quando as unidades experimentais foram expostas ao metal sem a presença do Brassino (Br 0), notando-se um declínio mais evidente do nutriente de 36,22% nas concentrações de 0 mg/L e 15 mg/L do Cd.

Já nas plantas que foram submetidas a dosagens do hormônio (Br 100) e do metal, observou-se que houve o decréscimo das concentrações do nutriente (9,06 mg/Kg; 7,06 mg/Kg

e 6,05 mg/Kg), com diminuição de 22,07% entre os teores de 0 mg/L e 15 mg/L do metal e 14,31 entre as concentrações de 15 mg/L e 30 mg/L do Cd como exposto na tabela 3 e figura 9.

Figura 9 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0 e 100 nM) nos teores de nitrogênio na raiz e folha de mudas de *Adenanthera pavonina* L sob diferentes doses de cádmio (0, 15 e 30 mg. L<sup>-1</sup>). NS: Não significativo ( $p > 0,05$ ).

Média ± Erro padrão.



Fonte: Os autores (2024)

**Tabela 3.** Comparação de médias de “Dosagens de Cádmio” e “Dosagens de Brassino” para variável nitrogênio

<b>Raiz</b>			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	3.98	4.49	4.24 a
15	3.92	3.78	3.84 ab
30	3.35	3.84	3.59 b
Médias	3.74 a	4.04 a	--
<b>Folha</b>			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	9.11	9.06	9.08 a
15	5.81	7.06	6.43 b
30	5.27	6.05	5.66 b
Médias	6.73 a	7.39 a	--

Fonte: Os autores (2024)

Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos BR's ( $p < 0,05$ ) com base no teste de Tukey. Média ± Erro padrão.

De uma forma geral, notou-se que o Brassino apesar de melhorar a absorção do nutriente, não foi capaz de aumentar significativamente os teores do nitrogênio nas plantas conforme as mesmas foram sendo expostas as dosagens maiores do cádmio (figura 10; tabela

1). Esta diminuição do nitrogênio nas plantas possivelmente ocorreu já que presença do metal pode afetar negativamente a absorção de fontes nitrogenadas pois ocorre a degradação da membrana plasmática, onde o processo de assimilação começa afetando a assimilação de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) (HUANG; XIONG, 2009; SHAHID et al., 2019; SINGH; PRASAD, 2017). O cádmio pode também trocar de lugar com o nitrato e o nitrito nos sítios de ligação da enzima redutase do nitrato (RN), diminuindo a atividade enzimática assim como impossibilitar que o indivíduo absorva mais o nutriente (SINGH; SINGH; SHAH, 2019).

A manutenção desse nutriente possui considerável relevância para os casos de estresse pelo Cd. HUANG et al., (2020a) cita que o nitrogênio se expressa como base para a síntese de aminoácidos, sendo este fundamental para a formação de complexos quelantes, como as fitoquelatinas e glutationinas. Esta relação, inclusive, tem sido extensamente estudada, tornando a adubação nitrogenada importante via para a intensificação da fitoextração e da mitigação dos efeitos tóxicos do metal (ATA-UL-KARIM et al., 2020; LIN et al., 2020; MAQBOOL et al., 2020; ZENG et al., 2020).

#### **4.2 Teor de fósforo (P)**

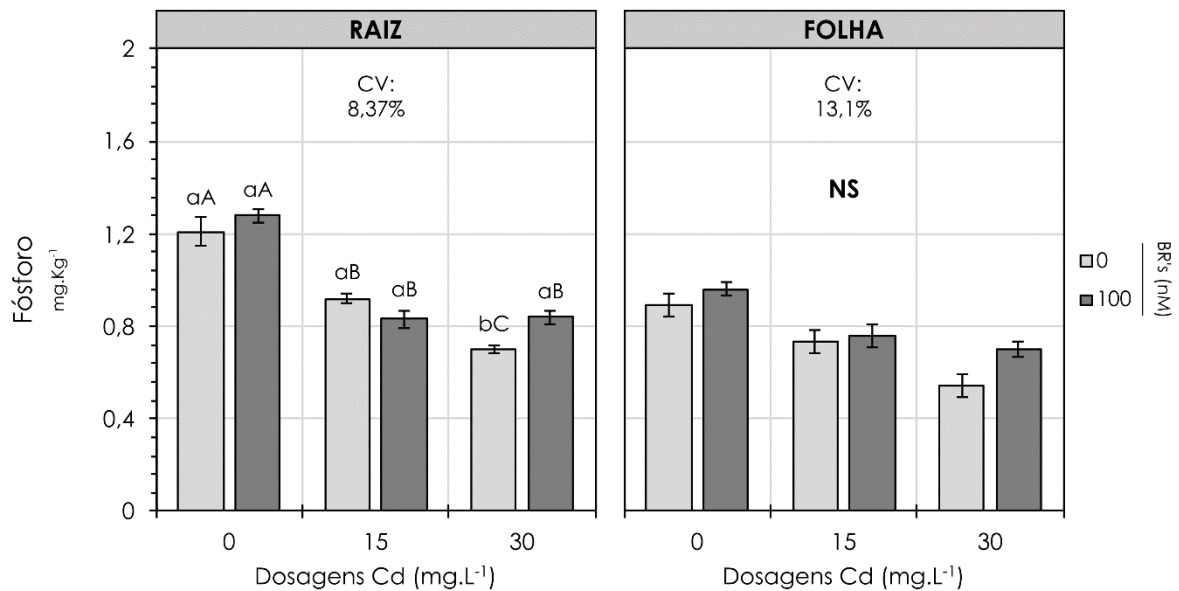
Os teores de fósforo na área radicular demonstraram decréscimo nas unidades experimentais que não ocorreram adição do Brassino (1,21 mg/Kg; 0,92 mg/Kg e 0,70 mg/Kg) que foram expostas as concentrações do metal, obtendo uma diminuição constante de 23,9% do nutriente. Já nas plantas que tiveram a aplicação do hormônio (Br 100) e houve a exposição ao metal, transcorreu-se uma diminuição significativa de 35,6% dos teores de fósforo entre os tratamentos 0 mg/L e 15 mg/L do Cd (1,28 mg/Kg e 0,83 mg/Kg nesta ordem) e um sucinto aumento de 1,20% na dosagem de 30 mg/L do metal quando comparado a dosagem de 15 mg/L (0,84 mg/Kg e 0,83 mg/Kg) como demonstra a tabela 4.

Para a área foliar identificou-se que houve uma diminuição do nutriente na ausência da exposição das unidades experimentais ao Brassino (BR 0) com relação aos teores de cádmio, ocorrendo um decréscimo mais acentuado de 26,03% do fósforo nas concentrações de 15 mg/L e 30 mg/L do metal (0,73 mg/Kg e 0,54 mg/Kg respectivamente) em comparação a 17,98% do nutriente nas concentrações de 0 mg/L e 15 mg/L do Cd (0,89 mg/Kg e 0,73 mg/Kg) conforme a tabela 4.

Em referência às plantas que foram expostas ao hormônio (Br 100) e as concentrações de cádmio, observou-se uma relação inversa quando comparada as mudas que não foram submetidas ao Brassino, pois a diferença da quantidade de fósforo nas folhas foi mais evidente entre as dosagens 0 mg/L e 15 mg/L do cádmio (0,96 mg/Kg e 0,76 mg/Kg), ocorrendo uma

diminuição de 20,83% do nutriente quando relacionadas aos teores de 15 mg/L e 30 mg/L do metal (0,76 mg/Kg e 0,70 mg/Kg) com o decréscimo de 7,89% do fósforo como apresenta a tabela 4 juntamente a figura 10.

Figura 10 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0 e 100 nM) nos teores de fósforo na raiz e folha de mudas de *Adenantha pavonina* L sob diferentes doses de cádmio (0, 15 e 30 mg.L<sup>-1</sup>). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos BR's (p < 0,05) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre as dosagens de cádmio (p < 0,05) com base no teste de Tukey. NS: Não significativo (p > 0,05). Média ± Erro padrão.



Fonte: Os autores (2024)

**Tabela 4.** Comparação de médias de “Dosagens de Cádmio” e “Dosagens de Brassino” para variável fósforo

Raiz			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	1.21 aA	1.28 aA	1.24
15	0.92 aB	0.83 aB	0.87
30	0.70 bC	0.84 aB	0.77
Médias	0.94	0.98	--
Folha			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	0.89	0.96	0.92 a
15	0.73	0.76	0.75 b
30	0.54	0.70	0.62 c
Médias	0.72 b	0.81 a	--

Fonte: Os autores (2024)

Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos BR's (p < 0,05) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre as dosagens de cádmio (p < 0,05) com base no teste de Tukey. NS: Não significativo (p > 0,05). Média ± Erro padrão.

Portanto, ocorreu redução no teor de P tanto na área radicular quanto na foliar, o que concorda com a alegação de Kabata-Pendias & Pendias (1984) onde diz que a existência de metais pesados, como o cádmio, ocasiona antagonismo na assimilação do fósforo. Uma possível explicação, seria porque o Cd se associa aos íons fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) formando complexos insolúveis  $\text{Cd-H}_2\text{PO}_4^-$  o que limitaria a mobilização e a biodisponibilidade do  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (SIEBERS et al., 2013).

Quando a absorção de fósforo está deficiente, a mesma pode influenciar a biomassa da planta, reduzir a quantidade de Cd livre na planta pela formação de fosfato de Cd e aumentar a superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e a atividade da catalase (CAT) (SARWAR et al., 2010). Segundo LEE et al., (2018); ZHAO et al., (2020b) existe uma relação entre essa redução nos teores de fósforo e a capacidade das fontes fosfatadas de responder com o cádmio, imobilizando-o em formas estáveis como fosfato de Cd ( $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ ) ou diidrogenofosfato de Cd ( $\text{Cd}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ), podendo diminuir a disponibilidade do próprio nutriente, o que pode explicar a diminuição do fósforo na planta.

Dessa forma, a nutrição fosfatada assume relevância iminente, visto que a deficiência do nutriente está intimamente associada ao retardamento da atividade fotossintética, uma vez que reduz as atividades de fosforilação, desregula a cadeia transportadora de elétrons e inibe a ação da enzima ribulose bisfosfato carboxilase / oxigenase (rubisco), desajustando as fases de carboxilação e regeneração da etapa bioquímica da fotossíntese (CETNER et al., 2020; CARSTENSEN et al., 2018; SANTOS et al., 2017).

#### **4.3 Teor de potássio (K)**

Em relação ao elemento potássio, foi identificado o decréscimo das concentrações do nutriente na área radicular para as unidades experimentais que não foram submetidas ao tratamento de Brassino (Br 0), sendo a maior porcentagem de diminuição do nutriente (23,41%) entre as concentrações de 0 mg/L e 15 mg/L do metal (2,99 mg/Kg e 2,29 mg/Kg).

Para as unidades experimentais que tiveram a aplicação do hormônio (Br 100), ocorreu situação semelhante citada anteriormente, onde também ocorreu um decréscimo maior do potássio (26,23%) nas raízes entre as concentrações de 0 mg/L e 15 mg/L do metal (3,05 mg/Kg e 2,25 mg/Kg) quando comparada a diminuição de 18,22% nas concentrações de 15 mg/L e 30 mg/L do cádmio sendo demonstrado na figura 11 e tabela 5.

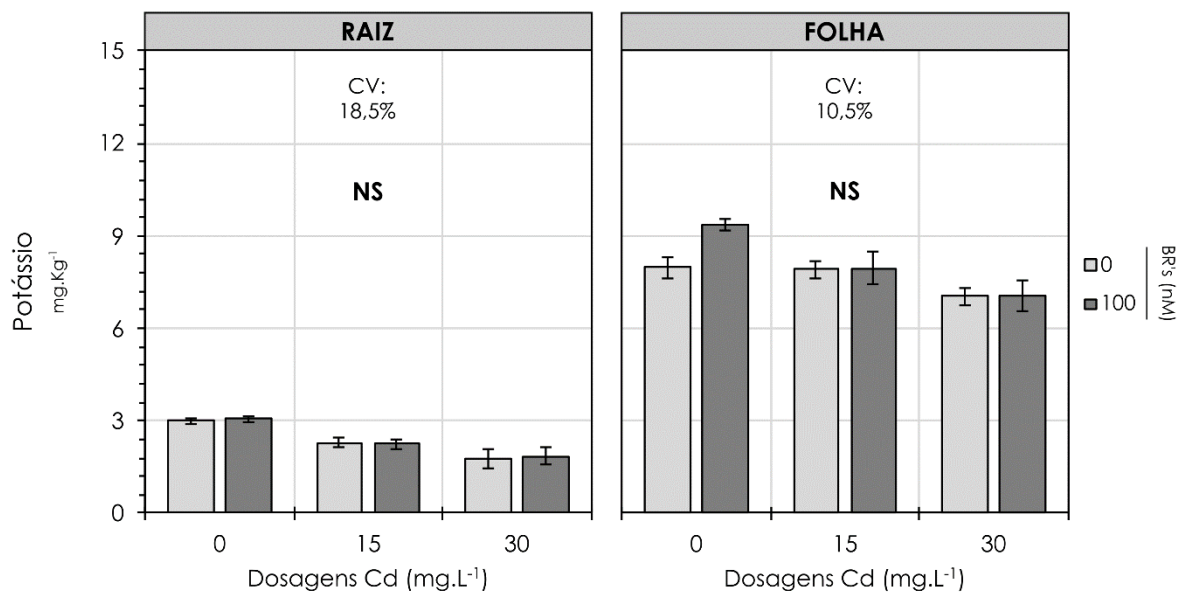
No que se refere aos teores de potássio na área foliar, as mudas que tiveram ausência do tratamento de Brassino ocorreu a diminuição das concentrações do nutriente nas folhas, sendo observado o maior decréscimo do elemento (11,12%) nos valores de 15 mg/L e 30 mg/L do

cádmio (7,91 mg/Kg e 7,03 mg/Kg) em comparação ao índice de 0 mg/L e 15 mg/L do metal (0,75%).

Para os valores de K nas folhas onde as unidades experimentais que foram submetidas ao tratamento do hormônio (Br 100), transcorreu uma diminuição de 14,96% nos níveis do nutriente nas concentrações de 0 mg/L e 15 mg/L do Cd (9,36 mg/Kg e 7,96 mg/Kg) como mostra a tabela 5 juntamente com a figura 11.

Figura 11 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0 e 100 nM) nos teores de potássio na raiz e folha de mudas de *Adenanthera pavonina* L sob diferentes doses de cádmio (0, 15 e 30 mg. L<sup>-1</sup>). NS: Não significativo (p > 0,05).

Média ± Erro padrão.



Fonte: Os autores (2024)

**Tabela 5.** Comparação de médias de “Dosagens de Cádmio” e “Dosagens de Brassino” para variável potássio

<b>Raiz</b>			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	2.99	3.05	3.02 a
15	2.29	2.25	2.27 b
30	1.79	1.84	1.81 b
Médias	2.35 a	2.38 a	--
<b>Folha</b>			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	7.97	9.36	8.66 a
15	7.91	7.96	7.93 ab
30	7.03	7.04	7.03 b
Médias	7.63 a	8.12 a	--

Fonte: Os autores (2024)

Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos BR's (p < 0,05) com base no teste de Tukey.

Média ± Erro padrão.

Esta diminuição do potássio nas plantas pode estar associada ao estresse por Cd, devido ao seu efeito de diminuição do influxo de  $K^+$ , em decorrência da despolarização da membrana celular, e do bloqueio dos canais de entrada deste nutriente nas raízes, através da ligação do Cd aos poros destes canais (ABBAS et al., 2020; KAYA et al., 2020; LI et al., 2012). Além disso, o metal pode também estimular a abertura e o aumento da atividade de canais de efluxo de  $K^+$ , provável resultado de mudanças provocadas por danos oxidativos no sistema radicular (DEMIDCHIK, 2014; LI et al., 2012, WANG et al., 2018), o que explicaria o fato das raízes ficarem com a coloração escura.

Estudos apontam efeito antagônico entre o Cd e o fosfato (CUI et al., 2016). Siebers et al., (2013) argumenta que um provável motivo para isto ocorrer seria em razão dos íons de fosfato ( $H_2PO_4^-$ ) formarem complexos insolúveis  $Cd-H_2PO_4$ , o que restringiria a movimentação e a biodisponibilidade do  $H_2PO_4^-$ .

#### **4.4 Teor de magnésio (Mg)**

Para os valores de magnésio na área radicular das unidades experimentais que não tiveram contato com o Brassino, constatou-se que houve diminuição das concentrações do nutriente em todas as dosagens do metal, demonstrando maior declínio do nutriente (21,85%) entre as concentrações de 15 mg/L e 30 mg/L do metal (2,38 mg/Kg e 1,86 mg/Kg) quando comparado ao decréscimo de 19,59% nos valores de 0 mg/L e 15 mg/L de Cd (2,96 mg/Kg e 2,38 mg/Kg).

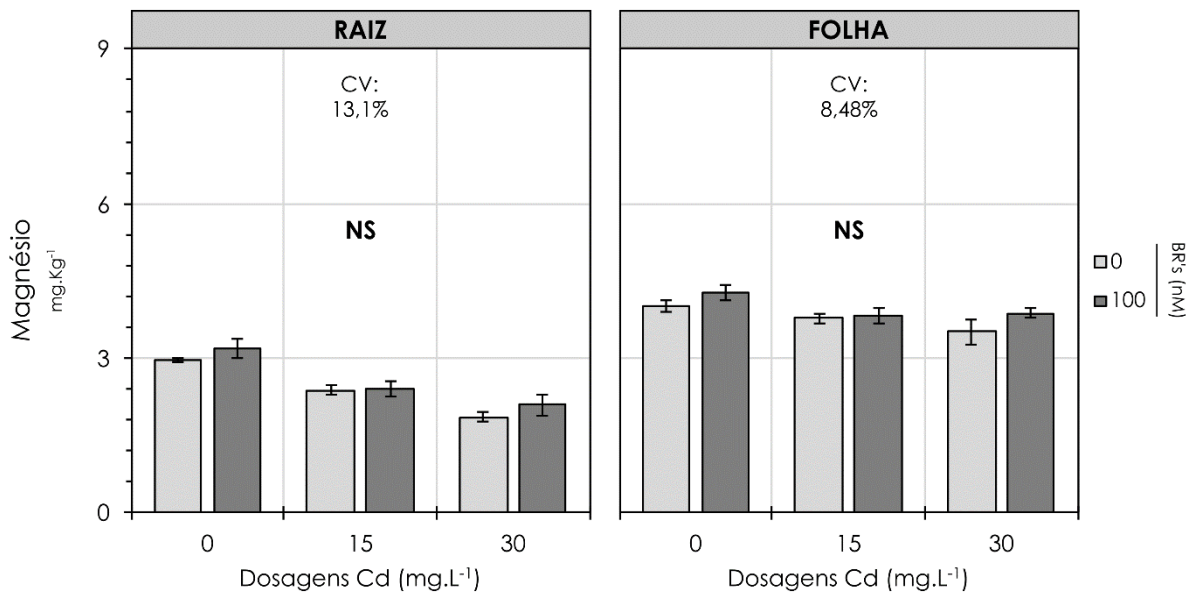
No que diz respeito às plantas que tiveram contato com o tratamento do hormônio (Br 100), também ocorreu decréscimo dos índices de magnésio nas raízes, observando-se a ocorrência de situação antagônica à que se apresentou nas unidades não submetidas ao Brassino, onde a diferença maior dessas concentrações (24,53%) transcorreu nos valores de 0 mg/L e 15 mg/L do metal (3,18 mg/Kg e 2,40 mg/Kg) comparado a diminuição de 12,92% do nutriente nos índices 15 mg/L e 30 mg/L do cádmio (2,40 mg/Kg e 2,09 mg/Kg).

Acerca do nutriente na área foliar das plantas que não ocorreu interação com o hormônio, houve a diminuição das concentrações do Mg, considerando a maior diferença (6,90%) entre os valores de 15 mg/L e 30 mg/L do cádmio (3,77 mg/Kg e 3,51 mg/Kg) em contraste ao diminuição (6,22%) entre os valores de 0 mg/L e 15 mg/L do metal (4,02 mg/Kg e 3,77 mg/Kg).

No que se refere as mudas que tiveram a aplicação do hormônio (Br 100), ocorreu uma redução do magnésio (10,51%) nas dosagens 0 mg/L e 15 mg/L do cádmio (4,28 mg/Kg e 3,83 mg/Kg), todavia, verificou-se um suave incremento do valor do nutriente de 1,30% em contraste aos teores 15 mg/L e 30 mg/L do metal (3,83 mg/Kg e 3,88 mg/Kg) como evidenciado na figura 12 e tabela 6.

Figura 12 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0 e 100 nM) nos teores de magnésio na raiz e folha de mudas de *Adenanthera pavonina* L sob diferentes doses de cádmio (0, 15 e 30 mg. L<sup>-1</sup>). NS: Não significativo ( $p > 0,05$ ).

Média ± Erro padrão.



Fonte: Os autores (2024)

**Tabela 6.** Comparação de médias de “Dosagens de Cádmio” e “Dosagens de Brassino” para variável magnésio

Raiz			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	2.96	3.18	3.07 a
15	2.38	2.40	2.39 b
30	1.86	2.09	1.97 c
Médias	2.34 a	2.56 a	--
Folha			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	4.02	4.28	4.15 a
15	3.77	3.83	3.80 ab
30	3.51	3.88	3.70 b
Médias	3.77 a	3.99 a	--

Fonte: Os autores (2024)

Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos BR's ( $p < 0,05$ ) com base no teste de Tukey. Média ± Erro padrão.

Como o  $Mg^{2+}$  é um elemento ponte para a agregação das subunidades dos ribossomos, importante para formação da clorofila (MARSCHNER, 1995), o cádmio possivelmente substituiu este nutriente nesta molécula, já que a diminuição do  $Mg^{2+}$  que passam pelo processo de toxidez por este metal ocorre devido o  $Cd^{2+}$  competir com os transportadores de membrana desse mineral (HE et al., 2013). O cádmio também pode ter modificado a estrutura da rubisco, resultando na dissociação desta enzima em subunidades, o que pode ser devido à substituição do magnésio pelo Cd (KURDZIEL et al., 2004).

O que como consequência pode ter causado a menor disponibilidade do nutriente nas partes estudadas e afetando o desenvolvimento das plantas, podendo ocasionar um efeito desfavorável no metabolismo da molécula de clorofila, posteriormente, causando a diminuição de fotoassimilados e como consequência um menor crescimento da planta.

#### 4.5 Teor de cálcio (Ca)

Quanto ao macronutriente cálcio, foi identificado um decréscimo constante das concentrações do nutriente na área radicular para as unidades experimentais que não foram submetidas ao tratamento de Brassino (Br 0), ocorreu uma diminuição de 17,81% do nutriente entre as dosagens de cádmio 0 mg/L e 15 mg/L (1,46 mg/Kg e 1,20 mg/Kg), enquanto houve um decréscimo de 21,66% entres os teores 15 mg/L e 30 mg/L do metal (1,20 mg/Kg; 0,94 mg/Kg).

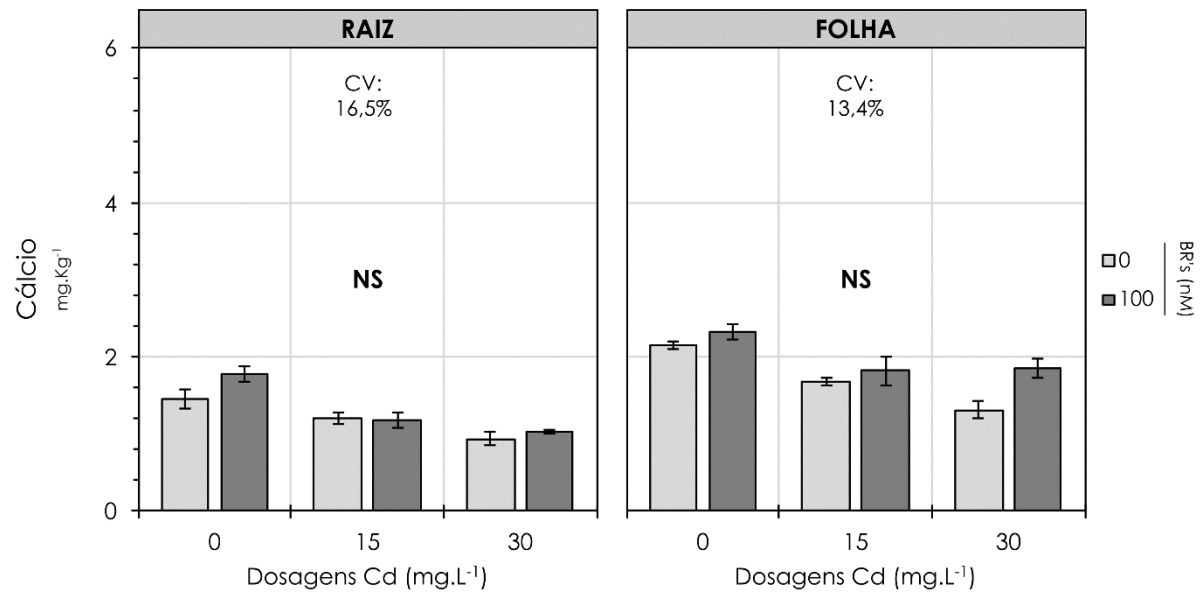
Para os componentes experimentais que tiveram a aplicação do hormônio (Br 100), aconteceu um decréscimo do nutriente nas raízes, observando-se maior diminuição (34,27%) nas concentrações de 0 mg/L e 15 mg/L do cádmio (1,78 mg/Kg e 1,17 mg/Kg) quando associada ao decréscimo de 11,96% na concentração de 30 mg/L do metal (1,03 mg/Kg).

Se tratando da área foliar, os níveis de cálcio para as plantas que não foram submetidas ao tratamento de Brassino (Br 0), constatou-se uma diminuição de 21,96% nos valores do nutriente entre as concentrações de 0 mg/L e 15 mg/L de cádmio (2,14 mg/Kg e 1,67 mg/Kg) e 21,55% no teor de 30 mg/L do metal (1,31 mg/Kg).

Na relação em que as plantas que tiveram a aplicação do hormônio (Br 100), houve uma redução de 21,89% do cálcio nas dosagens 0 mg/L e 15 mg/L do Cd (2,33 mg/Kg e 1,82 mg/Kg), entretanto, notou-se um leve aumento do índice do nutriente de 1,65% quando comparados os teores 15 mg/L e 30 mg/L do cádmio (1,82 mg/Kg e 1,85 mg/Kg) como evidenciado na figura 13 e tabela 7.

Figura 13 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0 e 100 nM) nos teores de cálcio na raiz e folha de mudas de *Adenanthera pavonina* L sob diferentes doses de cádmio (0, 15 e 30 mg.L<sup>-1</sup>). NS: Não significativo ( $p > 0,05$ ).

Média ± Erro padrão.



Fonte: Os autores (2024)

**Tabela 7.** Comparação de médias de “Dosagens de Cádmio” e “Dosagens de Brassino” para variável cálcio

Raiz			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	1.46	1.78	1.62 a
15	1.20	1.17	1.18 b
30	0.94	1.03	0.98 b
Médias	1.20 a	1.32 a	--
Folha			
Dosagens Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	Dosagens de 24-epibrassinolídeo (nM)		Médias
	0	100	
0	2.14	2.33	2.23 a
15	1.67	1.82	1.75 b
30	1.31	1.85	1.58 b
Médias	1.70 b	2.00 a	--

Fonte: Os autores (2024)

Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos BR's ( $p < 0,05$ ) com base no teste de Tukey. Média  $\pm$  Erro padrão.

Eller & Brix, (2016) citam que o cálcio trabalha como mensageiro secundário, modulando a atividade de várias proteínas. Com isso, o deslocamento do Ca da proteína calmodulina pelo Cd pode interferir na sua capacidade de funcionar corretamente na transdução de sinal e na regulação transcricional (DAL CORSO, MANARA, & FURINI, 2013).

O cálcio também desempenha o papel de cofator do núcleo catalítico inorgânico no fotossistema II (PSII), nas reações metabólicas que dependem de luz e no fluxo de elétrons dos fotossistemas, além de ser um elemento necessário para o desenvolvimento das plantas.

Portanto, Andrade Júnior, (2019) sugere que o Cd pode ter substituído o Ca durante a formação do núcleo catalítico e afetado a eficiência fotoquímica do PSII ou por competição, reduzindo absorção do Ca pelas raízes, resultando na diminuição da molécula de clorofila e afetado a atividade fotossintética da planta.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, constatou-se que aplicação de Cd afetou a absorção dos nutrientes N, P, K, Mg e Ca, ocasionando uma diminuição dos nutrientes, contudo esse decréscimo não foi significativo para que as mudas de *Adenantha pavonina* L. apresentassem na parte aérea consequências mais latentes (clorose acentuada e epinastia). Entretanto, o hormônio melhorou a absorção dos macronutrientes com e sem a influência do cádmio, excluindo a concentração de 15 mg/L do metal onde houve nas raízes das repetições uma diminuição das concentrações dos elementos N, P, K e Ca.

Detectou-se na análise estatística que o 24-epibrassinolídeo não se relacionou com as dosagens do metal, exceto na análise do nutriente fósforo na raiz, onde os dois tratamentos se correlacionaram.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, S.; JAVED, M. T.; SHAHID, M.; HUSSAIN, I.; HAIDER, M. Z.; CHAUDHARY, H. J.; TANWIR, K.; MAQSOOD, A. *Acinetobacter* sp. SG-5 inoculation alleviates cadmium toxicity in differentially Cd tolerant maize cultivars as deciphered by improved physio-biochemical attributes, antioxidants and nutrient physiology. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 155, p. 815-827, 2020.
- ALLOWAY, B. J. Cadmium. In: ALLOWAY, B. J. (ed.). *Heavy Metals in Soils*. 2. ed. London: **Blackie Academic & Professional**, 1995. p. 100-121.
- ALVES, M.M.; ALVES, E.U.; ARAÚJO, L.R.; ARAÚJO, P.C.; SANTOS NETA, M.M.S. Crescimento inicial de plântulas de *Adenanthera pavonina* L. em função de diferentes substratos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46 n.2, p.352-357, 2015.
- ANDRADE JÚNIOR, Waldemar Viana de et al. **Mecanismo de tolerância em plantas jovens de ucuúba (*Virola surinamensis* (Rol. ex Rottb.) Warb) expostas ao cádmio e potencial para fitoestabilização: Respostas fisiológicas, bioquímicas, nutricional e de crescimento**. 2019. Tese de Doutorado. UFRA/Campus Belém.
- ANDRADE, S. A. L. de; JORGE, R. A.; SILVEIRA, A. P. D. da. Cadmium effect on the association of jackbean (*Canavalia ensiformis*) and arbuscular mycorrhizal fungi. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 4, p. 389-394, 2005.
- ANURADHA, S.; RAO, S.S.R. Effect of 24-epibrassinolide on the growth and antioxidant enzyme activities in radish seedlings under lead toxicity. **Indian Journal Plant Physiology**, v. 12, p. 396–400, 2007.
- ARAUJO NETO, A.; MEDEIROS, J. G. F.; SILVA, B.; LEITE, R. P.; ARAUJO, P. C. & Oliveira, J. J. F. Ácido sulfúrico na superação da dormência de sementes de *Adenanthera pavonina* L. **Scientia Plena**. 8: 1-5, 2012
- ATA-UL-KARIM, S. T.; CANG, L.; WANG, Y.; ZHOU, D. Interactions between nitrogen application and soil properties and their impacts on the transfer of cadmium from soil to wheat (*Triticum aestivum* L.) grain. **Geoderma**, v. 357, p. 113923, 2020.
- BAKER A.J.M, MCGRATH S.P, SODOLI C.M.D E REEVES. D. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal accumulating plants. **Resources, Conservation and Recycling** 11: 41-49,1994.
- BATISTA, M.A., INOUE, T.T., ESPER NETO, M., and MUNIZ, A.S. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. *Hortaliças-fruto* [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0.

- BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, n. 1, p. 1–8, 2009.
- BASHIR, FL.; QURESHI, M.I.; IBRAHIM, M.M.; IQBAL, M. Chloroplast and photosystems: Impact of cadmium and iron deficiency. **Photosynthetica**, 53, 1-15, 2015
- BISINOTI MC, YABE MJS, GIMENEZ SMN (2004). Avaliação da influência de metais pesados no sistema aquático da bacia hidrográfica da cidade de Londrina – PR. **Revista Analytica** 8: 22-27.
- BIZZARO, G. V.; MEURER, E. J.; TATSCH, F. R. P. Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 247-250, 2008.
- BORCIONI, E. NEGRELLE, R. R. B. Aplicação de análogo de Brassinosteroide (Biobras 16) sobre a germinação e crescimento in vitro de embriões zigóticos e aclimatização de plântulas de bociuíva. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 270-272, 2012.
- BOŽILOVIĆ, Bojana et al. Influence of 24-Epibrassinolide on the Energetic Parameters and Early Stages of Growth and Development in Seedlings of Two Maize (*Zea mays* L.) Genotypes. **Agronomy**, v. 13, n. 7, p. 1673, 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- CARSTENSEN, A.; HERDEAN, A.; SCHMIDT, S. B.; SHARMA, A.; SPETEA, C.; PRIBIL, M.; HUSTED, S. The impacts of phosphorus deficiency on the photosynthetic electron transport chain. **Plant Physiology**, v. 177, n. 1, p. 271-284, 2018.
- CETNER, M. D.; KALAJI, H. M.; BORUCKI, W.; KOWALCZYK, K. Phosphorus deficiency affects the I-step of chlorophyll a fluorescence induction curve of radish. **Photosynthetica**, v. 58, SI 2020.
- CUI, X.; HAO, FL.; ZHANG, C.; HE, Z.; YANG, X. Capacity and mechanisms of ammonium and cadmium sorption on different wetland-plant derived biochars. **Science of the Total Environment**, 539, 566-575, 2016.
- CAMPOS, M. L.; GUILHERME, L. R. G.; LOPES, R. S.; ANTUNES, A. S.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N. Teor e capacidade máxima de adsorção de arsênio em latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1311-1318, 2007.
- CARNEIRO MAC, SIQUEIRA JO, MOREIRA FMS (2001). Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 36: 1443-1452.
- CHAVES, L. H. G. e SOUZA, R. S. Crescimento, distribuição e acumulação de cádmio em plantas de *Jatropha curcas*. **Revista de Ciências Agrárias**, 2014, 37(3): 286-291

- CHOUDARY, S. P. et al. Benefits of brassinosteroid crosstalk. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 10, p. 594–605, 2012.
- CHUGH, L.K.; SAWHNEY, S.K. Effect of cadmium on germination, amylase and rate of respiration of germinating pea seeds. **Environmental Pollution**, v.92, p.15,1996.
- CLEMENS, S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. **Planta**, v.212, p.475486,1999.
- CLOUSE, S. D. Brassinosteroid signal transduction: clarifying the pathway from ligand perception to gene expression. **Molecular Cell**, v. 10, n. 5, p. 973–982, 2002.
- CLOUSE, S. D. Brassinosteroid signal transduction: from receptor kinase activation to transcriptional networks regulating plant development. **Plant Cell**, v. 23, 1219–1230, 2011.
- COOPER, Miguel. **Degradação e Recuperação de Solos**. Piracicaba, 31p, 2008
- DA COSTA, ALEXANDRA ROSA. **Nutrição Mineral de Plantas Vasculares**. 1. ed. Évora: Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, 2014. 147 p. ISBN 978-989-97060-9-5.
- DEMIDCHIK, V. Mechanisms and physiological roles of K<sup>+</sup> efflux from root cells. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 696-707, 2014.
- DI BACCIO, D.; CASTAGNA, A.; TOGNETTI, R.; RANIERI, A.; SEBASTIANI, L. Early responses to cadmium of two poplar clones that differ in stress tolerance. **Journal Plant Physiology**, 777, 1693-1705, 2014.
- DOYLE, J. Phylogeny of the legume family: an approach to understanding the origins of nodulation. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 25, n. 1, p. 325- 349, 1994.
- FANTI, S. C.; PEREZ, S. C. J. G. A. Influência do sombreamento artificial e da adubação química na produção de mudas de *Adenanthera pavonina* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 49-56, 2003.
- FAQUIN, VALDEMAR. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/Faepe, v. 183, 2005.
- FARIDUDDIN, Q. et al. 28-homobrassinolide improves growth and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. through an enhanced antioxidant system in the presence of chilling stress. **Photosynthetica**, v. 49, n.1, p. 55-64, 2011.
- FIGLIOLIA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PINÃ- RODRIGUES, F. C. M. Análise de sementes. In: AGUIAR, I. B.; PINÃ RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993. p.137-174.
- FONSECA, S. C. L.; PEREZ, S. C. J. G. A. Ação do polietileno glicol na germinação de sementes de *Adenanthera pavonina* L. e o uso de poliaminas na atenuação do estresse hídrico

- sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 25, n. 1, p. 1-6, 2003.
- FRIDMAN, Y.; SALVADI-GOLDSTEIN, S. Brassinosteroids in growth control: How, when and where. **Plant Science**, v. 209, p. 24–31, 2013.
- FUJIOKA, S.; YOKOTA, T. Biosynthesis and Metabolism of Brassinosteroids. **Annual Review of Plant Biology**, v. 54, p. 137-164, 2003.
- GODBOLD, D.L.; HUTTERMANN, A. Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation of *Picea abies* (Karst.) seedlings and the significance of the semetals to forest die back. **Environmental Pollution**, v.38, p. 509-516, 1985.
- GROVE, M. D. et al. Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. **Nature**, v. 281, n. 5728, p. 216–217, 1979.
- HE, J. et al. Epibrassinolide confers zinc stress tolerance by regulating antioxidant enzyme responses, osmolytes, and hormonal balance in *Solanum melongena* seedlings. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 1, p. 259–303, 2015.
- HE, J.; LI, H.; LUO, J.; MA, C.; LI, S.; QU, L.; LUO, Z.B. Transcriptomic Network Underlies Microstructural and Physiological Responses to Cadmium in *Populus x canescens*. **Plant Physiology**, 162, 424-439, 2013.
- HOCHMAL, A.K.; SCHULZE, S.; TROMPELT, K.; HIPPLER, M. Calcium dependent regulation of photosynthesis. **Biochim Biophys Acta**, 1847, 993-1003, 2015
- HU, W. H. Chill-induced inhibition of photosynthesis was alleviated by 24 epibrassinolide pretreatment in cucumber during chilling and subsequent recovery. **Photosynthetica**, v. 48, n. 4, p. 537–544, 2010.
- HUANG, D.; GONG, X.; LIU, Y.; ZENG, G.; LAI, C.; BASHIR, H.; WAN, J. . Effects of calcium at toxic concentrations of cadmium in plants. **Planta**, 245, 863-873, 2017.
- HUANG, H.; XIONG, Z. T. Toxic effects of cadmium, acetochlor and bensulfuron-methyl on nitrogen metabolism and plant growth in rice seedlings. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 94, n. 2-3, p. 64-67, 2009.
- HUANG, J.; WU, X.; TIAN, F.; CHEN, Q.; LUO, P.; ZHANG, F.; WAN, X.; ZHONG, Y.; LIU, Q.; LIN, T. Changes in proteome and protein phosphorylation reveal the protective roles of exogenous nitrogen in alleviating cadmium toxicity in poplar plants. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 1, p. 278, 2020a.
- HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2011. 36p. (Documentos, n.35).
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC

Press, 2001.

KARANLIK S, ERGU ĩ N, TIRYAKIOG ĩlu M. The effects of different cadmium levels on growth, Cd, Fe, Zn concentrations, and antioxidative enzyme activities in cotton plant (*Gossipium hirsutum* L). **Tarım Bilim Aras t Derg** 6:81–86, 2013.

KAYA, C.; AKRAM, N. A.; ASHRAF, M.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P. Exogenously supplied silicon (Si) improves cadmium tolerance in pepper (*Capsicum annum* L.) by up regulating the synthesis of nitric oxide and hydrogen sulfide. **Journal of Biotechnology**, v. 316, p. 35-45, 2020.

KISSMANN, C.; SCALON, S. P. Q.; SCALON FILHO, H.; RIBEIRO, N. Tratamentos para quebra de dormēncia, temperaturas e substratos na germinaēo de *Adenanthera pavonina* L. **Ciēncia e Agrotecnologia, Lavras**, v. 32, n. 2, p. 668-674, 2008.

KURDZIEL, B.M.; PRASAD, M.N.V.; STRZALKA, K. **Photosynthesis in Heavy Metal stressed plants**. In: PRASAD, M.N.V. Heavy metal stress in plants: From biomolecules to ecosystems. 2nd ed. Springer, printed in India, 2004.p.146181.

LARCHER, W. (2001) - “**Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups**”.4th Edition English translation from 2003 Springer-Verlag, Berlin – New York

LEE, H. H.; OWENS, V. N.; PARK, S.; KIM, J.; HONG, C. O. Adsorption and precipitation of cadmium affected by chemical form and addition rate of phosphate in soils having different levels of cadmium. *Chemosphere*, v. 206, p. 369-375, 2018.

LI, S. YU, J.; ZHU, M.; ZHAO, F.; LUAN, S. Cadmium impairs ion homeostasis by altering K<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> channel activities in rice root hair cells. **Plant, Cell & Environment**, v. 35, n. 11, p. 1998-2013, 2012.

LIN, Z.; DOU, C.; LI, Y.; WANG, H.; NIAZI, N. K.; ZHANG, S.; LIU, D.; ZHAO, K.; FU, W.; LI, Y.; YE, Z. Nitrogen fertilizer enhances zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Sedum alfredii* Hance. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, n. 1, p. 320-329, 2020.

LIU, S.L.; YANG, R.J.; MA, M.D.; DAN, F.; ZHAO, Y.; JIANG, P.; WANG, M.H. Effects of exogenous NO on the growth, mineral nutrient content, antioxidant system, and ATPase activities of *Trifolium repens* L. plants under cadmium stress. **Acta Physiology Plantarum**. 37, 1-17, 2015.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificaēo e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009. v. 2. 368 p.

- LÖSCH, R. **Plant mitochondrial respiration under the influence of heavy metals**. In: PRASAD, M.N.V. (Ed.). **Heavy metal stress in plants: From biomolecules to ecosystems**. 2nd ed. Springer, printed in India, 2004. p.182-200.
- MAQBOOL, A.; ALI, S.; RIZWAN, M.; ARIF, M. S.; YASMEEN, T.; RIAZ, M.; HUSSAIN, A.; NOREEN, S.; DAIM, M. M. A.; Alkahtani, S. N-Fertilizer (Urea) Enhances the Phytoextraction of Cadmium through *Solanum nigrum* L. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 11, p. 3850, 2020.
- MARSCHNER, H. 1995. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. New York: Academic Press,.889p.
- McDOWELL, R.W. The rate of accumulation of cadmium and uranium in a long-term grazed pasture: implications for soil quality. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, n. 55, p. 133-146, 2012.
- METWALLY, A.; FINKEMEIER, I.; GEORGI, M.; DIETZ, K. J. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. **Plant Physiology**, v. 132, p. 272-281, 2003.
- MEURER, E.J. **Potássio**. 2006. In: Fernandes, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 1: 282-298. OLIVEIRA, C. A.; AGUIAR, B. A. C.; DE SOUSA, R. M.; DE ALMEIDA SARMENTO, R.; DE SOUZA, D. J.; & DE SOUZA, P. B. Tratamentos pré-germinativos para a superação de dormência em sementes de *Adenanthera pavonina* L. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 4, p. 21-26, 2020.
- OLIVEIRA IP, OLIVEIRA LC (2011). Metais pesados. **Revista Eletrônica Faculdade de Iporá** 1: 59-86.
- OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; JORDÃO, C. P. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de salvinia e aguapé. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 3, p. 329-341, 2001.
- OLIVEIRA, V. P. et al. Brassinosteroids Confer Tolerance to Salt Stress in *Eucalyptus urophylla* Plants Enhancing Homeostasis, Antioxidant Metabolism and Leaf Anatomy. **Journal of Plant Growth Regulation**, p.1-17, 2018.
- PIERANGELI, M. A. P.; Guilherme, L. R. G.; CURI, N.; Anderson, S. J.; LIMA, J. M. Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de latossolos pré-tratadas com fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.377-384, 2004.
- PIERANGELI, M. A. P.; Guilherme, L. R. G.; CURI, N.; Silva, M. L. N.; LIMA, J. M.; COSTA, E. T. S. Efeito do pH na adsorção e dessorção de cádmio em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n. 4, p. 523-532, 2005.
- OKLESTKOVA, J. et al. Brassinosteroids: synthesis and biological activities. **Phytochemistry**

**Reviews**, v. 14, n. 4, p. 1053–1072, 2015.

PAULILO, M. T. S.; VIANA, A. M.; RANDI, A. M. **Fisiologia Vegetal**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 182 p. ilustrado.

PORTELA, M. O. Efeitos colaterais da mineração no meio ambiente. **Revista Brasileira de políticas públicas**, v. 5, n. 3, 2015.

RAMAKRISHNA, B.; RAO, S. S. R. Foliar application of brassinosteroids alleviates adverse effects of zinc toxicity in radish (*Raphanus sativus* L.) plants. **Protoplasma**, v. 252, n. 2, p. 665–667, 2014.

RIZWAN, M.; ALI, S.; ADREES, M.; RIZVI, H.; ZIA-UR-REHMAN; M., HANNAN; F.; QAYYUM, M. F.; HAFEEZ, F.; OK, Y. S. Cadmium stress in rice: toxic effects, tolerance mechanisms, and management: a critical review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 18, p. 17859-17879, 2016.

**RStudio Team**. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA: RStudio, PBC (2021).

SALISBURY, F.B. e C.W. ROSS (1992) - **“Plant physiology” 4th Edition**, Wadsworth Publishing Company, California.

SANITÁ DI TOPPI, L.; GABRIELLI, R. Response to cadmium in higher plants. **Environmental of Experimental Botany**, v. 41, p. 105-130, 1999.

SANTOS, E. F.; MACEDO, F. G.; ZANCHIM, B. J.; LIMA, G. P. P.; LAVRES, J. Prognosis of physiological disorders in physic nut to N, P, and K deficiency during initial growth. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 115, p. 249-258, 2017.

SANTOS GCGD (2005). **Comportamento de B, Zn, Mn, e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico**. Tese de Doutorado. Curso de Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP.

SARWAR, N; SAIFULLAH, MALHI, S.S; ZIA, M.H, NAEEN, A; BIBI, S; FARID, G. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants (Review). **J Sci Food Agric**, 90: 925-937.

SCHÜTZENDÜBEL, A.; SCHWANZ, P.; TEICHMANN, T.; GROSS. K.; LANGENFELD-HEYSER, R.; GODBOLD, D. L.; POLLE, A. Cadmium-induced changes in antioxidative systems, hydrogen peroxide content, and differentiation in scots pine roots. **Plant Physiology**, v. 127, p. 887-898, 2001

SCHÜTZENDÜBEL, A.; POLLE, A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p.

1351-1365, 2002.

SHAHID, M. A.; BALAL, R. M.; KHAN, N.; ZOTARELLI, L.; LIU, G. D.; SARKHOSH, A.; FERNÁNDEZ-ZAPATA, J. C.; NICOLÁS, J. J. M.; GARCIA-SANCHEZ, F. Selenium impedes cadmium and arsenic toxicity in potato by modulating carbohydrate and nitrogen metabolism. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 180, p. 588-599, 2019.

SHARMA, A. et al. 24-epibrassinolide stimulates imidacloprid detoxification by modulating the gene expression of *Brassica juncea* L. **BMC Plant Biology**, v. 17, n. 56, p. 1–10, 2017.

SHI, R.; LV, J.; LIU, Y. Spatial Distribution and Bio-accumulation of Cadmium and Lead in Soil, Rice and Vegetables in Typical Pollution Areas, China. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 104, p. 307-313, 2020.

SIEBERS, N.; SIANGLIW, M.; TONGCUMPOU, C.H. Cadmium uptake and subcellular distribution in rice plants as affected by phosphorus: Soil and hydroponic experiments. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 13, 833-844, 2013.

SILVA, A. I. S.; CORTE, V. B.; PEREIRA, M. D.; CUZZUOL, G. R. F.; DE ALMEIDA LEITE, I. T. Efeito da temperatura e de tratamentos pré-germinativos na germinação de sementes de *Adenanthera pavonina* L. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 30, n. 4, p. 815-824, 2009.

SINGH, P.; SINGH, I.; SHAH, K. Reduced activity of nitrate reductase under heavy metal cadmium stress in rice: an in silico answer. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1948, 2019.

SINGH, S.; PRASAD, S. M. Effects of 28-homobrassinoloid on key physiological attributes of *Solanum lycopersicum* seedlings under cadmium stress: Photosynthesis and nitrogen metabolism. **Plant Growth Regulation**, v. 82, p. 161-173, 2017.

SKREBSKY, Etiane Caldeira et al. **Nutrição mineral e toxidez de cádmio em ginseng brasileiro (*Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen)**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

SPRENT, J. I. Nodulation in legume. London: **Royal Botanic Kew Gardens**, 2001.

VARDHINI, B. V.; ANURADHA, S.; RAO, S. S. R. Brassinosteroids - a great potential to improve crop productivity. **Indian Journal Plant Physiology**, v. 11, p.1–12, 2006.

VITTI, G.C; LIMA, E & CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: Fernandes, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.328-352, 2006.

WALKER, W. M.; MILLER, J. E.; HASSETT, J. J. Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium, and phosphorus concentration in young corn plants. **Soil Science**, v. 124, n. 3, p. 145-151, 1977.

- WANG, Y.; GU, C.; BAI, S.; SUN, Z.; ZHU, T.; ZHU, X.; TEMBROCK, L.R. Cadmium accumulation and tolerance of *Lagerstroemia indica* and *Lagerstroemia fauriei* (Lythraceae) seedlings for phytoremediation applications. **International Journal of Phytoremediation**, 18,1- 33, 2016.
- WANG, H.; SHABALA, L.; ZHOU, M.; SHABALA, S. Hydrogen peroxide-induced root Ca<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> fluxes correlate with salt tolerance in cereals: towards the cell-based phenotyping. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 3, p. 702, 2018.
- XUE, S.; SHI, L.; WU, C.; WU, H.; QIN, Y.; PANC W.; HARTLEY, W.; CUI, M. Cadmium, lead, and arsenic contamination in paddy soils of a mining area and their exposure effects on human HEPG2 and keratinocyte cell-lines. **Environmental research**, v. 156, p. 23-30, 2017.
- YUSUF, M. et al. Protective Response of 28-Homobrassinolide in Cultivars of *Triticum aestivum* with Different Levels of Nickel. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 60, n. 1, p. 68–76, 2011.
- ZENG, X.; ZOU, D.; WANG, A.; ZHOU, Y.; LIU, Y.; LI, Z.; LIU, F.; WANG, H.; ZENG, Q.; XIAO, Z. Remediation of cadmium-contaminated soils using *Brassica napus*: effect of nitrogen fertilizers. **Journal of Environmental Management**, v. 255, p. 109885, 2020.
- ZHAO, Y.; ZHANG, C.; WANG, C.; HUANG, Y.; LIU, Z. Increasing phosphate inhibits cadmium uptake in plants and promotes synthesis of amino acids in grains of rice. **Environmental Pollution**, v. 257, p. 113496, 2020b.
- ZOGLAM, R. I.; HAMDI, H.; BOUDABBOUS, K.; HECHMI, S.; KHELIL, M. N.; JEDIDI, N. Seasonal toxicity variation in light-textured soil amended with urban sewage sludge: interaction effect on cadmium, nickel, and phytotoxicity. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 4, p. 3608-3615, 2018.
- ZOUARI, M.; AHMED CB.; ELLOUMI, N.; BELLASSOUED, K.; DELMAIL, D.; LABROUSSE, P.; ROUINA, B.B. Impact of proline application on cadmium accumulation, mineral nutrition and enzymatic antioxidant defense system of *Olea europaea* L. cv Chemlali exposed to cadmium stress. **Ecotoxicology Environmental Safety**, 128, 195-205, 2016.