



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA APLICADA Á AGROPECUARIA-
PPGBAA**

ERICK DOS SANTOS RIBEIRO

AVALIAÇÃO DOS GENES *CYP_{85A2}*, *BZR1* E *CAD1* NA ATENUAÇÃO DE CÁDMIO EM MUDAS DA ESPÉCIE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE 24-EPIBRASSINOLÍDEO.

ERICK DOS SANTOS RIBEIRO

AVALIAÇÃO DOS GENES *CYP_{85A2}*, *BZRI* E *CADI* NA ATENUAÇÃO DE CÁDMIO EM MUDAS DA ESPÉCIE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE 24-EPIBRASSINOLÍDEO.

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agropecuária da Universidade Federal Rural da Amazônia, como requisito para a obtenção do Título de Mestre.

Área de concentração: Biotecnologia aplicada ao metabolismo.

Orientador: Cândido Ferreira de Oliveira Neto

BELÉM - PA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R484a Ribeiro, Erick dos Santos Ribeiro
 AVALIAÇÃO DOS GENES *CYP_{85A2}*, *BZRI* E *CADI* NA ATENUAÇÃO DE CÁDMIO EM
MUDAS DA ESPÉCIE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby
(PARICÁ) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE 24-EPIBRASSINOLÍDEO: Biotecnologia
aplicada ao metabolismo. / Erick dos Santos Ribeiro Ribeiro. - 2023.
66 f. : il.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Biotecnologia Aplicada à
Agropecuária (PPGBAA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural da
Amazônia, Belém, 2023.
Orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto
Coorientador: Profa. Dra. Ana Ecídia de Araújo Brito.
1. biologia molecular. 2. fitotoxidez. 3. 24-epiBL. I. Neto, Cândido Ferreira de Oliveira Neto,
orient II. Título
-

ERICK DOS SANTOS RIBEIRO

AVALIAÇÃO DOS GENES *CYP85A2*, *BZRI* E *CADI* NA ATENUAÇÃO DE CÁDMIO EM MUDAS DA ESPÉCIE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE 24-EPIBRASSINOLÍDEO.

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do Programa de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária da Universidade Federal Rural da Amazônia, como requisito para a obtenção do Título de Mestre.

Data de Aprovação 28/09/2023

Banca Examinadora



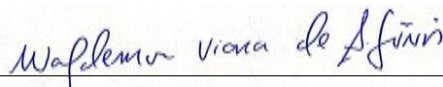
Prof. Dr. Candido Ferreira de Oliveira Neto- EBPS/PPGBAA/ UFRA



Prof. Dr. Ms. Igor Guerreiro Hamoy – UFRA

Documento assinado digitalmente
gov.br MONYCK JEANE DOS SANTOS LOPES
Data: 28/09/2023 16:45:44-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Ms. Monyck Jeane dos Santos Lopes – MPEG



Prof. Dr. Ms. Waldemar Viana de Andrade Júnior – SEMAS

DEDICATÓRIA

A Jesus Cristo, meus pais, orientador do PPGBAA, parentes e amigos de classe presente ao
logo do tempo por sempre acreditarem em nossos sonhos.
Dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, pela saúde e a oportunidade conclusão do curso de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (PPGBAA) da Universidade Federal Rural da Amazônia.

Agradeço pela vida de Maria Orinete dos Santos Ribeiro e Nildo Sena Ribeiro, autênticos batalhadores que se esforçaram para fomentar o amor na família. Mesmo diante de desafios, nunca deixaram de guiar seus filhos, permanecendo unidos para zelar pelo bem-estar de todos nós. Com disciplina e carinho, dedicaram-se afetosamente a cada membro da família.

Ao Dr. Prof. Candido Ferreira de Oliveira Neto, orientador com quem tive o privilégio de encontrar durante o período de pós-graduação, docente destaque no campo do ensino, pesquisa e extensão. Mesmo diante de desafios, se mantém dedicado aos discentes sob seus cuidados. Demonstrando humildade ao instruir e orientar cada um de seus pupilos, expresso minha profunda gratidão por sua presença em minha caminhada acadêmica, agradecido por sua constante atenção e paciência ao longo desses dois anos.

Aos pesquisadores Ana Ecídia de Araújo Brito, Glauco André dos Santos Nogueira e Luma Sousa, que servem de fonte de inspiração e motivação para seus orientandos. Agradeço pelos conselhos e pelo compartilhamento diário de conhecimentos ao longo desta jornada acadêmica.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa EBPS, expresso minha profunda gratidão pelo apoio e auxílio nas atividades de campo e laboratório. O aprendizado que adquiri ao longo deste período com cada um de vocês é inestimável. Manifesto minha eterna gratidão especificamente para a engenheira florestal Girlanda Squires Raiol, pelo seu apoio, gentileza, zelo e comprometimento comigo ao longo da jornada do mestrado, sua determinação e carisma nunca serão esquecidos.

Ao grupo PPGBAA formado pelo Prof. Dr. Igor Guerreiro Hamoy e Prof. Dr. Ednaldo Filho, agradeço pelo ensino e dedicação em sala de aula, mesmo sobre situação de um período pandêmico. Buscaram de todas as formas auxilia e planejar o desenvolvimento do curso. A servidora Auricilene Gomes Moreira pelo cuidado e zelo com cada discente do programa PPGBAA, eternamente grato pela assistência e o carinho obtido durante a caminhada do mestrado.

Aos pós-graduados Andreza Sousa, Benedito Neto, Luana Drago, Cristiano Drago, Raphael Leone Ferreira e Dayse Braga grato pela amizade e colaboração durante a implantação e avaliação de experimentos.

“Meus irmãos, tende grande gozo quando cairdes em várias tentações, sabendo que a prova da vossa fé produz a paciência”.

Tiago 1. 2-3

RESUMO

A espécie paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), nativa da Amazônia, demonstra características de bioacumulação relacionadas aos íons de cádmio (Cd). No entanto, a falta de compreensão da modulação gênica em respostas as interações entre o Cd e os mecanismos fitohormonais, que atuam em diferentes partes da planta, como folhas e raízes, representa um desafio no entendimento do seu papel e relevância no contexto ecológico da reabilitação de áreas degradadas. Portanto, o presente estudo busca examinar a expressão dos genes *CYP85A2* e *BZRI*, precursores do 24-EBL endógeno, na produção de proteínas quelantes pelo gene *CADI* em mudas da espécie Paricá, sob diversas concentrações de CdCl₂ e 24-EBL. O experimento foi conduzido em sala crescimento climatizado no Laboratório de Estudos da Biodiversidade de Plantas Superiores (EBPS), Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus-Belém-Pará, seguindo delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial 4x3, totalizando 60 unidades experimentais contendo 15 sementes por repetição, 4 tratamentos de CdCl₂ (0, 50, 100 e 150µM) e enquanto os outros três consistiam em diferentes doses de 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 40 nM). Os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA ($p < 0,05$) e as diferenças entre tratamentos analisadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As variáveis biométricas demonstraram intensa redução comprimento da raiz devido efeito nocivo de CdCl₂ no substrato. Além disso, ocorreu perdas nas *Chl a*, *Chl b* e *Chl a+b* devido a entrada de Cd²⁺ nos tecidos foliares. Apesar dessa realidade os níveis de expressão relativo dos genes *CYP85A2*, *BZRI* e *CADI* foram significativamente, maiores na parte aérea nas variadas doses de 24-EBL (0, 20 e 40 nM), em comparação ao sistema radicular. Igualmente, foi notada uma alteração nos níveis de *CAR* e *ACN* em consequência do aumento de CdCl₂. Esses achados sugerem maior ajuste genético na parte superior das plantas, potencialmente aumentando suas funções biológicas ao facilitar o metabolismo energético e manter estruturação das células para combater a toxicidade de Cd.

Palavras-chave: Fitorremediação, biologia molecular, 24-epiBL e biorregulação

ABSTRACT

The Amazonian species paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Bar-neby), native to the Amazon, demonstrates bioaccumulation characteristics related to cadmium (Cd) ions. However, the lack of understanding of gene modulation in responses to interactions between Cd and phytohormonal mechanisms, which act in different parts of the plant, such as leaves and roots, represents a challenge in understanding its role and relevance in the ecological context. the rehabilitation of degraded areas. Therefore, the present study seeks to examine the expression of the *CYP85A2* and *BZR1* genes, precursors of endogenous 24-EBL, in the production of chelating proteins by the *CADI* gene in seedlings of the Paricá species, under different concentrations of CdCl₂ and 24-EBL. The experiment was conducted in an air-conditioned growth room at the Higher Plant Biodiversity Studies Laboratory (EBPS), Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus-Belém-Pará, following a completely randomized experimental design (DIC), in a factorial scheme. 4x3, totaling 60 experimental units containing 15 seeds per replication, 4 treatments of CdCl₂ (0, 50, 100 and 150µM) and the other three consisted of different doses of 24-epibrassinolide (0, 20 and 40 nM). The data were subjected to ANOVA analysis of variance ($p < 0.05$) and the differences between treatments analyzed using the Tukey test ($p < 0.05$). Biometric variables demonstrated an intense reduction in root length due to the harmful effect of CdCl₂ on the substrate. Furthermore, there were losses in *Chl a*, *Chl b* and *Chl a+b* due to the entry of Cd²⁺ into the leaf tissues. Despite this reality, the relative expression levels of the *CYP85A2*, *BZR1* and *CADI* genes were significantly higher in the aerial part at different doses of 24-EBL (0, 20 and 40 nM), compared to the root system. Likewise, a change in *CAR* and *ACN* levels was noted as a result of the increase in CdCl₂. These findings suggest greater genetic adjustment in the upper part of plants, potentially increasing their biological functions by facilitating energy metabolism and maintaining cell structuring to combat Cd toxicity.

Keyword: Phytoremediation, molecular biology, 24-epiBL and bioregulation

LISTA DE FIGURA

- Figura. 1:** Transporte de íons de Cd^{2+} (Cádmio) para parte aérea pelas raízes durante transporte de nutrientes e água.....18
- Figura. 2:** Modelagem molecular da enzima citocromo P450 responsável pela transformação de campesterol para campestanol (CN), precursor de brassinosteróides (BRs) ativos.....21
- Figura. 3:** Modelagem molécula das proteínas BRASSINAZOLE-RESISTANT 1 (*BZR1*), demonstrado a transcrição de genes alvos.....23
- Figura. 4:** Plântulas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá) submetidas em diferentes doses de $CdCl_2$ e efeito de 24-EBL na sala de crescimento localizado no Laboratório de Estudo da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS).....24
- Figura. 5:** Efeito de $CdCl_2$ (0 μ M, 50 μ M, 100 μ M e 150 μ M) e 2-EBL (0nM, 20nM e 40nM) na altura das plântulas (a) e comprimento das raízes (b) da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) (a). Legenda: Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos $CdCl_2$ ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com 24-EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey.....29
- Figura. 6:** Efeito de $CdCl_2$ (0 μ M, 50 μ M, 100 μ M e 150 μ M) e 2-EBL (0nM, 20nM e 40nM) na distribuição de Clorofila a (a), Clorofila b (b), Clorofila total (a+b) (c), antocianinas (d), carotenóides (e), espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (PARICÁ). Legenda: Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos $CdCl_2$ ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com 24-EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey.....33
- Figura. 7:** Análise qPCR-RT dos genes *CPY85A2* e *BZR1* da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) sobre diferentes dosagens de $CdCl_2$ e 24-EBL. (a) qPCR-RT do gene *CPY85A2* localizado nos folíolos; (b) qPCR-RT do gene *BZR1* localizado nos folíolos; (c) qPCR-RT do gene *CPY85A2* localizado no sistema radicular; (d) qPCR-RT do gene *BZR1* localizado no sistema radicular. Legenda: Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos $CdCl_2$ ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com 24-EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey.....36
- Figura. 8:** Análise qPCR-RT do gene *CADI* da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) sobre diferentes dosagens de $CdCl_2$ e 24-EBL. (a) qPCR-RT do gene *CADI* localizado nos folíolos; (b) qPCR-RT do gene *CADI* localizado no sistema radicular. Legenda: Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos $CdCl_2$ ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com 24-EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey.....38

LISTA DE TABELAS

Tabela1: Sequência de oligonucleotídeo para análise de expressão genica nas folhas e raízes de *S. parahyba var. amazonicum* para sequências de primers usando a técnica de qRT – PCR.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACN- Antocianinas

APX- Peroxidase de Ascorbato

BR- Brassinosteróides

BRZI- Brassinazole-Resistant 1

CdCl₂- Cloreto de cádmio

CADI- Fitoquelatina Sintase 1

Chl a- Clorofila *a*

Chl b- Clorofila *b*

Chl (a+b) - Clorofila Total

CAR- Carotenoides

CPY_{85A2} – Citocromo_{85A2}

CAT- Catalase

DNA - Ácido desoxirribonucleico

GR- Glutathione Redutase

H₂O₂ - peróxido de hidrogênio

mRNA- Mensageiro ácido ribonucleico

qPCR-TR- Reação em Cadeia da Polimerase em Tempo Real.

RNA- ácido ribonucleico

SOD- superóxido dismutase

24-EBL- 24-epibrassinolídeo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO:	14
2. OBJETIVO:	15
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. REVISÃO DE LITERATURA	16
4.1- ESPÉCIE PARICÁ (<i>SCHIZOLOBIUM PARAHYBA VAR. AMAZONICUM (HUBER EX DUCKE) BARNEBY</i>).....	16
4.2. CÁDMIO (Cd).....	16
4.3. EFEITO TOXICO DO Cd NAS FOLHAS E SISTEMA RADICULAR NOS VEGETAIS.	18
4.4. 24-EPIBRASSINOLÍDEO NO CRESCIMENTO, REGULAÇÃO DA FOTOSÍNTESE E INIBIÇÃO DE ESPÉCIES REATIVAS DE OXIGÊNIO (ROS).....	19
4.5. EXPRESSÃO GÊNICA DE PLANTAS.	20
4.6. ATUAÇÃO DO GENE <i>CYP_{85A2}</i> NA VIA METABÓLICA DE BRASSINOSTERÓIDES (BR).....	21
4.7 IMPORTÂNCIA E FUNÇÃO DO GENE <i>BZRI</i> NO CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E REGULAÇÃO BIOLÓGICA DAS PLANTAS.	22
4.8 FITOQUELATINA NA REDUÇÃO DE Cd EM PLANTAS <i>CAD1</i>	24
5. MATERIAL E MÉTODOS	25
5.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	25
5.2 BIOMETRIA	26
5.3 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CLOROFILA <i>A</i> , <i>B</i> , TOTAL (<i>A+B</i>), CAROTENOIDES E ANTOCIANINA.....	26
5.4 EXPRESSÃO GENÉTICA	26
5.4.1 Extração de amostras de mRNA.....	26
5.4.2 Quantificação e pureza das amostras de RNA.....	27
5.4.3 Análise molecular qPCR tempo real.....	27
5.5 ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL.....	28
6. RESULTADOS DISCUSSÃO	28
6.1 INFLUÊNCIA DE CdCl ₂ E 24-EBL NOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS NA ESPÉCIE <i>S. PARAHYBA VAR. AMAZONICUM (HUBER EX DUCKE) BARNEBY (PARICÁ)</i>	28
6.2 INFLUÊNCIA DE CdCl ₂ E 24-EBL NOS PIGMENTOS FOTOSINTETIZANTES DA ESPÉCIE <i>S. PARAHYBA VAR. AMAZONICUM (HUBER EX DUCKE) BARNEBY (PARICÁ)</i>	30
6.3 INFLUÊNCIA DE Cd E 24-EBL NOS GENES <i>CYP_{85A2}</i> E <i>BZRI</i> NA PARTE AÉREA E RAIZ NA ESPÉCIE <i>S. PARAHYBA VAR. AMAZONICUM (HUBER EX DUCKE) BARNEBY (PARICÁ)</i>	33
6.4 INFLUÊNCIA DE CdCl ₂ E 24-EBL NO GENE <i>CAD1</i> NA PARTE AÉREA E RAIZ NA ESPÉCIE <i>S. PARAHYBA VAR. AMAZONICUM (HUBER EX DUCKE) BARNEBY (PARICÁ)</i>	37
7. CONCLUSÃO	39
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO:

A ação antrópica, decorrente das atividades como a mineração descontrolada e a industrialização, ocasiona a entrada de metais pesados no ambiente (BENDITO, 2017; BENAVENTE, 2020). Esses metais, como mercúrio (Hg), Arsênio (As) e cádmio (Cd), são liberados no solo e na água em quantidades alarmantes, poluindo ecossistemas terrestres e aquáticos (SILVA, 2017; SHI, 2019; ALI, et al 2019; BALALI-MOOD, 2021).

Particularmente o Cd é fitotóxico de fácil absorção pelas plantas, representando uma ameaça aos ecossistemas pela sua entrada na cadeia alimentar (FERNANDES, 2014; KUBIER, 2019). Mesmo em baixas concentrações, sua absorção pelas raízes afeta negativamente a nutrição mineral e o crescimento das plantas (PAN, 2010; LIN, 2015; SUN, 2021). Sua alta solubilidade em água facilita sua entrada nas plantas, comprometendo seu desenvolvimento e homeostase (SOUSA, 2018; BASTOS, et al 2021). Principais sintomas visíveis são curvatura e amarelamento das folhas, afetando a absorção de água e o funcionamento dos poros foliares (SOUZA, 2022). Danifica o sistema fotossintético, diminuindo clorofila e carotenoides, reduzindo a eficiência fotossintética e inibindo enzimas de fixação de CO₂ (TABELIN, 2018; MORAVČÍKOVA, 2023). Em várias plantas, causa anomalias genéticas e distúrbios na divisão celular devido à toxicidade.

Mas em resposta a desafios ambientais, as plantas desenvolveram sistemas complexos de comunicação celular, chamados hormônios, que permitem respostas rápidas a condições adversas (BUCKER, et al 2017; GUO, et al 2019; HU, 2021). Estudos atuais focam nos brassinosteroides (BR) e 24-epibrassinolídeo (24-EBL), que afetam a expressão gênica e o metabolismo, influenciando o crescimento e a diferenciação celular (TONG, 2018; ZHENG, 2022; WAHAB, 2022). Os genes, essenciais na herança genética, são segmentos do DNA que definem características e garantem a continuidade e diversidade das espécies (MOORE, 2021). Essas informações genéticas são cruciais para o funcionamento celular e a expressão do fenótipo (SABELLA, 2021).

Os genes, *BZR1* e *CPY_{85A2}* são intermediadores de 24-EBL, cumprir o papel fundamental na produção 24-EBL em resposta à exposição de plantas ao Cd (RAJEWSKA, 2016; WEI, 2020). O *BZR1* é um regulador chave na cascata de sinalização de BR, incluindo o 24-EBL, enquanto o *CPY_{85A2}* está envolvido na conversão de esteroides vegetais em formas bioativas, como o 24-EBL (ZULLO, 2002; RAHMANI, et al 2021). Um dos principais efeitos do 24-EBL é estimular a produção de proteínas fitoquelates de originada do gene *CADI*, que se ligam ao

Cd, reduzindo sua toxicidade nas células vegetais (REN et al.,2023). Também, o 24-EBL induz a expressão de enzimas de estresse oxidativo, que ajudam a neutralizar os radicais livres produzidos em resposta ao Cd (LUO, 2021).

A falta de estudos sobre a regulação genética atribuída a resposta citológica para os efeitos de Cd e 24-EBL dificulta a compreensão de seu papel na estabilidade celular dos vegetais (BILAL, et al 2023). Na Amazônia, a pesquisa busca plantas resistentes a poluentes para projetos de recomposição florestal (ERAS, et al 2022). O Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) destaca-se por seu rápido crescimento, sendo uma opção valiosa para reflorestamento, com potencial econômico e ambiental (RODRIGUES, et al 2018). Sua capacidade de crescimento rápido o torna atrativo para cooperativas e indústrias madeireiras em curto prazo (OLIVEIRA, 2023). Na presença de Cd, ocorre uma variação na quantidade acumulada nos diversos órgãos (folhas e raízes), impactado na capacidade de absorção de nitrogênio (N), a prolina atua como reguladora osmótica para reduzir os danos biológicos (BASTOS, et al 2023). Embora a concentração de Cd seja mais evidente nas raízes, compreender os traços genéticos é crucial para entender a resistência dessa espécie a esse metal.

2. OBJETIVO:

O presente estudo tem por objetivo analisar a expressão dos genes citocromo 450 (*CYP_{85A2}*), brassinazol-resistente 1 (*BZRI*) e Fitoquelatina Sintase 1 (*CADI*) durante aplicação exógena do fitohormônio 24-epibrassinolídeo na espécie Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) submetida a estresse oxidativo em diferentes dosagens de CdCl₂.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Observar em quais estruturas, como folhas e raízes, das plântulas há maior atividade dos genes *BZRI* e *CPY_{85A2}*, responsáveis pelo metabolismo de 24-EBL (24-epibrassinolídeo).
- Em quais frações de CdCl₂, estão ligadas ao aumento da expressão do gene *CADI*;
- Identificar em quais dosagens de CdCl₂, ocorreu modificação do crescimento biométrico tanto da raiz e folha.
- Análise bioquímica do comportamento dos pigmentos fotossintetizantes (*Chl a*, *Chl b* e *Chl a+b*), antocianinas (*ACN*) e carotenoides (*CAR*) em diferentes doses crescentes de Cd e 24-EBL.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1- Espécie Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby)

O Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) pertencente à família Fabaceae, considerada de elevada comercialização madeireira apresenta grande distribuição de plantio no estado do Para (CARVALHO, et al 2013). Planta heliófila, caducifólia, fuste reto e cilíndrico, desenvolvimento rápido e de boa adaptação às condições edafoclimáticas (CORDEIRO, 2020). Seus frutos são de coloração amarronzada, alado, obovado, achatado, deiscente, coriáceo, com uma única semente de comprimento e largura média variado de 2,2 cm e 1,28cm (ROSA, et al 2006).

Muito empregada em programas de reflorestamento e projetos de sistema silvipastoril, devido seu rápido crescimento e importância para indústrias madeireiras (ROSA, 2006). Em estudos realizados em diferentes sistemas de cultivo foi observado maior incrementos médios anual em altura e diâmetro em sistemas agroflorestais (CORDEIRO, et al 2015).

De grande importância para construção civil por possuir pequeno índice de defeitos, reduzida quantidade de nós, pouco empenada, propriedades de resistência e rigidez classificada em C 20 da classe das dicotiledôneas, sendo considerada de igual ou superior ao gênero *Pinus* (ALMEIDA, 2013). Em ambiente controlado em viveiro com plântulas *Schizolobium a. Huber ex Ducke*, observa-se que as mudas não sofrem influência pelos níveis de sombreamento, tampouco pelas profundidades de semeadura (ROSA, 2009).

Em condições de deficiência hídrica o *S. amazonicum* realiza manutenção da turgescência para permitir o funcionamento adequado das rotas metabólicas, abertura mínima dos estômatos, para permitir fotossíntese, expansão do caule e das raízes (CARNEIRO, et al 2006). Suas sementes são capazes de sobreviver por longos períodos no solo, e suas mudas crescem rapidamente, proporcionando sombra e um microambiente propício para outras plantas se estabelecerem (PADUA; 2017; BALDONI, 2020). Sua alta taxa de fotossíntese e crescimento rápido ajudam a absorver grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera, contribuindo para a redução dos níveis de gases de efeito estufa (MANRÍQUEZ, 2010; TOURNE, 2016; ARAÚJO, 2021).

4.2. Cádmio (Cd)

O Cd é um metal pesado conhecido por sua toxicidade, não é encontrado naturalmente em estado puro e possui propriedades físicas semelhantes ao zinco (BASTOS, et al 2019;

OZYIGIT, 2020). Comumente encontrado em um estado de oxidação de Cd^{+2} , quando entra em contato com o ar, forma óxido de Cd (CdO) e reage com vapor de água, CO_2 , SO_2 , SO_3 ou HCl , originando compostos como $CdCO_3$, $Cd(OH)_2$, $CdSO_4$ ou $CdCl_2$ (AITYOUB, et al 2020; BRAVO, 2021; MUBEEN, 2023). Além disso, pode formar ligações fracas com carbono e outros átomos de elevada eletronegatividade (DONG, 2019).

Os átomos de Cd são escassos na natureza, mas a atividade antrópica tem intensificado sua presença ambiental, representando ameaças à vida selvagem e os ecossistemas (ALI, 2020; DAD, et al 2021). Este metal, notável pela sua maleabilidade e toxicidade, frequentemente surge como um subproduto da extração de cobre (Cu) e chumbo (Pb), sendo fácil de cortar devido à sua textura suave (DRABEK, et al 2020). Principais fontes de contaminação incluem baterias, pigmentos, ligas metálicas e fundições de metais não ferrosos (MIKHAILENKO, 2020).

Os fatores relacionados ao conteúdo de matéria orgânica, troca catiônica, conteúdo de argilas, Ferro, óxidos de Mn e potencial redox (Eh) são elementos interferentes na disponibilidade de Cd, presentes no solo (SUN, 2020; GUTIÉRREZ, et al 2022; ROCHA, 2024). O Cd apesar de não ser um elemento essencial, apresenta afinidade grupos sulfidril e grupos tiol em proteínas, permitindo sua circulação nos tecidos vegetais, alterando a conformação das moléculas deixando-as inviáveis (MAHAJAN, 2018).

Além disso, o Cd apresenta propriedades carcinogênicas e mutagênicas, que causam danos ao DNA das plantas, aumentando o risco de neoplasia (HAIDER, 2021). Em níveis elevados, o Cd interfere negativamente no controle do ciclo celular, levando à replicação desordenada e à formação de tumores (GU, 2021; LISHENG, et al 2023). Também estimula a produção de radicais livres, resultando em estresse oxidativo e mudanças genéticas (QIAN, et al 2023). O Cd perturba os processos de sinalização e regulação genética, afetando o desenvolvimento e o crescimento das plantas (GENCHI, et al 2020).

No entanto, devido à sua grande dependência nutricional do solo e à incapacidade de se mover no ambiente, as plantas desenvolveram mecanismos avançados de reparo do DNA e detoxificação celular, regulados por genes específicos, como defesa contra os danos causados pelo Cd (DUTTA, et al 2018; DANGL, 2019; RAZA, et al 2020). A expressão correta desses genes é crucial para manter a integridade celular (PRAMANIK, 2021). A aplicação de técnicas genéticas ampliou a compreensão dos mecanismos de resistência aos metais pesados (HUYBRECHTS, 2020). A discrepância na quantidade de Cd entre partes subterrâneas e acima do solo está relacionada ao transporte desse elemento, impactando o equilíbrio de cátions e

ânions na célula (OBASI, 2020). Apesar da relevância, existem poucos estudos sobre a regulação genética, reparo avançado e mobilização de íons de Cd.

4.3. Efeito tóxico do Cd nas folhas e sistema radicular nos vegetais.

Inicialmente, o Cd é absorvido pelas raízes e transportado para o interior das células radiculares (Figura. 1). Desencadeia uma diminuição significativa na atividade de enzimas antioxidantes nas raízes, resultando em um desequilíbrio redox e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROs) (MURADOGLU, 2015; ZHANG, et al 2024). Isso por sua vez causa danos às membranas celulares, levando à perda de integridade e vazamento de conteúdo celular (WANG, 2019). Resultando em uma série de sintomas característicos, incluindo o amarelamento ou clorose das folhas devido à interferência na absorção de nutrientes essenciais (SACRAMENTO, 2018; SHAARI, 2024).

Outro pigmento essencial afetado na presença de Cd são as antocianinas e carotenoides (RYDZYŃSKI, 2018). Estudos indicam que o Cd interfere nos processos de biossíntese e estabilidade desses pigmentos vegetais, levando a uma diminuição na concentração e atividade dos mesmos (EL-KFAFI, 2017; PARRA, 2022). Essa deficiência de pigmentos também pode tornar as plantas mais suscetíveis ao estresse ambiental e danos causados pela radiação ultravioleta, impactando sua saúde geral e capacidade de sobrevivência (KILIC, 2017; HINDART, 2019; PERMANA, et al 2021).

Além disso, a toxicidade do Cd interfere na absorção de nutrientes essenciais pelas raízes, comprometendo o metabolismo e a nutrição das plantas (MENDOZA, 2007; AHMED, 2023). Na perspectiva anatômica, estudos histológicos revelaram que o Cd induz alterações na estrutura das células radiculares, incluindo o encurtamento e inchaço das células, bem como a degradação do sistema vascular (TAHIR, 2023).

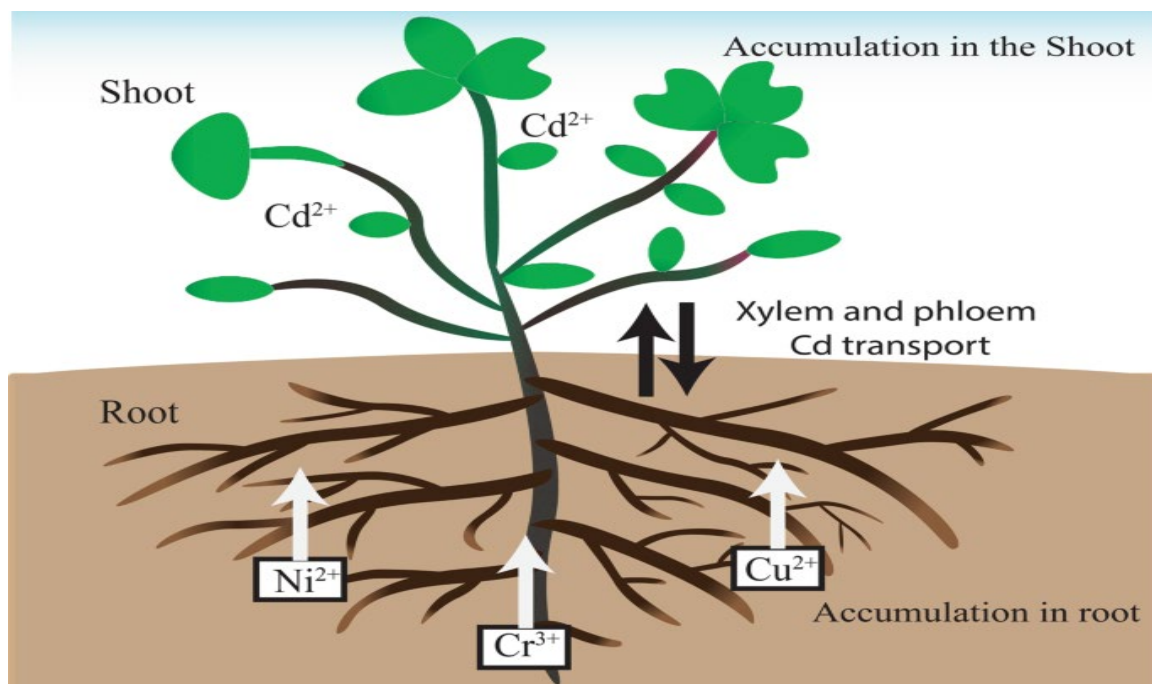


Figura. 1: Transporte de íons de Cd²⁺ (Cádmio) para parte aérea pelas raízes durante transporte de nutrientes e água.

Fonte: (USMAN, 2019)

4.4. 24-epibrassinolídeo no crescimento, regulação da fotossíntese e inibição de espécies reativas de oxigênio (ROS).

Esses esteroides polihidroxilados intervêm no crescimento radicular, distinções morfológicas estomáticas e vasculares (HAFEEZ, 2021). Considerado impulsionado bioquímico na produção de algumas proteínas, enzimas e sinergismo com a sintetização de outros hormônios vegetais (ZHENG, 2020).

Em específico o 24-epibrassinolídeo (24-EBL) que é um dos brassinosteroides (BR) mais ativos e amplamente estudados nas plantas (TIAN, 2022). Reconhecido por estimular o crescimento celular e, conseqüentemente, o crescimento global das plantas (EMAMVERDIAN, 2022). Esse brassinosteroide atua promovendo a expansão das células, resultando em um aumento da altura das plantas, maior número de folhas e comprimento dos caules (MISHRA, 2006; LUO, 2018; MANGHWAR, 2022).

O EBL oferece benefícios notáveis, como a influência na atividade da enzima da rubisco e nos cloroplastos na fotossíntese (ESKANDARI, 2013; RITTI, 2019; CHAUDHURI, et al 2022). Estudos mostram que a aplicação externa do EBL aumenta a atividade da rubisco, essencial na fixação do CO₂ na via de Calvin-Benson. Isso impulsiona a captura de CO₂ e a produção de carboidratos, contribuindo para reservas de energia e crescimento saudável nas plantas

(XIA, 2009; OH, 2020; YADAV, 2022). Além disso, a aplicação de 24-EBL está relacionada ao aumento da atividade de enzimas de estresse oxidativo nas células vegetais, o que melhora a capacidade das plantas de enfrentar estresses bióticos e abióticos, como íons de metais pesados, patógenos e condições ambientais adversas (MAIA, 2022).

4.5. Expressão gênica de plantas.

A regulação genética é vital nas interações genótipo-ambiente, moldando características de resistência (NAPIER, 2022). Em organismos eucarióticos, diversos mecanismos, como compactação de cromatina e splicing de RNA, regem a expressão gênica (GEHRING, 2021; AKMAKJIAN, 2022). O início da transcrição emerge como fator primordial na regulação dos genes (DIMAURO, 2020). Esses processos, incluindo metilação de DNA e degradação de proteínas, são fundamentais na modulação da expressão gênica (YAISH, 2011; MOORE, 2013; TANG, et al 2023). Constituído uma base genética essencial para a adaptação e mudança evolutiva em diferentes contextos biológicos (DAR, et al 2022).

A manipulação de genes específicos é crucial para compreender a função genética e modificação das atividades celulares, seja para avançar na compreensão dos processos bioquímicos e moleculares, seja para melhorar características desejáveis (SEFFER, et al 2013; MATTEI, 2022; WU, et al 2023). A precisão é crucial para o êxito na engenharia genética e biologia sintética, onde a biologia molecular é essencial para identificar genes relacionados a respostas fisiológicas, como a tolerância a metais pesados (VENNAPUSA, et al 2023). É essencial compreender a função dos genes para entender processos biológicos como diferenciação celular e adaptação (BENNETT, 2022). Um único gene pode produzir diferentes mRNA e proteínas de acordo com os estímulos e variações celulares (KUMAR, et al 2023). Esses genes podem ser empregados em programas de melhoramento genético para aumentar a tolerância a condições adversas, com a engenharia genética permitindo a transferência entre plantas e espécies incompatíveis (GUMULYA, 2018; YANG, et al 2019; JAMLA, et al 2021).

As estratégias empregadas na elaboração de perfis de expressão genética envolvem a geração de cDNA a partir dos RNAm presentes nas células ou tecidos (REMACHO, 2023). Algumas abordagens permitem a análise da expressão de genes já identificados e disponíveis em bancos de dados públicos, utilizando sondas ou primers específicos (KHORKOVA, et al 2023). A qRT-PCR (Reação em Cadeia da Polimerase em Tempo Real com Transcriptase Reversa Quantitativa) é uma dessas técnicas, frequentemente utilizada para detectar genes com expressão diferenciada (TAYLOR, et al 2019; JI, 2020; HARSHITHA, 2021; YOU, et al 2021).

Este método proporciona sensibilidade, especificidade e consistência na quantificação dos produtos amplificados, monitorando a fluorescência em cada ciclo de PCR, ao contrário de outras abordagens que detectam o produto somente ao final da reação (YOU et al., 2021; CHEN, 2022; HAQ, et al 2023).

A região promotora é essencial para regular a expressão dos genes, fornecendo locais de ligação para as RNA polimerases que iniciam a transcrição do gene (LIVRAMENTO, et al 2022). Nessa região, componentes como o TATA Box, CCAAT Box e GC Box determinam com precisão o início e o local da transcrição, influenciando sua velocidade (PONJAVIC, 2006; HABERLE, 2019; LE, et al 2019). Além dos elementos presentes na região promotora, acentuadores e silenciadores, mesmo situados distantes, exercem controle sobre a ativação ou inibição da transcrição, contribuindo para a regulação genética em diversos níveis (SLOUTSKIN, 2021). Diversas investigações estão em curso para descobrir novos promotores capazes de direcionar a expressão em tecidos ou órgãos específicos em diferentes espécies vegetais (CAESAR et al, 2011; MITSIS, 2020; TANG, 2023).

4.6. Atuação do gene *CYP_{85A2}* na via metabólica de brassinosteróides (BR).

O gene *CYP_{85A2}* é considerado gene bioindicador, desempenha um papel crucial na biossíntese de brassinosteróides, na codificação da enzima P450 (KWON, 2005; SCHULER, 2006; AZAB, et al 2020). A ação desse gene ocorre principalmente no retículo endoplasmático, uma organela intracelular responsável pela síntese de lipídios e proteínas (FUJIYAMA, 2022). Especificamente, o *CYP_{85A2}* codifica uma enzima do tipo citocromo P450 (Figura. 2), localização na membrana do retículo endoplasmático liso é estratégica, pois essa membrana é rica em lipídios, criando o ambiente ideal para essa transformação bioquímica ocorrer de maneira eficiente (LIU, 2014; LUO, 2015; YANG, 2022).

A enzima P450 é uma família de enzimas altamente diversificada e monogênese, ou seja, derivada de um único ancestral comum, presente em praticamente todos os organismos (OHNISHI, et al 2012; MAO, 2013). No contexto da biossíntese de brassinosteróides, essas enzimas são fundamentais na conversão de compostos esteroidais em brassinosteróides ativos (PANDIAN, 2020). Essa transformação ocorre principalmente no retículo endoplasmático das células vegetais, onde as enzimas P450 catalisam reações de hidroxilação e oxidação específicas que modificam a estrutura do campesterol, transformando-o em campestanol (CN) (NO-

GUCHI, 2000; MAK, 2014; NOLAN, 2022). Essa conversão é uma etapa fundamental na síntese dos brassinosteróides (BR), que desempenham um papel essencial na regulação do crescimento, desenvolvimento e resposta ao estresse nas plantas (MINERDI, 2023).

Os BR, por sua vez, atuam como reguladores de crescimento vegetal, influenciando a divisão celular, alongamento celular e diferenciação de tecidos (SHARMA, et al 2017). Esses hormônios também estão envolvidos na resposta das plantas aos estresses ambientais, auxiliando na adaptação e sobrevivência das plantas em condições adversas (JAILLAIS, et al 2011; KHAN, et al 2022).

Nos vegetais foi descrito o envolvimento do gene *CPY* inúmeras defesas biológicas relacionadas a temperatura, metais pesados, patógenos (fungos, bactérias e vírus), salinidade, seca e isentos, provado a sua importância na regulação bioquímica e conservação célula (LI, 2020).

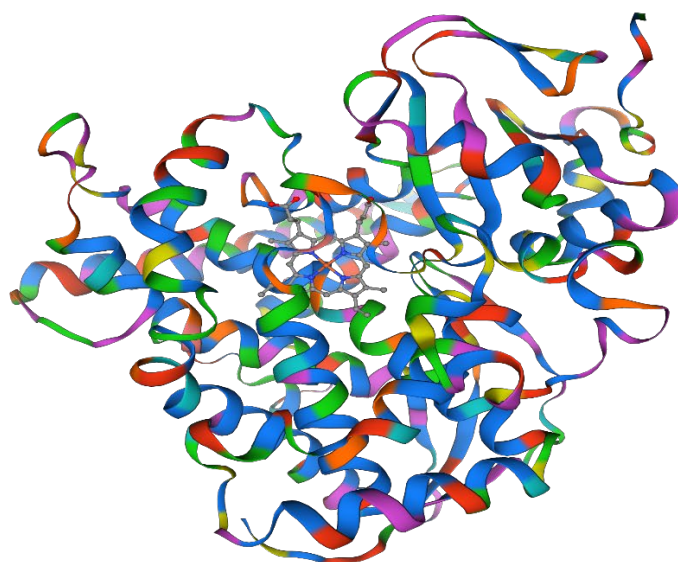


Figura. 2: Modelagem molecular da enzima citocromo P450 responsável pela transformação de campesterol para campestanol (CN), precursor de brassinosteróides (BRs) ativos.

Fonte: Autor, 2023.

4.7 Importância e função do gene *BZRI* no crescimento, desenvolvimento e regulação biológica das plantas.

A regulação da expressão do gene BRASSINAZOLE-RESISTANT 1 (*BZRI*) ocorre por meio de complexas vias de sinalização hormonal, como as vias de brassinosteroides (BRs) (REN, et al 2020). Estudos indicam que *BZRI* está envolvido na resposta das plantas a diversos estímulos ambientais, como luz, temperatura e hormônios (MARTINEZ; 2018). De acordo com

pesquisas recentes, a função do gene *BZR1* está associada à modulação do tamanho, aumento da clorofila, controle do alongamento do caule, e regulação da arquitetura da planta (YANG, 2021; PARADA, 2022).

Quando a planta enfrenta toxicidade por metais, ocorre uma sinalização intracelular que ativa o gene *BZR1*, levando à transcrição no núcleo celular e à produção de RNA mensageiro (mRNA) (ZHAO, 2021) (Figura. 3). Este mRNA é então traduzido em proteína *BZR1* pelos ribossomos, que atua como um fator de transcrição. A proteína *BZR1* migra de volta para o núcleo, onde se liga a regiões específicas do DNA (WANG, 2019; MOON, et al 2020).

Posteriormente, a proteína *BZR1* regula a expressão de genes relacionados à tolerância a ions tóxicos, ativando ou reprimindo sua transcrição (RUIZ, 2017; SRIVASTAVA, 2020). Isso desencadeia uma cascata de respostas celulares que incluem a ativação de genes envolvidos na detoxificação, na redução do transporte de íons tóxicos e no reforço da resistência ao estresse oxidativo (SILVA, 2021).

Inicialmente, o *BZR1* se conecta a elementos de resposta específicos nos promotores de genes associados ao estresse oxidativo, estimulando sua transcrição (XIONG, et al 2020). Esses genes codificam enzimas antioxidantes cruciais, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPX), essenciais para combater os radicais livres gerados pelos metais pesados (SHAHID, 2011; KUMARI, 2019; YAQOOB, 2022). Além disso, o *BZR1* também regula genes envolvidos na produção e acúmulo de compostos antioxidantes, como glutathione e ascorbato, reforçando ainda mais a capacidade de defesa antioxidante da planta (KOTHARI, et al 2021).

Em um segundo momento, o gene *BZR1* influencia a expressão de transportadores de metais, como os canais de transporte de íons, que controlam a absorção e a distribuição do Cd na planta (LIU, 2022). Ao modular a expressão desses transportadores, o *BZR1* ajuda a minimizar a entrada excessiva de Cd nos tecidos e células vegetais, reduzindo assim a exposição ao metal tóxico (SONG, et al 2019; RAI, 2023).

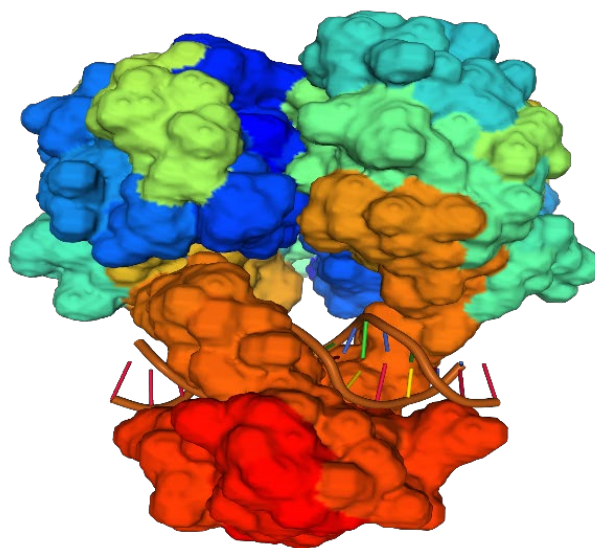


Figura. 3: Modelagem molécula das proteínas BRASSINAZOLE-RESISTANT 1 (*BZR1*), demonstrado a transcrição de genes alvos.

Fonte: Autor, 2023.

4.8 Fitoquelatina na redução de Cd em plantas *CAD1*.

O gene *CAD1* é fundamental na resposta das células vegetais ao estresse causado pela exposição ao Cd (ZHAO et al, 2022). Quando as células percebem a presença elevada de Cd em seu ambiente, o gene *CAD1* é ativado (LI, 2020). Uma das principais ações desse gene é promover a síntese de fitoquelatinas, que são pequenas moléculas de peptídeo ricas em cisteína (LEE, 2004; DÍAZ, 2022).

As fitoquelatinas são sintetizadas a partir de cisteína, que é um aminoácido com alta afinidade pelo Cd. O gene *CAD1* coordena a produção de enzimas que catalisam a ligação da cisteína para formar as fitoquelatinas (FILIZ, 2019). Essas moléculas têm uma notável afinidade pelo Cd e, quando produzidas em resposta ao estresse causado por esse metal, sequestram o cádmio dentro das células, formando complexos estáveis (SONG, 2017).

Esses complexos de fitoquelates são direcionados para compartimentos celulares, como os vacúolos, onde o Cd é armazenado de forma inativa e menos tóxica (URAGUCHI, et al 2018). Dessa maneira, o gene *CAD1* desempenha um papel crítico na redução dos níveis tóxicos de Cd nas células vegetais, protegendo a integridade e a função celular em situações de estresse causadas pela exposição a esse metal pesado (SHAO, 2022). Essa resposta adaptativa é essencial para a sobrevivência das plantas em ambientes contaminados por Cd e é uma estratégia chave para mitigar os danos à saúde da planta (RODRIGO, 2013; HE, et al 2020; LI, 2024).

5. MATERIAL E MÉTODOS

A execução do experimento foi conduzida na sala de crescimento no Laboratório de Estudo da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS), localizado no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) na Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, Campus Belém-PA as análises bioquímicas foram executadas no Laboratório de Bioquímica do EBPS. As sementes foram fornecidas pelo Laboratório de Sementes (LABSEM), UFRA Campus: Belém no total de 600 sementes, nas primeiras etapas de produção de plântulas de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) as sementes foram escarificadas com lixas número 80 e embebidas em solução com 24-EBL (24-epibrassinolídeo) e água deionizada (controle) por 24 horas para auxiliar na quebra da dormência. Logo após as sementes foram semeadas em vasos com substrato de areia lavada em água corrente, autoclavada e seca em estufa a 80°C.

5.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial 4x3, com 12 tratamentos dividido entre 4 doses de CdCl₂ (0 µM, 50 µM, 100 µM e 150 µM) e 3 de brassinoesteróides na forma de 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 40nM de EBL) em 5 repetições cada vaso com 15 plantas por vaso (Figura. 4).



Figura 4: Plântulas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá) submetidas em diferentes doses de CdCl₂ e efeito de 24-EBL na sala de crescimento localizado no Laboratório de Estudo da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS).

Fonte: Autor, 2023.

5.2 Biometria

Altura das plântulas e comprimento das raízes foram obtidas no final do experimento em 14 dias com auxílio de régua centimétrica, sendo feito a biometria da base do coleto até a gema apical das plantas.

5.3 Determinação dos teores de clorofila *a*, *b*, total (*a+b*), carotenoides e antocianina

Para obtenção da clorofila total foi utilizado o cálculo simples: Clorofila total = clorofila *a* + clorofila *b*. Primeiramente foi pesado, 100 mg de folha fresca de cada tratamento, colocando em um cadinho com gelo, para maceração das amostras, contendo 3mL de acetona 80%, seguindo maceração e posteriormente centrifugação, logo após o sobrenadante para um sobrenadante para um balão volumétrico de 25 mL e o volume foi aferido com acetona 80%. As amostras foram lidas em espectrofotômetro à 663nm (Clorofila A), 647nm (Clorofila B), 537nm (Carotenoides) e 470nm (Antocianinas) colocando anteriormente o branco para zerar o aparelho (acetona 80%).

5.4 Expressão genética

Para acompanhamento dos estudos de base molecular foi feito levantamento bibliográfico dos principais genes associados a fitorremediação de Cd e regulação de 24-epibrassinolide. Para a seleção dos genes alvos foi consultado o banco de dados do National Center for Biotechnology Information (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) na categoria da botânica da família (Fabaceae) e classe (Magnolipsida) para elaboração do designer de primers foi utilizado Primer3Plus - Bioinformatics (<https://www.primer3plus.com/>). Para prática de modelagem molecular das estruturas de proteína foi usando modelagem por homologia através do servidor online Swiss-Model pela técnica de modelagem threading, utilizando o Protein Data Bank (PDB) como base de dados.

5.4.1 Extração de amostras de mRNA.

No início da extração do RNA total, a atividade foi realizada no Laboratório EBPS, localizado no Campus da UFRA. Primeiramente, procedeu-se à separação das amostras de plântulas submetidas aos tratamentos (CdCl₂ x 24-EBL) e à testemunha. Foram separados 5mg de folíolos e raízes in natura e acondicionados em tubos eppendorf contendo 2 ml de uma solução de RNAlater caseiro para posterior armazenamento em ultrafreezer a -80°C, aguardando o momento de iniciar a extração de RNA. Para a obtenção do RNA, foi utilizado o reagente TRIzol® (Life Technologies), seguindo as instruções do fabricante. Para preservar o material genético,

empregou-se nitrogênio líquido, seguido pela ruptura dos tecidos por meio de pistilos estéreis autoclavados.

5.4.2 Quantificação e pureza das amostras de RNA.

A avaliação da pureza e quantificação do RNA foi conduzida no Laboratório de Genética Aplicada (LGA), localizado no Campus da UFRA, utilizando o espectrofotômetro UV/Vis modelo Biodrop Duo. Em seguida foi feito o cálculo de pureza das amostras, em por meio da razão das absorbâncias medidas a 260 e 280 nm (razão 260/280), resultados próximos de 1,8 foram consideradas com grau de pureza aceitável. Posteriormente, as amostras foram diluídas, ajustadas para uma concentração de 50 ng/μL e submetidas à DNase I, livre de RNase (Thermo Scientific), conforme as instruções fornecidas pelo fabricante.

5.4.3 Análise molecular qPCR tempo real

As análises qRT-PCR foi realizado pelo método one-step no Laboratório de Sorologia e Biologia Molecular Campus-UFRA: Belém-PA. As amostras foram padronizadas em duplicata em conjunto com genes descritos na tabela 1, para amplificação de único produto as amostras foram ajustadas para o volume final de 10 μL, com 1x kit de uma etapa do *Power Sybr® Green RNA-to-CTTM* (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA), 0,03 μL de transcriptase reversa, 4,4 μL de água ultra, 1 μL de RNA e 0,36 μL de pares de primers Forward e Reverse (Tabele. 1). Todas as reações foram realizadas no termociclador CFX96 Touch™ Real-Time Detection System (Bio-Rad, Hercules, CA, USA), com protocolo recomendado pelo fabricante do kit utilizado. A expressão gênica foi estimada pelo método $2^{-\Delta\Delta CT}$ usando o gene Actina como referência para estabilizar os genes alvos do presente estudo.

Tabela. 1: Sequência de oligonucleotídeo para análise de expressão genica nas folhas e raízes de *S. parahyba var. amazonicum* para sequências de primers usando a técnica de qRT – PCR.

Gene	Primers	GenBank
<i>CPY_{85A2}</i>	F AAGAATGCTCGTCGTCCTCC R ATCTCCTCTGGCACCCATCT	ID: 816394
<i>CADI</i>	F CAGGGGTAGAGAACTGGGGA R GGATGGTGTGAGACCTAGCG	ID: 834430
<i>BZR1</i>	F TCTCAACTCCGTTCCGTTTC R TGACGAAGAAGCCACAACCTG	ID: 843845
<i>ACTIN</i>	F GAAGCACCTCTCAACCCCAA R GGAAAGGACCGCCTGGATAG	ID: 14763233

Legenda: *CPY_{85A2}* (citocromo-450), *CADI* (Fitoquelatina), *BZR1* (Proteína da família do regulador positivo de sinalização de brassinosteroides) e *Actin* (Actina).

Fonte: Autor, 2023.

5.5 Estatística experimental

As variáveis moleculares, bioquímicas e biométricas obtidas, foram submetidos à análise estatística, utilizando-se análise de variância (ANOVA) no programa computacional R, versão 4.2.1., as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para elaboração dos gráficos foi utilizado através do software R Studio versão 1.3.1093 utilizando a pacote ggplot2 e a função “rcolorbrewer.

6. RESULTADOS DISCUSSÃO

6.1 Influência de CdCl₂ e 24-EBL nos parâmetros biométricos na espécie *S. parahyba var. amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá).

Na Figura 5.a, referente a estrutura aérea sobre a coordenação de atenuadores fitohormonais (0, 20 e 40nM de EBL), embora não haja diferença significativa ($p < 0,05$) em 40nM de 24-EBL em comparação ao controle (0 μ M de CdCl₂ e 0 nM de EBL), percebe-se, com base nos percentuais de perda e ganho (PRA%), mínima mudança no crescimento das plantas em resposta à variação de CdCl₂ (34% > 33% > 33% > 31%).

Em resposta à perda energética devido ao estresse causado pelos íons de Cd, o fitohormônio 24-EBL estimula a enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO), uma enzima-chave no processo de fotossíntese (KAGALE, et al 2007; JIANG, et al 2012; NGUYEN, 2021). Esta enzima é responsável por fixar o dióxido de carbono (CO₂) durante a conversão da energia luminosa em carboidratos (KOCH,1996; LI, 2005; ZHU, 2016; YIN et al, 2022). Essa regulação adicional permite que a planta acumule reservas de carboidratos que podem ser usadas posteriormente para suprir as demandas energéticas durante o estresse e a recuperação (GILL, 2010; ZHAO et al 2017; WANG, 2017; HUQUE,2021).

Contudo, os efeitos tóxicos de Cd foram averiguados com maior severidade, nos grupos de 0 e 20nM de 24-EBL (Figura 5.a) em diversificadas doses de CdCl₂ (0 μ M, 50 μ M, 100 μ M e 150 μ M) com diferença estatística ($p < 0,05$), comparado ao controle. As taxas de PRA% das plantas em dosagens de 0 (0,5%>-21>-21,6%>-33%) e 20nM (9,5%>-14,5>-23,6%<-16%) EBL, correspondentes nas variáveis da altura diminuiu à medida que aumenta as concentrações de CdCl₂.

Na parte aérea, em altas concentrações de Cd desencadeia uma série de eventos que geralmente reduzem o crescimento de suas hastes principais, optando por direcionar seu investimento energético para o crescimento lateral e radicular (KIM, 2010; ZHU, 2021). Esse ajuste é mediado pela inibição da atividade da auxina, hormônio vegetal que promove o alongamento

celular (BAJGUZ, et al 2019; GROSZYK,2021; QIAO, 2022). Além disso, as plantas podem aumentar a síntese de compostos antioxidantes, como glutathione, para mitigar os danos causados pelo estresse oxidativo induzido pelo Cd, contribuindo assim para o equilíbrio fisiológico e bioquímico (VILLIERS, et al 2012; KARWEL, et al 2020).

Em relação às estruturas radiculares (Figura 5.b), após a administração de 24-EBL (0, 20 e 40 nM), nota-se declínio de atividade de atenuação, ocorrendo prejuízo no comprimento das raízes diferentes concentrações de CdCl₂ (0 µM, 50 µM, 100 µM e 150 µM), com uma variação estatisticamente significativa ($p < 0,05$), em comparação com o grupo de controle. Isso culmina no comprometimento na dimensão das raízes devido aos ação prejudiciais dos íons de Cd.

As raízes das plantas são a primeira linha de contato com o ambiente e, portanto, são mais suscetíveis à absorção de metais pesados, como o Cd, presente no solo (BARANDA, et al 2019). Além disso, as raízes contêm maior concentração de sítios de ligação e transportadores de íons, o que aumenta a captação de Cd em comparação com as folhas (IORI, 2017; SABELLA, 2022).

Porém em casos extremos de toxidez os vegetais podem fortalecer suas raízes através da lignificação, convertendo células meristemáticas em células xilemáticas e depositando lignina, resultante da síntese e polimerização de monômeros fenólicos como o coniferaldeído (WANG, et al 2019; KOBYLETSKA, et al 2020; YAN, 2023). Esse processo confere resistência mecânica, melhora a condução de água e nutrientes e fecha espaços intercelulares, reduzindo a exposição ao Cd no solo, aumentando a resistência ao metal (MUNEER, 2012; ZHU, 2016; ZULFIQAR, et al 2022). No entanto, apesar de essencial, a lignificação não elimina totalmente o estresse causado pelo Cd (XU, et al 2013; WISZNIEWSKA et al., 2019; BALK, 2023). Esses seres utilizam várias táticas purificação endocelular, como o emprego de enzimas antioxidantes para eliminar Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) e mitigar os efeitos oxidativos nas células radiculares. (ARORA, 2010; RAZA et al 2022).

Se tratado de espécies endêmicas do bioma amazônico o Mogno Africano (*Khaya grandifoliola*) acumula Cd em suas raízes, na espécie ucuúba (*Virola surinamensis*) sobre a influência de Cd foi apurado o aumento de açúcares redutores nas raízes para ajuste osmótico e proteção tecidual (PAIVA, et al 2021; JÚNIOR, et al 2021). Em pesquisas conduzidas em *S. parahyba* var. *amazonicum* em ambientes desfavoráveis, na presença de zinco (Zn) e o uso de silício (Si) como um elemento moderador possibilitaram redução da deficiência de nutricional,

destacando a espécie como fitoestabilizadora (ALBUQUERQUE, et al 2020). Essas características destacam adaptações fisiológicas das espécies amazônicas em ambientes poluídos.

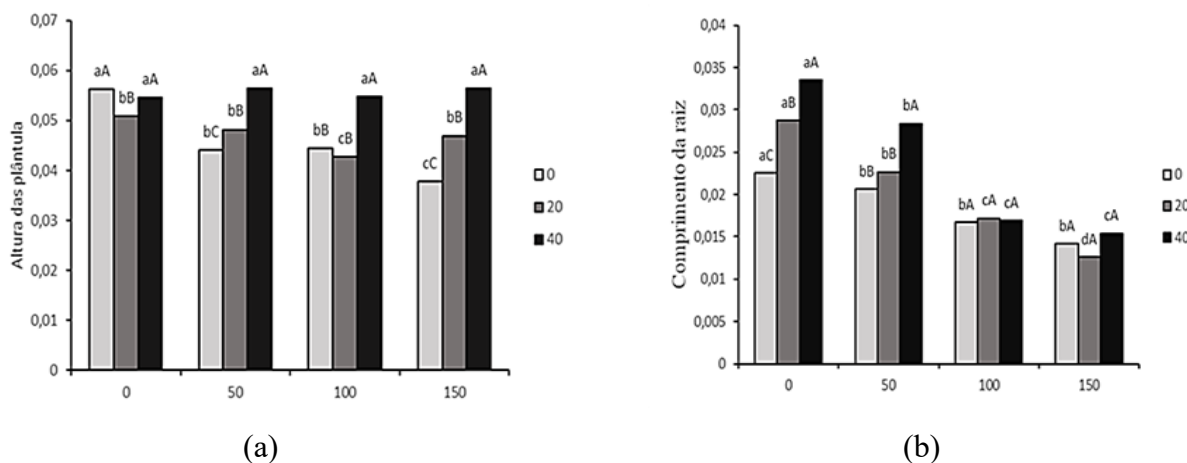


Figura. 5: Efeito de CdCl₂ (0μM, 50μM, 100μM e 150μM) e 2-EBL (0nM, 20nM e 40nM) na altura das plântulas (a) e comprimento das raízes (b) da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) (a). Legenda: Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos CdCl₂ (p < 0,05) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com 24-EBL (p < 0,05) com base no teste de Tukey.

6.2 Influência de CdCl₂ e 24-EBL nos pigmentos fotossintetizantes da espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá).

Os efeitos deletérios dos íons de Cd, nos pigmentos fotossintetizantes atuaram de maneiras distintas entre os tratamentos. Se tratado das amostras sobre 50 μM de CdCl₂, manifestou diferença significativa (p < 0,05) negativa na Clofila *a* (figura 6.a) no segmento 40 nM de 24-EBL. Entretanto na Clofila *b* (figura 6.b) ocorreu em 0 nM de EBL, interferido diretamente nos pigmentos de clorofila total (figura 6.c), com significância negativa (p < 0,05), nas mesmas condições de CdCl₂ (50 μM) entre 0 e 40 nM de 24-EBL.

Em altas concentrações, os íons de Cd podem substituir o Mg na clorofila ou Fe na ferredoxinas (ELLER, et al 2015; ÇIKILI, 2016; CHEN, et al 2019). O íon magnésio (Mg²⁺) desempenha um papel essencial na absorção de luz na molécula da clorofila, com seu anel porfirínico central (BENAVIDES, 2005; HAJJAUI et al, 2022). Quando o Cd substitui o Mg²⁺, a eficiência da fotossíntese é comprometida, uma vez que o Mg²⁺ contribui na absorção de luz e na transferência de elétrons durante esse processo (SONG et al. 2019; SEREGIN, 2021).

Correspondente a dosagem de 20nM de 24-EBL sobre ação de 50 μM de CdCl₂, alcançou diferença significativa (p < 0,05), quando comparado ao controle na *Chl a* (figura 6.a), *Chl b* (figura 6.b) e *Chl a+b* (figura 6.c), observa-se valores positivos no PRA% nas classes de

clorofila, *Chl a* (25,1%), *Chl b* (12,7%) e *Chl a+b* (9,6%). A aplicação exógena de 24-EBL tem mostrado um papel significativo na melhoria da tolerância ao estresse oxidativo induzido pelo metal Cd em plantas (JAN et al, 2018). Quando pulverizado nas folhas, o 24-EBL atua como um modulador chave, ativando sistemas antioxidantes intracelulares (YU et al., 2017; HASANUZZAMAN, 2017; STIRK, et al 2018). Induzido a síntese de enzimas antioxidantes como a SOD, GPx, e a CAT, que auxiliam na neutralização dos radicais livres gerados pelo Cd, minimizando assim os danos oxidativos às biomoléculas (RAZA, 2013; SHAH et al, 2019).

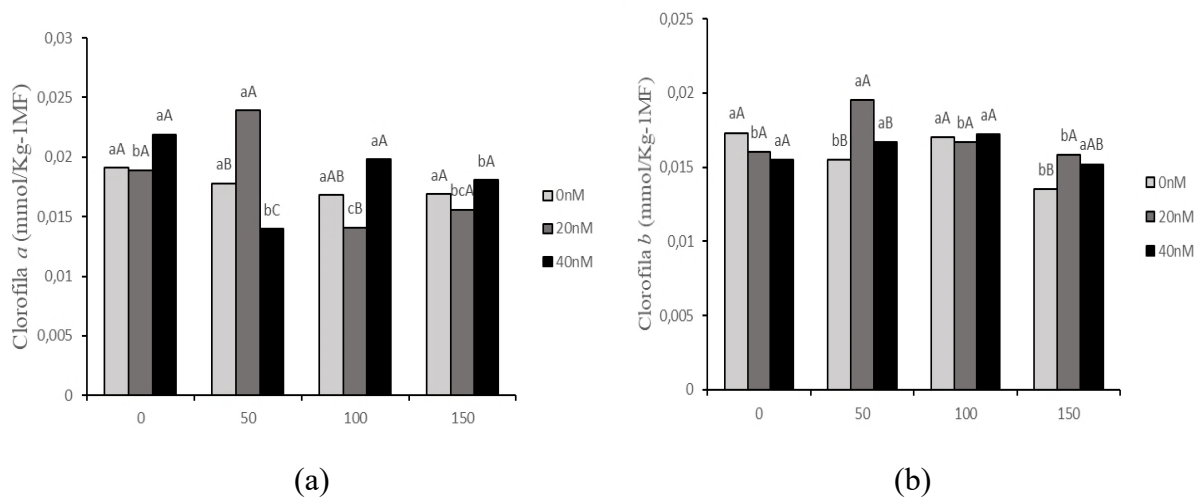
Os extratos das amostras pertencentes aos índices 100 e 150 μM de CdCl_2 , revelam variação estatística negativa ($p < 0,05$), na classe de 100 μM sobre interação de 20nM de EBL em *Chl a* (figura 6.a), *b* (figura 6.b) e *a+b* (figura 6.c). Todavia o maior grau de periculosidade foi observado no segmento de 150 μM , independente da classe fitohormonal de 24-EBL (0, 20 e 40nM), ocorreu diferença estatisticamente substancial ($p < 0,05$) em todos os segmentos de *Chl* (*a*, *b* e *a+b*), podendo ter limitado sistema fototrófico da espécie Paricá (*S. parahyba* var. *amazonicum*).

O Cd alta doses afeta os complexos proteicos, essenciais na cadeia de transporte de elétrons durante a fotossíntese, inibindo sua atividade e comprometendo a transferência eficiente de elétrons (BAJGUZ, 2011; SACHDEV, et al 2021). Esse efeito adverso resulta na diminuição de ATP (trifosfato de adenosina) e NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato reduzido), ambos cruciais para a síntese de glicose e outros componentes vitais da fotossíntese (PARMAR, 2013; GUTSCH, 2018; SABIR et al, 2019). Porém a utilização de 24-EBL exógeno, promove a manutenção fisiológica das folhas, estimulando o fechamento dos estômatos e reduzindo a perda de água transpirada, auxiliado a preservar a integridade da membrana celular e a eficiência fotossintética (PALLIOTTI, 2015; MOHAMMAD, 2020; JÚNIOR, 2022; GUO, 2023). Em nível bioquímico, também aumenta a concentração de compostos antioxidantes não enzimáticos, como polifenóis e flavonoides, fortalecendo a capacidade da planta em combater o estresse oxidativo causado pelo Cd (ASAMI, 2005; YADAV et al, 2016; EMAMVERDIAN, 2020).

Apesar das alterações nos índices de clorofilas devido os graves efeitos tóxicos do CdCl_2 , durante a condução do experimento, observam-se modificação na metabolização nos teores dos pigmentos antioxidantes como carotenoides (*CAR*) e antocianinas (*ACN*). Especificamente, os pigmentos *CAR* (Figura 6.e) aumentaram significativamente ($p < 0.05$) nas plantas submetidas a 0, 20 e 40 nM de 24-EBL, em comparação com as variações de CdCl_2 (0, 50, 100

e 150 μM). Vale destacar, quando expostas a 150 μM de CdCl_2 e tratadas com 24-EBL (0, 20 e 40nM), as plantas registraram alterações no PRA% de 40%, 15,7% e 12,6%, respectivamente. No que diz respeito as *ACN* (figura 6.d), observou-se uma diferença significativa nos níveis de resposta ao estresse induzido por metal, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), detalhadamente em concentrações de 0 e 150 μM de CdCl_2 , agrupado em 0 e 20 nM de 24-EBL, colaborado para anulação de radicais livres de oxigênio, nas células vegetais.

O acúmulo excessivo de Cd dentro das células vegetais facilita a formação de ROS, as quais são presentes de forma natural em plantas, mas em quantidades mínimas durante condições normais (SIMKIN, 2019). Para prevenir o estresse oxidativo, as plantas podem diversificar sua forma de combate as oxigênio reativo, como a metabolização de *CAR* e *ACN* (ANDRIANOS, 2016; YAO, et al 2022; MULYANINGSIH, 2023). Os *CAR* e as *ACN* desempenham um papel antioxidante essencial durante a fotossíntese, neutralizando a atividade do oxigênio singlete (MAHALAKSHM, 2017; ENARU, et al 2021; GUPTA, 2023). Interagindo com os lipoperóxidos para interromper a produção em cadeia de ROS, eliminando moléculas excitadas de clorofila para evitar a formação de oxigênio singlete e neutralizando o excesso de energia excitada durante o ciclo da xantofila (BEHRENS, et al 2019; CERQUEIRA, et al 2023).



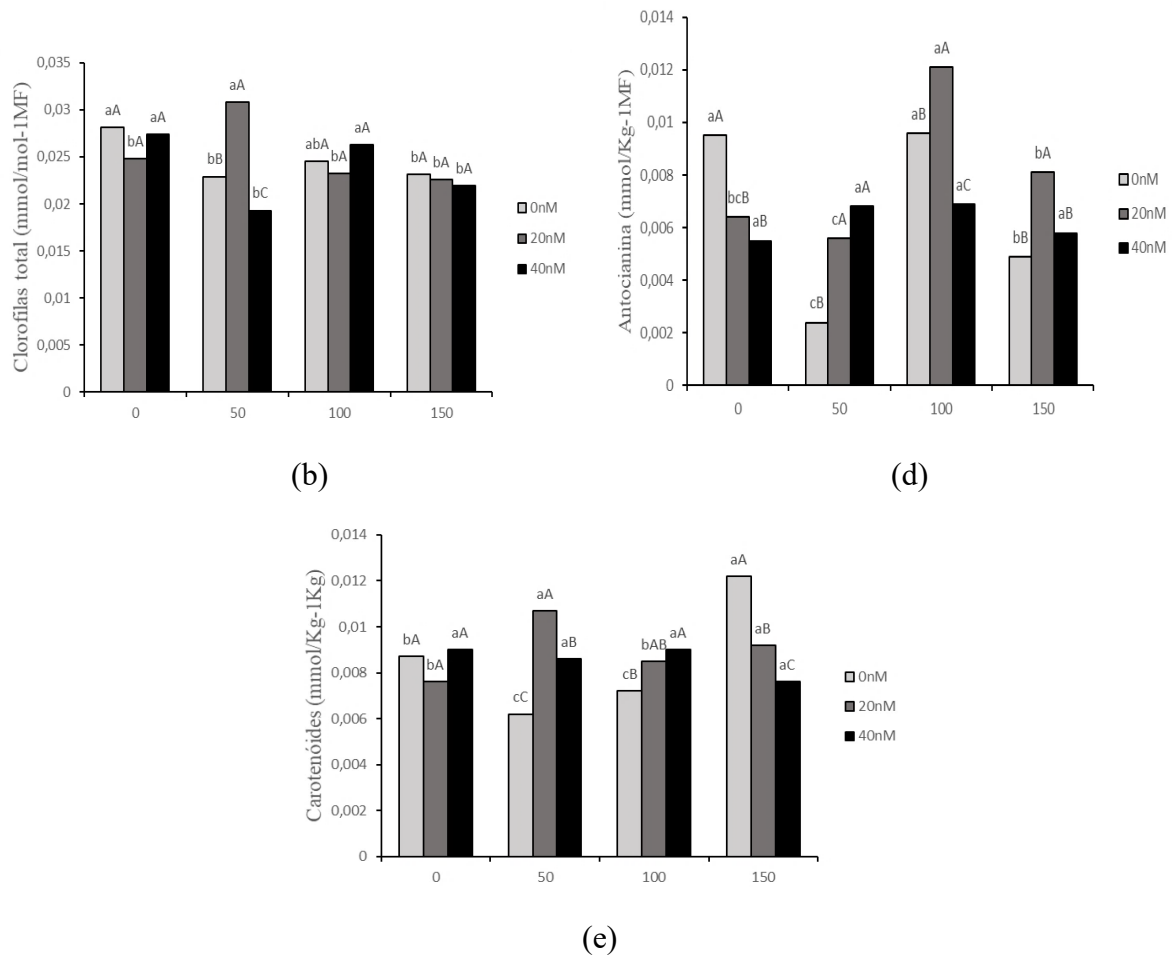


Figura. 6: Efeito de CdCl₂ (0μM, 50μM, 100μM e 150μM) e 2-EBL (0nM, 20nM e 40nM) na distribuição de Clorofila *a* (a), Clorofila *b* (b), Clorofila total (*a*+*b*) (c), antocianinas (d), carotenóides (e), espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (PARICÁ). Legenda: Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos CdCl₂ ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com 24-EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey.

6.3 Influência de Cd e 24-EBL nos genes *CYP85A2* e *BZRI* na parte aérea e raiz na espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ).

A avaliação por RT-PCR dos folíolos das plântulas ocorreu após sua exposição a várias concentrações de CdCl₂ (0, 50, 100 e 150 μM), estando sujeitas à influência de diferentes quantidades de 24-EBL (0, 20 e 40 nM). Destaca-se a expressão significativa dos genes *CPY85A2* (Figura 7.a) e *BZRI* (Figura 7.b), evidenciando uma diferença estatística notável ($p < 0,05$) na presença da concentração de 40 nM de 24-EBL. Entretanto, de forma curiosa, à medida que as concentrações de CdCl₂ (50, 100 e 150 μM) aumentam, os percentuais de PRA% de *CPY85A2* diminuem para 471%, 167% e 146%, enquanto no caso de *BZRI* ocorre o inverso, com aumentos de 230%, 446% e 716%.

Na presença de elevadas quantidades de íons de Cd na parte aérea, ocasionar o surgimento das ROS afetando a fotossíntese, condutância estomática, enzima RuBisCO e transpiração (NOGUEIRA et al., 2019). Em situações de estresse fisiológico, *BZRI* atua na orquestração da expressão de genes relacionados a enzimas antioxidantes (KHAN, 2023). Operado na neutralizam EROs, como SOD conversor de radical superóxido em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), enquanto a CAT decompõe o de peróxido (H_2O_2) em H_2O e O_2 (HUANG et al, 2019). A GPx utiliza glutathiona reduzida para reduzir H_2O_2 a compostos menos prejudiciais (SALAMA, 2022). A Peroxidase de Ascorbato (APX), que neutraliza H_2O_2 usando ácido ascórbico como cofator (ALAM, et al 2020). A Glutathiona Redutase (GR) regenera a glutathiona reduzida, mantendo seu papel antioxidante (CAO, 2013; SANTOS, 2018). A atuação conjunta dessas enzimas forma um sistema coordenado que protege as células contra espécies reativas de oxigênio, prevenindo danos oxidativos (CONSIDINE, 2014; GONCHARUK et al., 2023).

Particularmente nas amostras das raízes, averigua-se uma notável similaridade estatística ($p < 0,05$) entre os genes *CPY_{85A2}* (Figura 7.c) e *BZRI* (Figura 7.d) precursores de EBL quando expostos a 40 nM de 24-EBL, na ausência de $CdCl_2$. Se tratado da espécie *S. parahyba*, devido à sua característica epígea, libera inicialmente o hipocótilo, impulsionando os cotilédones para a superfície do solo, seguido pela protrusão da radícula (DUTRA et al., 2017; MOURA, 2019; CUNHA, 2020). Esse processo resulta em raízes, que são as últimas estruturas a passarem pela diferenciação celular e expansão dos tecidos vasculares, resultando no maior teor de brassinosteroides (ARANTES, et al 2020). O *CPY_{85A2}*, ao influenciar a síntese de brassinosteroides, desencadeia uma cascata de eventos que impactam positivamente a divisão celular e a formação de órgãos (GAN et al., 2022; ZHANG et al., 2024). O brassinosteróides, por sua vez, interagem no núcleo das celular com *BZRI*, regulado a expressão de genes relacionada à resposta hormonal e divisão celular (BURGER, 2019; LANDI, 2021). Produção de auxina esta estritamente relacionada a interação dos genes *CPY_{85A2}* e *BZRI*, modulando seus níveis para definição da arquitetura da planta, determinando o espaçamento e a orientação das células (GRUSZKA et al., 2018; NOSAK et al., 2021).

No entanto, conforme a análise por PCR em Tempo Real dos tecidos radiculares, ao introduzir 50 μM de $CdCl_2$, observa-se uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) nos vegetais sobre diversificadas doses de 24-EBL (0, 20 e 40 nM) em *CPY_{85A2}* (Figura 7.c) e *BZRI* (Figura 7.d). Plantas expostas a altos níveis de tóxicidade de Cd, manifestam mudanças em suas células, o gene *CYP_{85A2}* é ativado, promovendo a biossíntese fitoesteroides (24-EBL), hormônios vegetais que auxiliam na redução dos efeitos tóxicos do Cd (MUSSIG, 2002; KIM,

2005; CHAKRABORTY et al., 2023). Em condições de estresse nas células, o fitohormônio 24-EBL se liga a seu receptor na membrana celular (ANWAR et al., 2018; NOLAN et al., 2020). Ocorrendo sinalização intracelular do gene *BZRI*, gerando RNA mRNA no núcleo (NAM, 2002; KIM, 2010; FANG, 2021; ZUO, 2022). Esse mRNA é traduzido em proteína *BZRI* pelos ribossomos no citoplasma (RYU, 2007; EREMINA et al., 2016; RIVEROLA et al., 2019). A proteína *BZRI* atua como fator de transcrição, ligando-se ao DNA no núcleo e direcionando genes associados à tolerância ao Cd, controlando sua expressão e quantização de enzimas e proteínas atuantes na regulação da homeostase célula (LI et al., 2016; BRUNO et al., 2021; KONO., 2020).

Além disso, o *BZRI* regula atividade de genes relacionados à síntese de proteínas fitoquelantes (KIM, 2019; XIAN, et al 2020). Essas proteínas têm a capacidade de ligar-se ao Cd e outros metais pesados, reduzindo sua toxicidade nas células vegetais (DURÁN, 2013). O *BZRI* auxilia na regulação osmótica, estimulando genes que codificam solutos compatíveis, como açúcares solúveis, que ajudam a manter o equilíbrio osmótico das células, evitando a desidratação e mantendo o equilíbrio das células (OLIVEIRA et al., 2002; FARIDUDDIN, 2014; HEWEDY, 2022).

Entretanto, com o aumento das concentrações para 100 e 150 μM de CdCl_2 nas raízes, nota-se uma baixa expressividade entre os genes *CPY_{85A2}* (Figura 7.c) e *BZRI* (Figura 7.d) nas estruturas radiculares, sem diferença estatística ($p < 0,05$) entre 0 e 40 nM de EBL. No índice de 20 nM de 24-EBL, é evidenciada uma diferença significativa ($p < 0,05$) negativa, indicando os primeiros sinais nocivos de Cd nos tecidos radiculares.

Segundo NOGUEIRA et al., 2022 espécie *S. parahyba var. amazonicum*, classificada como fitoextratora, acumula íons de Cd principalmente nas raízes, apesar da presença na parte aérea. Estudos apontam que a baixa atividade de *CPY_{85A2}* e *BZRI* reduz a produção de BR, limitado a divisão celular permitido o aumento de genes inerentes a lignificação (YU, et al 2004; ROVERE, 2022; LI et al., 2023). Pesquisas recentes apontam o papel essencial de genes ligados lignificação da parede celular das raízes para absorção, transporte e tolerância de Cd (LI et al., 2021; LI et al., 2022; SHANGGUAN, 2023). Contudo, esse mecanismo compromete a superfície de contato das raízes, resultando no encurtamento do sistema radicular (HAN et al., 2022).

Em síntese, mesmo em concentrações elevadas de 50, 100 e 150 μM de CdCl_2 , a regulação genética predominante ocorreu na parte superior das plantas. Nas raízes, houve uma redução nos estímulos gênicos, considerando que são os primeiros órgãos a entrar em contato com íons tóxicos. A aplicação de 40 nM de 24-EBL destacou-se, enfatizando a importância nos genes *CPY_{85A2}* e *BZRI*, cruciais no metabolismo do 24-EBL nas folhas. Este padrão sugere uma resposta única à exposição a CdCl_2 , destacando a relevância crucial da parte aérea na regulação gênica em condições de estresse. Essas descobertas aprofundam a compreensão dos mecanismos moleculares relacionados à resposta da planta a íons metálicos e substâncias reguladoras de crescimento.

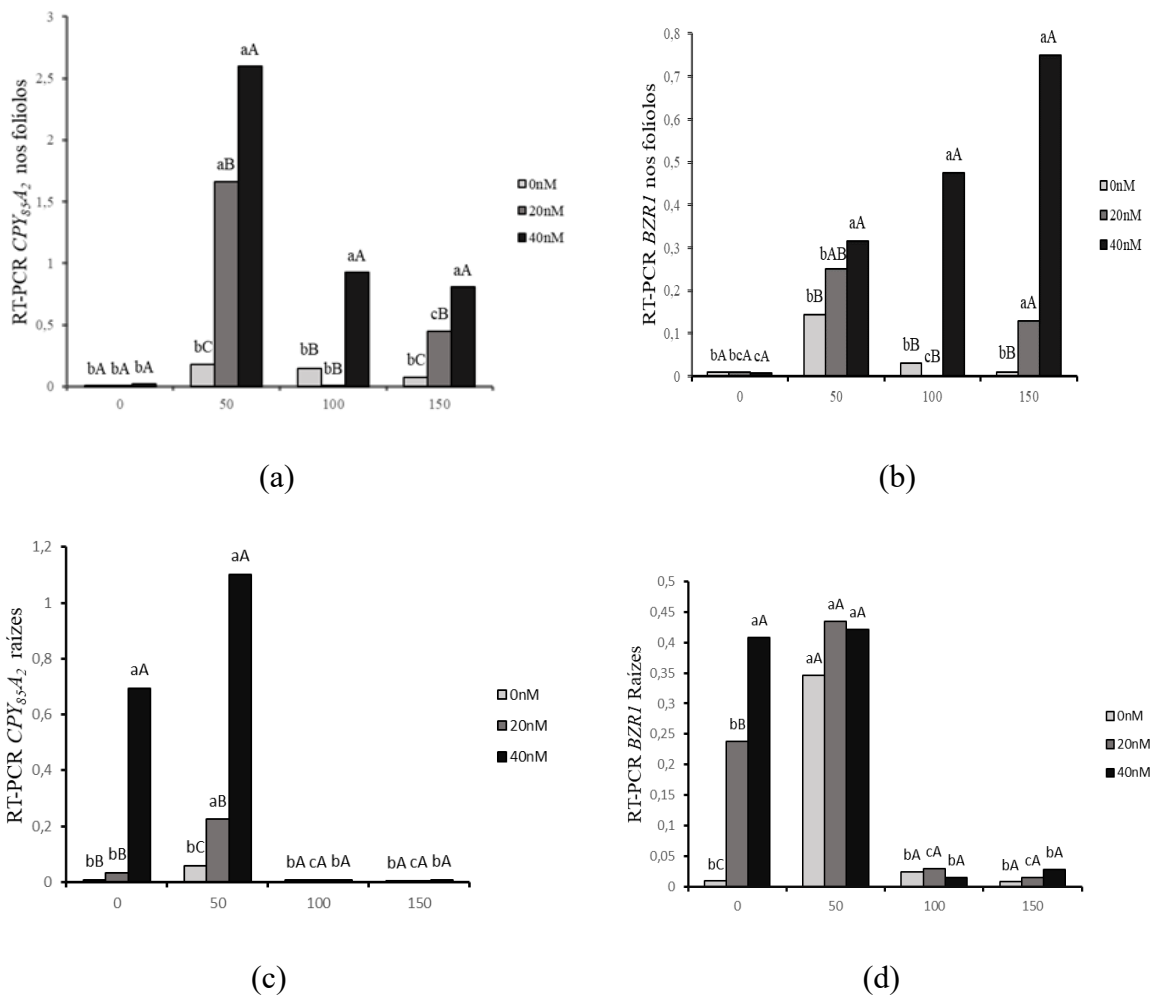


Figura. 7: Análise qPCR-RT dos genes *CPY_{85A2}* e *BZRI* da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) sobre diferentes dosagens de CdCl_2 e 24-EBL. (a) qPCR-RT do gene *CPY_{85A2}* localizado nos folíolos; (b) qPCR-RT do gene *BZRI* localizado nos folíolos; (c) qPCR-RT do gene *CPY_{85A2}* localizado no sistema radicular; (d) qPCR-RT do gene *BZRI* localizado no sistema radicular. Legenda: Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos CdCl_2 ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com 24-EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey.

6.4 Influência de CdCl₂ e 24-EBL no gene *CADI* na parte aérea e raiz na espécie *S. parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ).

As análises moleculares dos níveis de *CADI*, dos materiais genéticos referente as folhas e raízes sobre diversas doses de fitoreguladores (0nM, 20nM e 40nM) em 0µM CdCl₂, apresentaram diferença significativa ($p < 0.05$), apenas nas raízes com rendimento progressivo de PRA% (0% > 137% > 278%). Entretanto, a adição das primeiras doses de Cd evidencia diferença estatística ao nível de 5% em 50 µM de CdCl₂ sobre o fracionamento de 24-EBL (0nM, 20nM, 40nM), com atuação positiva do *CADI* tanto nas raízes (Figura 8.b) quanto nos folíolos (Figura 8.a) durante o período de experimentação.

Sobre influência do *CADI* nas células das raízes das plantas em resposta à concentração de Cd envolve um complexo mecanismo de regulação genética (COUTO, 2016; NOUNURAI, 2022). Quando as raízes detectam altas concentrações de Cd em seu ambiente, ocorre a ativação de fatores de transcrição específicos que se ligam ao promotor do *CADI* (HOLMES, 2021). Isso desencadeia a transcrição do *CADI*, resultando na produção de mRNA correspondente (JIANG, 2023). Esse mRNA é então traduzido em proteínas *CADI*, que atuam como transportadores de Cd nas células radiculares (HA, 1999; CAZALE, 2001; THEVENIN, 2021). Essa resposta molecular ajuda as plantas a enfrentarem o estresse do Cd, armazenando-o no vacúolo e diminuindo os danos em toda a planta. Isso é crucial para a sobrevivência das plantas sob exposição ao metal tóxico (HOWDEN, 1995; EUDES, 2006; BENEDICTIS, 2018).

A aplicação de 24-EBL pode maximizar a produção de fitoquelatinas (PCs) nas células das raízes das plantas, tornando-se crucial para a resposta das plantas ao estresse provocado por metais pesados e outros poluentes ambientais (CORSO et al., 2018; REEVES, 2018). Segundo SEREGIN et al., (2023) essas pequenas moléculas são sintetizadas através de uma série de reações bioquímicas complexas que ocorrem principalmente no citoplasma das células radiculares. A PCs é ativada quando a planta percebe a presença de íons metálicos tóxicos, como o Cd ou chumbo (ANDRESEN, 2013). Isso ocorre como parte do mecanismo de defesa das plantas para se proteger contra a absorção excessiva desses metais prejudiciais (YUAN, 2008; URAGUCHI, 2021; KOZHEVNIKOVA, 2020).

Distintamente nas amostras das raízes (Figura 8.b) conduzidas em 100 µM e 150 µM de CdCl₂, independente dos segmentos de atenuador usados em 24-EBL (0nM, 20nM, 40nM), exibiu mínima diferença significância ($p < 0.05$), quando comparado ao controle, expondo os primeiros

sinais instabilidade biológica. Impactado no desempenho nas folhas (Figura. 8a), mostrando inexistência de diferença a nível de significância de 5% pelo teste de Tukey nas aplicações de 24-EBL.

Resumidamente, a presença de Cd nas células das plantas pode causar mudanças em sua estrutura e função, envolvendo aspectos morfológicos, bioquímicos e fisiológicos (ANGULO-BEJARANO, 2021). Ao longo do tempo, as plantas desenvolveram mecanismos genéticos adaptativos para lidar com Cd e manter sua estabilidade biológica (HOU, et al 2023). O 24-EBL, derivado do cicloartenol, desempenha um papel crucial ao influenciar a expressão gênica ligada à tolerância ao Cd, afetando a transcrição do DNA em mRNA (ANWAR, et al 2018; RIZVI et al., 2020). Essa regulação gênica pelo 24-EBL pode resultar em mudanças na produção de enzimas antioxidantes, osmólitos e outros compostos que ajudam a reduzir os efeitos tóxicos do Cd (SHARMA et al., 2023). A interação intracelular entre RNA, DNA e fitohormônios como o 24-EBL é essencial para a resposta das plantas à toxicidade do Cd e sua adaptação em ambientes contaminados (SHU et al., 2016; SHARMA, et al 2018; TIAN, 2022). Embora haja pouca compreensão sobre como esse hormônio induz os mecanismos moleculares de tolerância na biodiversidade vegetal amazônica, seu papel é extremamente importante na sobrevivência das plantas em territórios poluídos com metais pesados.

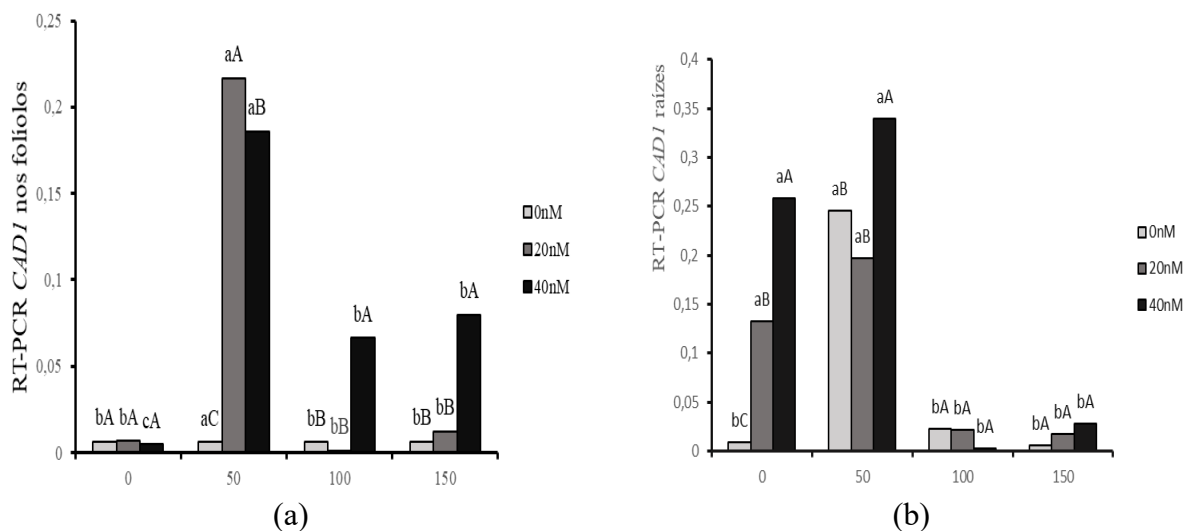


Figura. 8: Análise qPCR-RT do gene *CADI* da espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) sobre diferentes dosagens de CdCl₂ e 24-EBL. (a) qPCR-RT do gene *CADI* localizado nos folíolos; (b) qPCR-RT do gene *CADI* localizado no sistema radicular. Legenda: Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos CdCl₂ ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com 24-EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey.

7. Conclusão

No contexto deste estudo, o Cd^{2+} atingiu severamente os órgãos radiculares interferido na clorofila (*Chl a*, *Chl b* e *Chl a+b*) e estatura das plântulas de *S. parahyba* var. *amazonicum*, apesar da implementação de 24-EBL (0, 20 e 40nM). No entanto, observou-se um aumento nas variáveis *CAR* e *ACN*, possibilitado eliminação de ROs. Paralelamente o gene *CADI* atuou restritamente até 50 μM de CdCl_2 em ambos órgãos dos vegetais (Folha e raiz), auxiliado na produção de PCs para transporte de Cd^{2+} para o vacúolo no centro das células foliares. Adicionalmente, análises moleculares revelam intensificação dos genes *CYP85A2* e *BZRI* nos folíolos, quando integrado a 40nM de 24-EBL. Podendo ter um papel significativo na conversão energética e na manutenção da estabilidade célula. Essas descobertas sugerem a existência de mecanismos de proteção e gerenciamento genético que podem estender as ações biológicas diante dos efeitos prejudiciais do CdCl_2 .

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANWAR, A; LIU, Y; DONG, R; BAI, L; YU, X; LI, Y.: The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. **Biological Research**, 1-15p, 2018.

ANWAR, A; BAI, L; MIAO, L; LIU, Y; LI, S; YU, X; LI, YANSU.: 24-Epibrassinolide Ameliorates Endogenous Hormone Levels to Enhance Low-Temperature Stress Tolerance in Cucumber Seedlings. **Int. J. Mol. Sci.** 1-17p, 2018.

ALBUQUERQUE, G. D. P; BATISTA, B. L; SOUZA, A. L. M; BRITO, A. E. A; NASCIMENTO, V. R; NETO, C. F. O; PAIVA, A. P; TEIXEIRA, J. S. S; JÚNIOR, M. L. S.: The effect of silicon (Si) on the growth and nutritional status of *Schizolobium amazonicum* seedlings subjected to zinc toxicity. **AJCS**, 325-332p, 2020.

ANGULO-BEJARANO, P. I; PUENTE-RIVERA, J; CRUZ-ORTEGA, R.: Metal and Metalloid Toxicity in Plants: An Overview on Molecular Aspects. **Plants** 1-28p, 2021.

ANDRESEN, E; MATTUSCH, J; WELLENREUTHER, G; THOMAS, G; ARROYO ABAD, U; KUPPER, H.: Different strategies of cadmium detoxification in the submerged macrophyte *Ceratophyllum demersum* L. **Metallomics**, 1377–1386p, 2013.

ALMEIDA, D. H; SCALIANTE, R. M; MACEDO, L. B; MACÊDO, A. N; DIAS, A. A; CHRISTOFORO, A. L; JUNIOR, C. C.: CARACTERIZAÇÃO COMPLETA DA MADEIRA DA ESPÉCIE AMAZÔNICA PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* HERB) EM PEÇAS DE DIMENSÕES ESTRUTURAIS. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1175-1181, 2013.

ARANTES, M. B. S; MARINHO, C. S; GOMES, M. M. A; SANTOS, R. F; GALVÃO, S. P; VAZ, G. P.: Brassinosteroid accelerates the growth of *Psidium* hybrid during acclimatization of seedlings obtained from minicuttings. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 50, 1-8p, 2020.

AITYOUB, A; ABOUELFIDA, A; BENYAICH, A; ROMANE, A; ELMERAY, M; IDOULI, R; KOUMYA, Y; KHADIRI, M.: Optimization of Physicochemical Parameters during the Electrocoagulation Cadmium Elimination. **Journal of Chemistry**, 1-12p, 2020.

ALAM, P; KOHLI, S. K; BALAWI, T. A; ALTALAYAN, F. H; ALAMP; ASHRAF, M; BHARDWAJ, R; AHMAD, P.: Foliar Application of 24-Epibrassinolide Improves Growth, Ascorbate-Glutathione Cycle, and Glyoxalase System in Brown Mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) under Cadmium Toxicity. **Plants**, 1-24p, 2020.

ALI, E; HUSSAIN, A; ULLAH, I; KHAN, F. S; KAUSAR, S; RASHID, S. A; RABBANI, I; IMRAN, M; KAKAR, K. U; SHAH, J. M; CAI, M; JIANG, L; HUSSAIN, N; SUN, P.: Cadmium phytotoxicity: issues, progress, environmental concerns and future perspectives. **Rev. FCA. UNCUIYO**. 52(1): 391-405p, 2020.

ALI, H; KHAN, E; ILAHI, I.: Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. **Journal of Chemistry**, 1-15p, 2019.

ARORA, P; BHARDWAJ, R; KANWAR, M. K.: 24-epibrassinolide regulated diminution of Cr metal toxicity in Brassica juncea L. plants. **Braz. J. Plant Physiol.**, 22(3): 159-165, 2010.

AKMAKJIAN, G. Z; SERRES, J. B.: Gene regulatory circuitry of plant–environment interactions: scaling from cells to the field. **Current Opinion in Plant Biology**, 102-122p, 2022.

ASAMI, T; NAKANO, T; FUJIOKA S.: Plant brassinosteroid hormones. **Vitamins and Hormones**. 479–504p, 2005.

AHMED, M. K; SHALAN, A. E; AFIFI, M; EL-DESOKY, M. M; MÉNDEZ, S. L.: Silver-Doped Cadmium Selenide/Graphene Oxide-Filled Cellulose Acetate Nanocomposites for Photocatalytic Degradation of Malachite Green toward Wastewater Treatment. **ACS Omega**, 6, 23129–23138p, 2021.

ARAÚJO, G. P; VELLAME, L. M; COSTA, L. A; COSTA, C. A. G.: A low-cost monitoring system of stem water content: Development and application to Brazilian forest species. **Smart Agricultural Technology**, 1-7p, 2021.

ANDRIANOS, V; STOIKOU, V; TSIKRIKA, K; LAMPROU, D; STASINOS, S; PROESTOS, C; ZABETAKIS, I.: Carotenoids and Antioxidant Enzymes as Biomarkers of the Impact of Heavy Metals in food Chain. **Curr. Res. Nutr Food Sci Jour**. Vol. 4, 15-24p, 2016.

AZAB, E; HEGAZY, A. K; GOBOURIM, A. A; ELKELISH, A.: Impact of Transgenic Arabidopsis thaliana Plants on Herbicide Isoproturon Phytoremediation through Expressing Human Cytochrome P450-1A2. **Biology**, 1-14p, 2020.

BASTOS, R. S; ARAÚJO, J. L; AZEVEDO, V. S; FERREIRA, M. L. A; LIMA, L. R; ROCHA, J. A.: Cadmio complexes with biological activity: Scientific and technological prospection. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 5, 2021.

BASTOS, A. S. M; NASCIMENTO, C. M; GOMES, L. S; BARROS, L. T. C; ALVES, A. C. B; Ribeiro, D. M; NOGUEIRA, G. A. S; NETO, C. F. O.: A bibliographic review on Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) and its relationship with the phytoremediation of environments contaminated by heavy metals. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.16, n.7, 7206-7218p, 2023.

BRUNO, L.; TALARICO, E.; MADEO, M.L.; MUTO, A.; MINERVINO, M.; ARANITI, F.; BITONTI, M.B.; CHIAPPETTA, A. Cadmium Affects Cell Niches Maintenance in Arabidopsis Thaliana Post-Embryonic Shoot and Root Apical Meristem by Altering the Expression of WUS/WOX Homolog Genes and Cytokinin Accumulation. **Plant Physiol. Biochem.** 167, 785–794p, 2021.

BRAVO, D; BRAISSANT, O.: Cadmium-tolerant bacteria: current trends and applications in agriculture. **Letters in Applied Microbiology** 74, 311—333p, 2021.

BENAVIDES, M.P; GALLEGO, S. M; TOMARO, M. L.: Cadmium toxicity in plant. **Braz. Plant Physiol**, 17 (1): 21-34p, 2005.

BARANDA, Y. H; HERNÁNDEZ, P. R; ICART, M. P; HERNÁNDEZ, Y. H; RUBIO, O. C.: Toxicity of Cadmium in plants and strategies to reduce its effects. Case study: The tomato. **Cultivos Tropicales**, vol. 40, 1-18p 2019.

BAJGUZ, A; ORCZYK, W; GOŁĘBIEWSKA, A; CHMUR, M; NICZYPORUK, A. P.: Occurrence of brassinosteroids and influence of 24-epibrassinolide with brassinazole on their content in the leaves and roots of *Hordeum vulgare* L. cv. Golden Promise. **Planta** 249:123–137p, 2019.

BENDITO, B. P. C; COELHO, C. B; FERREIRA, C. W. R; MARTINS, I. C. M.: QUANTIFICAÇÃO DOS TEORES TOTAIS DE CÁDMIO, CHUMBO E MERCÚRIO, EM ÁREA DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.26; 1430-1444p. 2017.

BENAVENTE, M. S; ACHATA, L. R; OLIVERA, M; SANCHEZ, V. A; NANO, C. C; QUISPE, J. G.: Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. **Scientia Agropecuaria** 11(1): 49–59, 2020.

BALK, M; SOFIA, P; NEFFE, A. T; TIRELLI, N.: Lignin, the Lignification Process, and Advanced, Lignin-Based Materials. **Int. J. Mol. Sci.** 1-47p, 2023.

BAJGUZ, A.: Suppression of *Chlorella vulgaris* growth by cadmium, lead and copper stress and its restoration by endogenous brassinolide. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, 60: 406–416p, 2011.

BEHRENS, C. E; SMITH, K. E, IANCU, C. V, CHOE, J. Y, DEAN, J. V.: Transport of Anthocyanins and other Flavonoids by the Arabidopsis ATP-Binding Cassette Transporter AtA-BCC2. **Sci Rep** 9: 437p, 2019.

BURGER, M; CHORY J.: Stressed out about hormones: how plants orchestrate immunity. **Cell Host Microbe**, 26(2):163–72p, 2019.

BENEDICTIS, M; BRUNETTI, C; BRAUER, E. K; ANDREUCCI, A; POPESCU, S. C; COMMISSO, M; GUZZO, F; SOFO, A; CASTIGLIONE, M. R; VATAMANIUK, O. K.: The Arabidopsis thaliana Knockout Mutant for Phytochelatin Synthase1 (*cad1-3*) Is Defective in Callose Deposition, Bacterial Pathogen Defense and Auxin Content, But Shows an Increased Stem Lignification. **Frontiers in Plant Science**. 1-14p, 2018.

BENNETT, M; PIYA, S; BAUM, T. J; HEWEZI, T.: miR778 mediates gene expression, histone modification, and DNA methylation during cyst nematode parasitism. **PLANT PHYSIOLOGY**, 2432–2453p, 2022.

BALDONI, A. B; BOTINB, A. A; TARDINC, F. D; MARQUESB, J. A. B; OLIVEIRA, F. L; SILVAB, A. J. R; SILVAB, E. S; AWABDI, C. P; FILHO, D. E. P; NEVESE, L. G; Pantaleão, A. A. P; Teodoro, L. P. R; Teodorof, P. E.: Early selection strategies in *schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (huber ex ducke) barneby. **Industrial Crops & Products**, 1-6p, 2020.

BILAL, S; SAAD JAN, S; SHAHID, M; ASAF, S; KHAN, A. L; LUBNA; AL-RAWAHI, A; LEE, I. J; AL-HARRASI, A.: Novel Insights into Exogenous Phytohormones: Central Regulators in the Modulation of Physiological, Biochemical, and Molecular Responses in Rice under Metal (loid) Stress. **Metabolites**. 1-28p, 2023.

BALALI-MOOD, M; NASERI, K; TAHERGORABI, Z; KHAZDAIR, M. R; SADEGHI, M.: Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. **Front. Pharmacol.** 1-19p, 2021.

BUCKER, N. L.; PAIVA, A. L. S; MACHADO, R. D; ARENHART, R. A; MARGIS, P. M.: Interactions between plant hormones and heavy metals responses. **Genet. Mol. Bio.** 40, 373–386, 2017.

CARVALHO, M; MACHADO, R. C. R; AHNERT, D; SODRÉ, G. A; SACRAMENTO, C. K.: AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO MINERAL EM COMPONENTES FOLIARES DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Agrotrópica** 25 (1): 53 - 60. 2013.

CARNEIRO, C. E. A; MOLINARI, H. B. C; ANDRADE, G. A; PEREIRA, L. F. P; VIEIRA, L. G. E.: Produção de prolina e suscetibilidade ao glufosinato de amônio em plantas transgênicas de citrumelo Swingle. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.5, p.747-753, 2006.

CAZALE, A. C; CLEMENS, S.: *Arabidopsis thaliana* expresses a second functional phytochelatase. **FEBS Letters**, 215-219p, 2001.

CAO, F; LIU, L; IBRAHIM, W; CAI, Y; WU, F.: Alleviating Effects of Exogenous Glutathione, Glycinebetaine, Brassinosteroids and Salicylic Acid on Cadmium Toxicity in Rice Seedlings (*Oryza Sativa*). **Agrotechnol**, 1-6p, 2013.

CHAKRABORTY, P; BISWAS, A; DEY, S; BHATTACHARJEE, T; CHAKRABARTY, S.: Cytochrome P450 Gene Families: Role in Plant Secondary Metabolites Production and Plant Defense. **J. Xenobiot**, 402–423p. 2023.

CHAUDHURI, A; KOUSHIK HALDER; K; ABDIN, M. Z; MAJEE, M; DATTA, A.: Abiotic Stress Tolerance in Plants: Brassinosteroids Navigate Competently. **Int. J. Mol. Sci.**, 1-16p, 2022.

COUTO, D.: Regulation of pattern recognition receptor signalling in plants. **Nat. Rev. Immunol.** 16: 537–552p, 2016.

CORDEIRO, I. M; SCHWARTZ, G; BARROS, P. L.: Efeitos do clima sobre o incremento diamétrico de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* – Fabaceae) em plantios comerciais. **Nativa, Sinop**, v. 8, n. 2, p. 246-252, 2020.

CORDEIRO, I. M. C. C; BARROS, P. L. C; LAMEIRA, O. A.: FILHO, A. B. G.: AVALIAÇÃO DE PLANTIOS DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby DE DIFERENTES IDADES E SISTEMAS DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE AURORA DO PARÁ - PA (BRASIL). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 679-687, 2015.

- CERQUEIRA, J. V. A; ANDRADE, M. T; RAFAEL, D. D; ZHU, F; MARTINS, S. V. C; NESI, A. N; BENEDITO, V; FERNIE, A. R; ZSOGON, A.: Anthocyanins and reactive oxygen species: a team of rivals regulating plant development?. **Plant Molecular Biology**, 213–223p, 2023.
- CHEN, H; SHU, F; YANG, S; LI, Y; WANG, S.: Competitive Inhibitory Effect of Calcium Polypeptides on Cd Enrichment of *Brassica campestris* L. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 1-18p. 2019.
- CHEN, X; CHEN, X; TAN, Q; HE, Y; WANG, Z; ZHOU, G; LIU, J.: Selection of potential reference genes for RT-qPCR in the plant pathogenic fungus *Colletotrichum fructicola*. **Front. Microbiol.** 1-9p, 2022.
- CUNHA, M. C. L; LIMA, T. L; FERREIRA, T. C; SANTOS, Y. M.: Seed, seedling, tirodendro morphology and germination of *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Fabaceae, Mimosoideae). **Special Article on Seed**, 1-9p, 2020.
- ÇIKILI, Y; SAMET, H; DURSUN, S.: Cadmium Toxicity and its Effects on Growth and Metal Nutrient Ion Accumulation in Solanaceae Plants. **Journal of Agricultural Sciences**. 576-587p, 2016.
- CONSIDINE, M, J; FOYER, C. H.: Redox regulation of plant development. **Antioxid. Redox Signal.** 21: 1305–1326p, 2014.
- CAESAR, K.; ELGASS. K; CHEN, Z.H; HUPPENBERGER P; WITTHOFT, J; SCHLEIFENBAUM, F.: A fast brassinolide-regulated response pathway in the plasma membrane of *Arabidopsis thaliana*. **Plant J.** 66: 528–540p, 2011.
- CORSO, M; SCHVARTZMAN, M. S; GUZZO, F; SOUARD, F; MALKOWSKI, E; HANIKENNE, M; VERBRUGGEN, N.: Contrasting cadmium resistance strategies in two metallicolous populations of *Arabidopsis halleri*. **N. Phytol** 283–297p, 2018.
- DAR, F. A; MUSHTAQ, N. U; SALEEM, S; REHMAN, R. U; DAR, T. U. H; HAKEEM, K. R.: Role of Epigenetics in Modulating Phenotypic Plasticity Against Abiotic Stresses in Plants. **International Journal of Genomics**, 1-13p, 2022.
- DAD, K; NAWAZ, M; IBRAHIM, M; ZHAO, F; HASSAN, R; NAWAZ, H; SALEEM, M. U; JAVED, K; KOMAL, A; NAZ, H.: A Review on the Adverse Impacts of Cadmium on Ecosystem and its Refinement Strategies. **Pakistan Journal of Agricultural Research**. Volume 34, 799-812p, 2021.
- DURÁN, R. L; MACHO, A. P; BOUTROT, F; SEGONZAC, C; SOMSSICH, I. E; ZIPFEL, C.: The transcriptional regulator BZR1 mediates trade-off between plant innate immunity and growth. **Plant biology**, 1-15p, 2013.
- DÍAZ, S; AGUILERA, A; FIGUERAS, C. G; FRANCISCO, P; OLSSON, S; SÁNCHEZ, F. P; PASTOR, E. G; HETEROLOGOUS EXPRESSION OF THE PHYTOCHELATIN SYNTHASE CAPCS2 FROM *CHLAMYDOMONAS ACIDOPHILA* AND ITS EFFECT ON DIFFERENT STRESS FACTORS IN *ESCHERICHIA COLI*. **Int. J. Environ. Res. Public Heal**, 1-21p, 2022.

DRABEK, M. C; PIEKUT, A; GUT, K; GRABOWSK, M.: Risk of cadmium, lead and zinc exposure from consumption of vegetables produced in areas with mining and smelting past. **Scientific Reports**, 1-9p, 2020.

DIMAURO, I; PARONETTO, M. P; CAPOROSS, D.: Exercise, redox homeostasis and the epigenetic landscape. **Redox Biology**, 1-17p, 2020.

DANGL, J. L; JONES, J. D. G.: A pentangular plant inflammasome. **Science** 364: 31–32p. 2019.

DONG, Q; HU, S; FEI, L; LIU, L; WANG, Z.: Interaction between Cd and Zn on Metal Accumulation, Translocation and Mineral Nutrition in Tall Fescue (*Festuca arundinacea*). **Int. J. Mol. Sci.** 1-13p, 2019.

DUTTA, S; MITRA, M; AGARWAL, P; MAHAPATRA, K; DE, S; UPASANA SETT, U; ROY, S.: Oxidative and genotoxic damages in plants in response to heavy metal stress and maintenance of genome stability. **PLANT SIGNALING & BEHAVIOR**, VOL. 13, 1-17p, 2018.

DUTRA, F. V; CARDOSO, A. D; SILVA, R. M; LIMA, R. S; MORAIS, O. M; RAMPAZZO, M. C.: Morfobiometria de frutos e sementes de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia-PB, v. 38, n. 2. 58-64p, 2017.

ERAS, I. C; GRIFFITH, D. M; KALINHOFF, C; RAMÍREZ, J; GÁZQUEZ, M. J.: Native Hyperaccumulator Plants with Differential Phytoremediation Potential in an Artisanal Gold Mine of the Ecuadorian Amazon. **Plants**, 1-14p, 2022.

ESKANDARI, M; ESKANDARI, A.: Effects of 28-homobrassinolide on growth, photosynthesis and essential oil content of *Satureja khuzestanica*. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**. Vol. 5(3), 36-41p, 2013.

EL-KAFAFI, S. H; EL-DEMERDASH, F. M; TAHA, A. A.: Toxic Effect of Cadmium Stress on Rooting, Physiological and Biochemical Perturbations in Cowpea Seedling. **Middle East Journal of Agriculture Research**, Vol 06, 646-661p. 2017.

ENARU, B; DRETCANU, G; POP, T. D; STANILĂ, A; DIACONEASA, Z.: Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. **Antioxidants**, 1-24p, 2021.

ELLER, F; BRIXH.: Influence of low calcium availability on cadmium uptake and translocation in a fast-growing shrub and a metalaccumulating herb. **AoB PLANTS**. 1-9p. 2015.

EMAMVERDIAN, A; DING, Y; BARKER, J; LIU, G; HASANUZZAMAN, M; LI, Y; RAMAKRISHNAN, M; MOKHBERDORAN, F.: Co-Application of 24-Epibrassinolide and Titanium Oxide Nanoparticles Promotes *Pleuroblastus pygmaeus* Plant Tolerance to Cu and Cd Toxicity by Increasing Antioxidant Activity and Photosynthetic Capacity and Reducing Heavy Metal Accumulation and Translocation. **Antioxidants**, 1-26p, 2022.

EMAMVERDIAN, A; DING, Y; XIE, Y.: The Role of New Members of Phytohormones in Plant Amelioration under Abiotic Stress with an Emphasis on Heavy Metals. **Pol. J. Environ. Stud.** Vol. 29, No. 2, 1009-1020p, 2020.

EREMINA, M; UNTERHOLZNER, S. J; RATHNAYAKE, AI; CASTELLANOS, M.; KHAN, M.; KUGLER, K.G.; MAIO, ST; MAYERC, KFX; ROZHONA, W.; POPPENBERGER, B. Brassinosteroids participam no controle da tolerância basal e adquirida ao congelamento das plantas. **Processo. Nacional. Acad.** 1-10p, 2016.

EUDES, A; POLLET, B; SIBOUT, R; DO, C. T, SEGUIN, A; LAPIERRE, C; JOUANIN, L.: Evidence for a role of AtCAD 1 in lignification of elongating stems of Arabidopsisthaliana. **Planta.** 225(1):23–39p, 2006.

FILIZ, E; SARACOGLU, I A; OZYIGIT, I. I; YALCIN, B.: Comparative analyses of phytochelatin synthase (PCS) genes in higher plants. **BIOTECHNOLOGY & BIOTECHNOLOGICAL EQUIPMENT**, VOL. 33, NO. 1, 178–194p, 2019.

FERNANDES, L. H; MAINIER, F. B.: OS RISCOS DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO CÁDMIO. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Volume 9, Número 2, 194-199p, 2014.

FUJIYAMA, K; HINO, T; NAGANO, S.: Diverse reactions catalyzed by cytochrome P450 and biosynthesis of steroid hormone. **Biophysics and Physicobiology**, Vol. 19, 1-16p. 2022

FANG, P; WANG, Y; WANG, M; WANG, F; CHI, C; ZHOU, Y; ZHOU, J; SHI, K; XIA, X; FOYE. C. H; YU, J.: Crosstalk between Brassinosteroid and Redox Signaling Contributes to the Activation of CBF Expression during Cold Responses in Tomato. **Antioxidants**, 1-20p, 2021.

FARIDUDDIN Q, YUSUF M, AHMAD I, AHMAD, A.: Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses. **Biol Plant.** 58(1): 9-17p. 2014.

GROSZYK, J; HEBDA, M. S.: Effects of 24-Epibrassinolide, Bixinin, and Brassinazole on Barley Growth under Salinity Stress Are Genotype and Dose-Dependent. **Agronomy**, 1-18p, 2021.

GENCHI, G; SINICROPI, M. S; LAURIA, G; CAROCCI, A; CATALANO, A.: The Effects of Cadmium Toxicity. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 1-24p, 2020.

GRUSZKA, D.: Crosstalk of the Brassinosteroid Signalosome with Phytohormonal and Stress Signaling Components Maintains a Balance between the Processes of Growth and Stress Tolerance. **Int. J. Mol. Sci.** 1-47p, 2018.

GONCHARUK, E. A; ZAGOSKINA, N. V.: Heavy Metals, Their Phytotoxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium: Review. **Molecules**, 1-28p, 2023.

GUMULYA, Y; BOXALL, N. J; KHALEQUE, H. N; SANTALA, V; CARLSON, R. P; KAKSONEN, A. H.: In a Quest for Engineering Acidophiles for Biomining Applications: Challenges and Opportunities. **Genes**,1-28p, 2018.

- GILL, S. S; TUTEJA, N.: Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. **Plant Signaling and Behavior** 5, 26–33p, 2010.
- GUO, Z; GAO, Y; YUAN, X; YUAN, M; HUANG, L; WANG, S; LIU, C; DUAN, C.: Effects of Heavy Metals on Stomata in Plants: A Review. **Int. J. Mol. Sci.** 1-16p, 2023.
- GUO, B; LIU, C; LIANG, Y; LI, N; FU, Q.: Salicylic Acid Signals Plant Defence Against Cadmium Toxicity. **Int. J. Mol. Sci.** 1-19p, 2019.
- GU, Q; WANG, C; XIAO, Q; CHEN, Z; HAN, Y.: Melatonin Confers Plant Cadmium Tolerance: An Update. **Int. J. Mol. Sci.** 1-18p, 2021.
- GUTIÉRREZ, E; CHÁVEZ, E; GAMAGE, K. H. H; ARGUELLO, D; GALKADUWA, M. B; HETTIARACHCHI, G. M.: Cadmium fractionation in soils affected by organic matter application: Transfer of cadmium to cacao (*Theobroma cacao* L.) tissues. **Front. Environ. Sci.** 1-13p, 2022.
- GUTSCH, A; KEUNEN, E; GUERRIERO, G; RENAUT, J; CUYPERS, A; HAUSMAN, J. F; SERGEANT, K.: Long-term cadmium exposure influences the abundance of proteins that impact the cell wall structure in *Medicago sativa* stems. **Plant Biology**, 1023–1035p, 2018.
- GAN, Q; LUAN, M; HU, M; LIU, Z; ZHANG, Z.: Functional study of CYP90A1 and ALDH3F1 gene obtained by transcriptome sequencing analysis of *Brassica napus* seedlings treated with brassinolide. **Front. Plant Sci.** 1-17p, 2022.
- GEHRING, N. H; ROIGNANT, J. Y.: Anything but Ordinary – Emerging Splicing Mechanisms in Eukaryotic Gene Regulation. **Trends in Genetics**, Vol. 37, No. 4, 355-372p, 2021.
- HAJJAOUI, H; ABDENNOURI, M; Q; OURZAL, S; TOUNSADI, H; BARKA, N.: Removal of cadmium ions by magnesium phosphate: Kinetics, isotherm, and mechanism studies. **Applied Surface Science Advances.** 1-19p, 2022.
- HAQ, I. U; Ijaz, S; Hashem, A; Avila-Quezada, G. D; Abd-Allah, E. F.: Selection and validation of reference genes for normalizing qRT–PCR gene expression studies in *Colletotrichum gloeosporioides* and interaction with the guava plants. **Front. Plant Sci.** 1-8p, 2023.
- HAFEEZ, M. B; ZAHRA, N; ZAHRA, K; RAZA, A; BATOOL, A; SHAUKAT, K; KHAN, S.: Brassinosteroids: Molecular and physiological responses in plant growth and abiotic stresses. **Plant Stress**, 1-7p, 2021.
- HAIDER, F; LIQUN C; COULTER, J; CHEEMA, S. A; WU, J; ZHANG, R; WENJUN M.: Farooq M. Cadmium toxicity in plants: impacts and remediation strategies. **Ecotoxicol Environ Saf**, 11-18p, 2021.
- HOWDEN, R; COLDSBROUGH, P. B; ANDERSEN, C. R; COBBETT, C. S.: Cadmium-Sensitive, cad7 Mutants of *Arabidopsis thaliana* Are Phytochelatin Deficient. **Plant Physiol**, 1059-1066p, 1995.

HA, S., SMITH, A., HOWDEN, R., DIETRICH, W., BUGG, S., O'CONNELL, M., GOLDSBROUGH, P., & COBBETT, C.: Phytochelatin synthase genes from Arabidopsis and the yeast *Schizosaccharomyces pombe*. **Plant Cell**, 11 (6), 1153-1163p. 1999.

HAN, X; ZHAO, Y; CHEN, Y; XU, J; JIANG, C; WANG, X; ZHUO, R; LU, M. Z; ZHANG, J.: Lignin biosynthesis and accumulation in response to abiotic stresses in woody plants. **Forestry Research**, 1-10p, 2022.

HOLMES, D. R; BREDOW, M; THOR, K; PASCETTA, S. A; SEMENTCHOUKOVA, I; SIEGEL, K. R; ZIPFEL, C; MONAGHAN, J.: A novel allele in the Arabidopsis thaliana MCPF protein CAD1 results in deregulated immune signaling. **bioRxiv preprint**, 1-31p, 2021.

HOU, L; JI, S; ZHANG, Y; WU, X; ZHANG, LI; LIU, P.: The mechanism of silicon on alleviating cadmium toxicity in plants: A review. **Front. Plant Sci.**1-16p. 2023.

HASANUZZAMAN, M; NAHAR, K; ANEE, T. I; FUJITA, M.: Exogenous Silicon Attenuates Cadmium-Induced Oxidative Stress in Brassica napus L. by Modulating AsA-GSH Pathway and Glyoxalase System. **Frontiers in Plant Science**. 1-9p, 2017.

HABERLE, V; STARK, A.: Eukaryotic core promoters and the functional basis of transcription initiation. **Nat Rev Mol Cell Biol**. 1-40p, 2019.

HARSHITHA, R; ARUNRAJ, D. R.: Real-time quantitative PCR: A tool for absolute and relative quantification. **Biochem Mol Biol Educ**. 800–812p, 2021.

HE, G; QIN, L; TIAN, W; MENG, L; HE, T; ZHAO, D.: Heavy Metal Transporters-Associated Proteins in Solanum tuberosum: Genome-Wide Identification, Comprehensive Gene Feature, Evolution and Expression Analysis. **Genes**,1-21p, 2020.

HEWEDY, O, A; MAHMOUD, G. A. E; ELSHAFFEY, N. F; KHAMIS, G; KARKOUR, A. M; LATEIF, K. S. A; AMIN, B. H; CHIAB, N; TAHER, A. M. E; ELSHEERY, N. I.: Plants take action to mitigate salt stress: Ask microbe for help, phytohormones, and genetic approaches. **JOURNAL OF WATER AND LAND DEVELOPMENT**. No. 55 (X–XII):1-16p, 2022.

HINDARTI, D; LARASATI, A. W.: Copper (Cu) and Cadmium (Cd) toxicity on growth, chlorophyll-a and carotenoid content of phytoplankton Nitzschia sp. **Earth and Environmental Science** ,1-9p, 2019.

HUYBRECHTS, M; CUYPERS, A; DECKERS, J; IVEN, V; VANDIONANT, S; JOZEFCAK, M; HENDRIX, S.: Cadmium and Plant Development: An Agony from Seed to Seed. **Int. J. Mol. Sci**. 1-30p, 2019

HUQUE, A. K. M. M; SO, W; NOH, M; YOU, M.K; SHIN, J.S.: Overexpression of Atbbd1, Arabidopsis bifunctional nuclease, confers drought tolerance by enhancing the expression of regulatory genes in aba-mediated drought stress signaling. **Int. J. Mol. Sci**, 22-29, 2021.

GUPTA, R.: Laboratory Experiments Showing the Results of Carotenoid Content in the Seedlings of Cultivar Pusa Chetki of Radish (*Raphanus Sativus* L.) Plant after Applying Heavy Metals. **International Journal of Research Publication and Reviews**, Vol 4, 2977-2980p, 2023.

HU, X; LI, T; XU, W; CHAI, Y.: Distribution of cadmium in subcellular fraction and expression difference of its transport genes among three cultivars of pepper. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 1-14p, 2021.

HUANG, H; ULLAH, F; ZHOU, D. X; YI, M; ZHAO, Y.: Mechanisms of ROS Regulation of Plant Development and Stress Responses. **Front. Plant Sci.** 1-10p, 2019.

IORI, V; PIETRINI, F; BIANCONI, D; MUGHINI, G; MASSACCI, G; ZACCHINI, M.: Analysis of biometric, physiological, and biochemical traits to evaluate the cadmium phytoremediation ability of eucalypt plants under hydroponics. **iForest**, 10: 416-421p, 2017.

JAN, S. ALYEMENI, M. N; WIJAYA, L; ALAM, P; SIDDIQUE, K. H; AHMAD, P.: Interactive effect of 24-epibrassinolide and silicon alleviates cadmium stress via the modulation of antioxidant defense and glyoxalase systems and macronutrient content in *Pisum sativum* L. seedlings. **BMC Plant Biology**. 1-18p, 2018.

JAMLA, M; KHARE, T; JOSHI, S; PATIL, S; PENNA, S; KUMAR, V.: Omics approaches for understanding heavy metal responses and tolerance in plants. **Current Plant Biology**, 1-16p, 2021.

JÚNIOR, S. O. M; ANDRADE, J. R; NASCIMENTO, R; LIMA, R. F; BEZERRA, C. V. C; FERREIRA, V. M.: Brassinosteroid application increases tomato tolerance to salinity by changing the effects of stress on membrane integrity and gas Exchange. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, 1-12p. 2022.

JÚNIOR, W. V. A; NETO, C. F. O; FILHO, B. G. S; CRUZ, E. D; AMARANTE, C. B; BARBOSA, A. V. C; NOGUEIRA, G. A. S; NASCIMENTO, V. R; SOUSA, D. J. P; TEIXEIRA, J. S. S.: Biochemical metabolism of young plants of Ucuúba (*Virola surinamensis*) in the presence of cadmium. **BMC Plant Biology**. 1-8p, 2021.

JIANG, Y. P; ZHOU, Y. H; XIA, X. J; MAO, W. H; SHI, K; CHEN, Z; YU, J. Q.: Cellular glutathione redox homeostasis plays an important role in the brassinosteroid-induced increase in CO₂ assimilation in *Cucumis sativus*. **New Phytologist**, 194: 932–943p, 2012.

JIANG, S; TIAN, X; HUANG, X; XIN, X; XIN, J; YAN, H.: *Physcomitrium patens* CAD1 has distinct roles in growth and resistance to biotic stress. **BMC Plant Biology**, 1-13p, 2023.

JI, T; MA, S; LIANG, M; WANG, X; GAO, L; TIAN, Y.: Reference genes identification for qRT-PCR normalization of gene expression analysis in *Cucumis sativus* under *Meloidogyne incognita* infection and *Pseudomonas* treatment. **Front. Plant Sci.** 1-15p, 2022.

JAILLAIS, Y; HOTHORN, M; BELKHADIR, Y; DABI, T., NIMCHUK, Z. L; MEYEROWITZ, E. M.: Tyrosine phosphorylation controls brassinosteroid receptor activation by triggering membrane release of its kinase inhibitor. **Genes Dev.** 25, 232–237p, 2011.

KARWEL, M. T; BAJGUZ, A; NICZYPORUK, A. P.: 24-Epibrassinolide modulates primary metabolites, antioxidants, and phytochelatins in *Acutodesmus obliquus* exposed to lead stress. **Journal of Applied Phycology**, 32:263–276p, 2020.

KHAN, R; MA, X; HUSSAIN, Q; ASSIM, M; IQBAL, A; REN, X; SHAH, S; CHEN, K; SHI, Y.: Application of 2,4-Epibrassinolide Improves Drought Tolerance in Tobacco through Physiological and Biochemical Mechanisms. **Biology**, 1-21p, 2022.

KHAN, T. A; KAPPACHERY, S; KARUMANNIL, S; ALHOSANI, M; ALMANSOORI, N; ALMANSOORI, H; YUSUF, M; TRAN, L. S. P; GURURANI, M. A.: Brassinosteroid Signaling Pathways: Insights into Plant Responses under Abiotic Stress. **Int. J. Mol. Sci.** 1-17p, 2023.

KAGALE, S.; DIVI, R. U; KROCHKO, JE; KELLER, WA; KRISHNA, P.: Brassinosteroid confers tolerance in Arabidopsis thaliana and Brassica napus to a range of abiotic stresses. **Planta**, 353–364p, 2007.

KOCH, K.: Carbohydrate-modulated gene expression in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 509-540p, 1996.

KONO, A; YIN, Y; Updates on BES1/BZR1 Regulatory Networks Coordinating Plant Growth and Stress Responses. **Front. Plant Sci.** 1-7p. 2020.

KIM, T. W; HWANG, J. Y; KIM, Y. S; JOO, S. H; CHANG, S. C; LEE, J. S; TAKATSUTO, S; KIM, S. K.: Arabidopsis CYP85A2, a Cytochrome P450, Mediates the Baeyer-Villiger Oxidation of Castasterone to Brassinolide in Brassinosteroid Biosynthesis. **The Plant Cell**, Vol. 17, 2397–2412p, 2005.

KIM, S.Y; KIM, B.H; LIM, C.J; LIM, C.O; NAM, K.H.: Constitutive activation of stress inducible genes in a brassinosteroid-insensitive 1 (bri1) mutant results in higher tolerance to cold. **Physiol. Plantarum**, 191–204p, 2010.

KIM, T. W, WANG, Z.Y.: Brassinosteroid Signal Transduction from Receptor Kinases to Transcription Factors. **Annu Rev Plant Biol.** 681–704p, 2010.

KIM, E. J; LEE, S; H; PARK, C. H; KIM, H. S; HSU, C. C; XU, S; WANG, Z. Y; KIM, S. K; KIMA, T. W.: Plant U-Box40 Mediates Degradation of the Brassinosteroid-Responsive Transcription Factor BZR1 in Arabidopsis Roots. **The Plant Cell**, Vol. 31: 791–808p, 2019.

KUMARI, A; HEMANTARANJAN, A.: Mitigating effects of 24-epibrassinolide on heat stress damage by shifting biochemical and antioxidant defense mechanisms in wheat (*Triticum aestivum* L.) at pre-flowering stage and post-flowering stage. **J. Pharmacogn. Phytochem.**, 8, 1157–1161p, 2019.

KILIC, S; KARABOYACI, M; SENCAN, A; KILIC, M.: ECOTOXICOLOGICAL RESPONSES OF MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF CADMIUM-STRESSED MAIZE SEEDS. **J. Bot.** 46(1): 211-216p, 2017.

KOZHEVNIKOVA, A. D; SEREGIN, I. V; AARTS, M. G. M; SCHAT, H.: Intra-specific variation in zinc, cadmium and nickel hypertolerance and hyperaccumulation capacities in *Nocca caerulea*. **Plant Soil**, 479–498p, 2020.

KOTHARI, A; LACHOWIEC, J.: Roles of Brassinosteroids in Mitigating Heat Stress Damage in Cereal Crops. **Int. J. Mol. Sci.** 1-22p, 2021.

KUBIER, A; WILKIN, R. T; PICHLER, T; CADMIUM IN SOILS AND GROUNDWATER: A REVIEW. **EPA Public Access**. 1-42p, 2019.

KUMAR, M; PRUSTY, M. R; PANDEY, M. K; SINGH, P. K; BOHRA, A; GUO, B; VARS-HNEY, R. K.: Application of CRISPR/Cas9-mediated gene editing for abiotic stress management in crop plants. **Front. Plant Sci.** 1-22p, 2023.

KOBYLETSKA, M; KAVULYCH, Y; ROMANYUK, N; TEREK, O.: Exogenous Salicylic Acid Modifies Cell Wall Lignification, Total Phenolic Content, PAL-Activity in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Plants under Cadmium Chloride Impact. **Biointerface Research in Applied Chemistry** Volume 13, 1-13p, 2020.

KOUR, J; KOHLI, S. K; KHANNA, K; BAKSHI, P; SHARMA, P; SINGH, A. D; IBRAHIM, M; DEVI, K; SHARMA, N; OHRI, P; SKALICKY, M; BRESTIC, M; BHARDWAJ, R; KWON, M; FUJIOKA, S; JEON, J. H; KIM, H. B; TAKATSUTO, S; Yoshida, S.: A double mutant for the CYP85A1 and CYP85A2 genes of *Arabidopsis* exhibits a brassinosteroid dwarf phenotype. **J Plant Biol**, 48: 237–44p 2005.

KHORKOVA, O; STAHL, J; JOJI, A; VOLMA, C. H; WAHLESTEDT, C.: Amplifying gene expression. with RNA-targeted therapeutics. **nature reviews drug discovery**, Vol.22, 539–561p. 2023.

LANDI, M; SHARMA, A.: Brassinosteroid Signaling, Crosstalk and, Physiological Functions in Plants Under Heavy Metal Stress. **Front. Plant Sci.** Vol (12): 1-19p, 2021.

LUO, Y., LI, B. Z., LIU, D., ZHANG, L., CHEN, Y., JIA, B.: Engineered biosynthesis of natural products in heterologous hosts. **Chem. Soc. Rev.** 44, 5265–5290p, 2015.

LIU, J; CHAKRABORTY, S; HOSSEINZADEH, P; YU, Y; TIAN, S; PETRIK, I; BHAGI, A; LU, Y.: Metalloproteins Containing Cytochrome, Iron–Sulfur, or Copper Redox Centers. **Chem. Rev.** 4366–4469p, 2014.

LIU, B; YU, H; YANG, Q; DING, L; QU, J; FENG, W; YANG, Q; LI, W; FU, F.: Zinc Transporter ZmLAZ1-4 Modulates Zinc Homeostasis on Plasma and Vacuolar Membrane in Maize. **Front. Plant Sci.** 1-12p, 2022.

LEE, S; KANG, B. S.: Expression of *Arabidopsis* Phytochelatin Synthase 2 Is Too Low to Complement an *AtPCS1*-defective *Cad1-3* Mutant. **Mol. Cells**, Vol. 19, No. 1, 81-87p, 2004.

LIN, L. Q; CONG, L; YUN, W. H; YANG, J; MING, H; WAN, Z. B; KAI, C; LEI, H.: Association of soil cadmium contamination with ceramic industry: a case study in a Chinese town. **Sci. Total Environ** 514, 26– 32p, 2015.

LIVRAMENTO, K. G; FREITAS, N. C; TRINDADE, L. O. R; TEIXEIRA, L. G. S; PAIVA, L. V; BORDALLO, P. N; DINIZ, L. E. C.: Gene expression analysis associated with tissue-specific promoters in *Musa* spp. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, 1-9p, 2022.

- LI, X. J; CHEN, X.J; GUO X; YIN L.L; AHAMMED, G.J; XU C. J.: DWARF overexpression induces alteration in phytohormone homeostasis, development, archi-tecture and carotenoid accumulation in tomato. **Plant Biotechnol. J.** 14: 1021–1033p, 2016.
- LI, L; XU, J; XU, Z. H, XUE; H. W.: Brassinosteroids stimulate plant tropisms through modulation of polar auxin transport in Brassica and Arabidopsis. **Plant Cell**, 2738–275p, 2005.
- LE, N. Q. K; YAPP, E. K. Y; NAGASUNDARAM, N; YEH, H. Y.: Classifying Promoters by Interpreting the Hidden Information of DNA Sequences via Deep Learning and Combination of Continuous FastText N-Grams. **Front. Bioeng. Biotechnol.** 1-9p, 2019.
- LI, D; ZHOU, C; MAI, J; WU, Y; KANG, L; AN, Q; ZHANG, J; DENG, K; QI, J. L; PAN, C.: Nanoselenium transformation and inhibition of cadmium accumulation by regulating the lignin biosynthetic pathway and plant hormone signal transduction in pepper plants. **J. Nanobiotechnol**, 1-14p, 2021.
- LI, M; BARBARO, E; BELLINI, E; SABA, A; TOPPI, L. S. VAROTTO, C.: Ancestral function of the phytochelatin synthase C-terminal domain in inhibition of heavy metal-mediated enzyme overactivation. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 71, No. 20 pp. 6655–6669, 2020.
- LI, Y; WEI, K.: Comparative functional genomics analysis of cytochrome P450 gene superfamily in wheat and maize. **BMC Plant Biology**, 1-22p, 2020.
- LI, M; LI, P; WANG, C; XU, H; WANG, M; WANG, Y; NIU, X; XU, M; HONG WANG, H; QIN, Y; TANG, W; BAI, M; WANG, W; WU, S.: Brassinosteroid signaling restricts root lignification by antagonizing SHORT-ROOT function in Arabidopsis. **PLANT PHYSIOLOGY** 1182–1198p, 2022.
- LI, Y; HUA, J; HOU, X; QI, N; LI, C; WANG, C; YAO, Y; HUANG, D; ZHANG, H; LIAO, W.: Brassinosteroids is involved in methane-induced adventitious root formation via inducing cell wall relaxation in marigold. **BMC Plant Biology**, 1-15p, 2023.
- LI, J; ZHANG, Z; SHI, G.: Genome-Wide Identification and Expression Profiling of Heavy Metal ATPase (HMA) Genes in Peanut: Potential Roles in Heavy Metal Transport. **Int. J. Mol. Sci.** 1-17p, 2024.
- LUO, J. S; HUANG, J; ZENG, D. L; PENG, J. S; ZHANG, G. B; MA, H. L; GUAN, Y; YI, H. Y; FU, Y. L; HAN, B; LIN, H. X; QIAN, Q; GONG, J. M.: A defensin-like protein drives cadmium efflux and allocation in rice. **NATURE COMMUNICATIONS**. 1-9p, 2018.
- LUO, J. S; ZHANG, Z.: Mechanisms of cadmium phytoremediation and detoxification in plants. **The Crop Journal**, 521–529p, 2021.
- MATTEI, A. L; BAILLY, N; MEISSNER, A.: DNA methylation: a historical perspective. **Trends in Genetics**, Vol. 38, No. 7, 676-707p, 2022.
- MURADOGLU, F; GUNDOGDU, M; ERCISLI, S; ENCU, T; BALTA, F; JAAFAR, H. Z; HAQ, M. Z. U.: Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme

activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. **BIOLOGICAL RESEARCH**. 1-7P, 2015.

MINERDI, D; SAVOI, S; SABBATINI, P.: Role of Cytochrome P450 Enzyme in Plant Microorganisms' Communication: A Focus on Grapevine. **Int. J. Mol. Sci.** 1-13p, 2023

MISHRA, S; SRIVASTAVA, S; TRIPATHIA, R.D; GOVINDARAJAN, R; KURIAKOSE, S.V; PRASAD, M.N.V.: Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, 44, 25–37p, 2006.

MAK, P. J; LUTHRA, A; SLIGAR, S. G.; KINCAID, J. R.: Resonance Raman spectroscopy of the oxygenated intermediates of human CYP19A1 implicates a compound I intermediate in the final lyase step. **J. Am. Chem. Soc.** 136, 4825– 4828p, 2014.

MAHALAKSHM, M; MARISAMY, K; RAMASUBRAMANIAN, V.: Cadmium Toxicity Induced Changes on Morphological, Photosynthetic, Biochemical and Antioxidative Enzymes Level in *Vigna mungo* (L.) Hepper. **Environment and Ecology Research** 5(6): 422-426p, 2017.

MAHAJAN, P; KAUSHAL, J.: Role of Phytoremediation in Reducing Cadmium Toxicity in Soil and Water. **Journal of Toxicology**, Volume, 1-16p, 2018

MORAVČÍKOVA, D; ZIAROVSKÁ, J.: The Effect of Cadmium on Plants in Terms of the Response of Gene Expression Level and Activity. **Plants**, 1-19p, 2023.

MOORE, L. D; FAN, G.: DNA Methylation and Its Basic Function. **REVIEWS**, Vol 38, 23–38p, 2013.

MARTINEZ, C; ESPINOSA, R. A; LUCAS, M; BERNARDO, G. S, FRANCO Z. J. M, PRAT S.: PIF4-induced BR synthesis is critical to diurnal and thermomorphogenic growth. **EMBO J** 37-41p, 2018.

MANGHWAR, H; HUSSAIN, A; ALI, Q; LIU, F.: Brassinosteroids (BRs) Role in Plant Development and Coping with Different Stresses. **Int. J. Mol. Sci.** 1-15p, 2022.

MANRÍQUEZ, M. J; MORAES, P. D.: Influence of the temperature on the compression strength parallel to grain of paricá. **Construction and Building Materials**, 24: 99–104, 2010.

MOHAMMAD, M; TAVAKOLI, A; POURYOUSEF, M. FARD, E. M.: Study the effect of 24-epibrassinolide application on the Cu/ZnSOD expression and tolerance to drought stress in common bean. **Physiol Mol Biol Plants**, 26(3):459–474 ,2020.

MAO, G; SEEBECK, T; SCHRENKER, D; YU, O.: CYP709B3, a cytochrome P450 monooxygenase gene involved in salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **BMC Plant Biology**. 1-13p. 2013.

MIKHAILENKO, A. V; RUBAN, D. A; ERMOLAEV, V. A; LOON, A. J. V.: Cadmium Pollution in the Tourism Environment: A Literature Review. **Geosciences**, 1-19p, 2020.

- MOORE, B. M; LEE, Y. S; WANG, P; AZOD, C; GROTEWOLD, E; SHIU, S. H.: Modeling temporal and hormonal regulation of plant transcriptional response to wounding. **THE PLANT CELL**, 34: 867–888p, 2021.
- MOON, J; PARK, Y. J; SON, S. H; ROH, J; YOUN, J. H; KIM, S. Y; KIM, S. K.: Brassinosteroids signaling via BZR1 down-regulates expression of ACC oxidase 4 to control growth of *Arabidopsis thaliana* seedlings. **Plant Signal Behav.** 15: 17-24p 2020.
- MOURA, S. S. S; SILVA, R. S; ALVES, E. U; GONÇALVES, E. P; ARAÚJO, L. D. A; ALVES, M. M; ARAUJO, P. C.: Morphology of seeds, seedlings, and young plants of *Dimorphandra gardneriana* Tul. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 1063-1078p, 2019.
- MAIA, C. F; SILVA, B. R. S; BATISTA, B. L; BAJGUZ, A; LOBATO, A. K. S.: 24-Epibrassinolide Simultaneously Stimulates Photosynthetic Machinery and Biomass Accumulation in Tomato Plants under Lead Stress: Essential Contributions Connected to the Antioxidant System and Anatomical Structures. **Agronomy**, 1-19p, 2022.
- MITISIS, T; EFTHIMIADOU, A; BACOPOULOU, F; VLACHAKIS, D; CHROUSOS, G. P; ELIOPOULOS, E.: Transcription factors and evolution: An integral part of gene expression (Review). **WORLD ACADEMY OF SCIENCES JOURNAL** 2: 3-8p, 2020.
- MENDOZA, D. G; GIL, F. E; SANTAMARI, J. M; PEREZ, O. Z.: Multiple Effects of Cadmium on the Photosynthetic Apparatus of *Avicennia germinans* L. as Probed by OJIP Chlorophyll Fluorescence Measurements. **Z. Naturforsch.** 62, 265-272p, 2007.
- MUSSIG, C; SABINE FISCHER, S; ALTMANN, T.: Brassinosteroid-Regulated Gene Expression. **Plant Physiology**, Vol. 129, 1241–1251p, 2002.
- MUBEEN, S; NI, W; HE, C; YANG, Z.: Agricultural Strategies to Reduce Cadmium Accumulation in Crops for Food Safety. **Agriculture**. 1-31p, 2023.
- MULYANINGSIH, R. D; PRATIWI, R; HASANAH, A. N.: An Update on the Use of Natural Pigments and Pigment Nanoparticle Adducts for Metal Detection Based on Colour Response. **Biosensors**, 1-21p, 2023.
- MUNEER, S; KIM, T. H; QURESHI, M. I.: Fe modulates Cd-induced oxidative stress and the expression of stress responsive proteins in the nodules of *Vigna radiata*. **Plant Growth Regul** 68:421–433p, 2012.
- NAPIER, J. D; HECKMAN, R. W; JUENGER, T. E.: Gene-by-environment interactions in plants: Molecular mechanisms, environmental drivers, and adaptive plasticity. **THE PLANT CELL**, 109–124P, 2022.
- NAM, K. H; LI, J.: BRI1/BAK1, a receptor kinase pair mediating brassinosteroid signaling. **Cell** 110, 203–212p, 2002.
- NOSAK, S; TERADA, T; NAKAMURA, A; HIRABAYASHI, K; XU, Y; BUI, T. B. C; NAKANO, T; TANOKURA, M; MIYAKAWA, T.: Highlighting the potential utility of MBP crystallization chaperone for *Arabidopsis* BIL1/BZR1 transcription factor-DNA complex. **Scientific Reports**, 1-9p, 2021.

NOGUEIRA, G. A. S; BRITO, A. E. A; NASCIMENTO, V. R; ALBUQUERQUE, G. D. P; BOTELHO, S. A; SOUZA, L. C; FREITAS, J. M. N; AMARANTE, C. B; OKUMURA, R. S; CONCEIÇÃO, H. E. O; VIANA, R. G; NETO, C. F. O.: Physiological and Growth Responses in the (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) Seedlings Subjected to Cadmium Doses. **Journal of Agricultural Science**; Vol. 11, No. 8, 217-224p, 2019.

NOGUEIRA, G. A. S; BRITO, A. E. A; RESENDE, V. N; ALBUQUERQUE, G. D. P; AMARANTES, C. B; OLIVEIRA, J. T; SILVA, P. A; NETO, C. F. O.: NITROGEN AND CARBON METABOLISM EVALUATION IN PARICÁ PLANTS SUBJECTED TO DIFFERENT CADMIUM CONCENTRATIONS. **Bioscience Journal**. vol. 38, 1-10p, 2022.

NGUYEN, T. Q; SESIN, V; KISIALA, A. R. J. N: Phytohormonal Roles in Plant Responses to Heavy Metal Stress: Implications for Using Macrophytes in Phytoremediation of Aquatic Ecosystems. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Volume 40, N (1),7–22p, 2021.

NOLAN, T. M; VUKASINOVIC, N; LIU, D. R; RUSSINOVA, E; YIN, Y. H.: Brassinosteroids: multidimensional Regulators of Plant Growth, Development, and Stress Responses. **Plant Cell** 32, 295–318p, 2020.

NOLAN, T. M; VUKAŠINOVIC, N; HSU, C. W; ZHANG, J; VANHOUTTE, I; SHAHAN, R; ISAIAH W. T; GREENSTREET, L; HEITZ, M; WANG, P; SZEKELY, P; BROSNAN, A; YIN, Y; SCHIEBINGER, G; OHLER, U; RUSSINOVA, E; BENFEY, E. P.: Brassinosteroid gene regulatory networks at cellular resolution. *Current Opinion*, **Plant Biology**. 1-30p, 2022.

NOGUCHI, T.: Biosynthetic pathways of brassinolide in *Arabidopsis*. **Plant Physiol.** 124, 201–209p, 2000.

NOUNURAI, P; AFIFAH, A; KITTISENACHAI, S; ROYTRAKUL, S.: Phosphorylation of CAD1, PLDdelta, NDT1, RPM1 Proteins Induce Resistance in Tomatoes Infected by *Ralstonia solanacearum*. **Plants**, 1-16p, 2022.

OLIVEIRA, L. A. B; RESENDE, C. L. P; CINTRA, P. H. N; CARVALHO, D. D. C; RODRIGUES, F.:GROWTH PROMOTION OF *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* SEEDLINGS USING STRAINS OF *Trichoderma* spp. **UNDER PHOSPHORUS RATES. FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 53, n.2, p. 165 – 173p, 2023.

OLIVEIRA, I. C; BREARS, T; KNIGHT, T. J; CLARK, A; CORUZZI, G. M.: Overexpression of cytosolic glutamine synthetase. Relation to nitrogen, light, and photorespiration. **Plant Physiol.** 129, 1170–1180p, 2002.

OZYIGIT, A. H; GENÇ, B. N.: Cadmium in plants, humans and the environment. **Frontiers in Life Sciences and Related Technologies** 1(1) 12-21p, 2020.

OBASI, P. N; AKUDINOBI, B. B.: Potential health risk and levels of heavy metals in water resources of lead–zinc mining communities of Abakaliki, southeast Nigeria. **Applied Water Science**. 1-23p, 2020.

OHNISHI, T; GODZA, B; WATANABE, B; FUJIOKA, S; HATEGAN, L; IDE, K; SHIBATA, K; YOKOTA, SZEKERES, M; MIZUTANI, M.: CYP90A1/CPD, a Brassinosteroid

Biosynthetic Cytochrome P450 of Arabidopsis, Catalyzes C-3 Oxidation. **JOURNAL OF BIOLOGICAL CHEMISTRY**. 31551–31560p, 2012.

OH, M. H; Honey, S. H; Tax, F. E.: The Control of Cell Expansion, Cell Division, and Vascular Development by Brassinosteroids: A Historical Perspective. **Int. J. Mol. Sci.** 1-15p, 2020.

PANDIAN, B. A; SATHISHRAJ, R; DJANAGUIRAMAN, M; PRASAD, P. V. V; JUGULAM, M.: Role of Cytochrome P450 Enzymes in Plant Stress Response. **Antioxidants**. 1-15p, 2020.

PARRA, K. V. S; SERRANO, C. S. C; ULLOA, F. E. F; MERCHÁN, P. J. A; AGUDELO, P. C. S.: Liming applications and the SPAD chlorophyll index and stomatal conductance in cocoa exposed to cadmium in the soil. **REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS** - Vol. 16 - No. 2, 1-9p. 2022.

PRAMANIK, D; SHELAK, R. M; KIM, M. J; KIM, J. Y; CRISPR-Mediated Engineering across the Central Dogma in Plant Biology for Basic Research and Crop Improvement. **Molecular Plant**, 127–150p, 2021.

PONJAVIC, J; LENHARD, B; KAI, C; KAWAI, J; CARNINCI, P; HAYASHIZAKI, Y; SANDELIN, A.: Transcriptional and structural impact of TATA-initiation site spacing in mammalian core promoters. **Genome Biology**, Volume 7, 1-18p, 2006.

PAN, J. L; PLANT, J. A; VOULVOULIS N; OATES, C. J; IHLENFELD, C.: Cadmium levels in Europe: implications for human health. **Environ Geochem Hlth** 32, 1–12p, 2010.

PALLIOTTI, A; TOMBESI, S; FRIONI T.: Physiological parameters and protective energy dissipation mechanisms expressed in the leaves of two *Vitis vinifera* L. genotypes under multiple summer stresses. **J. Plant Physiol.** 84-92p, 2015.

PADUA, M. M. C; PADUA, S. M. S. C; PETKOWICZ, C. L. O; MARTINEZ, G. R; NOLETO, G. R.: Galactomannan from *Schizolobium amazonicum* seed and its sulfated derivatives 2 impair metabolism in HepG2 cells. **International Journal of Biological Macromolecules**, 1-43p, 2017.

PARMAR, P; KUMARI, N; SHARMA, V.: Structural and functional alterations in photosynthetic apparatus of plants under cadmium stress. **Botanical Studies**, 1-6p, 2013.

PAIVA, R. C; MACHADO, L. C; SOUSA, J. C. M; MORAES, V. C; CONCEIÇÃO, S. S; NOGUEIRA, G. A. S; OLIVEIRA, J. T; OKUMURA, R. S; SILVA, P. A; NETO, C. F. O: Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano. **EUROPEAN ACADEMIC RESEARCH**, Vol. IX, 1-16p. 2021.

PERMANA, R; AKBARSYAH, N.: Phytoplankton Susceptibility Towards Toxic Heavy Metal Cadmium: Mechanism and Its Recent Updates. **World News of Natural Sciences** 38, 83-97p, 2021.

QIAO, J; ZHANG, Y; HAN, S; CHANG, S; GAO, Z; QI, Y; QIAN, Q.: OsARF4 regulates leaf inclination via auxin and brassinosteroid pathways in rice. **Front. Plant Sci.** 1-16p, 2022.

QIAN, L; DAWAR, K; ULLAH, I; IRFAN, M; ZHANG, Z; MIAN, I. A; KHAN, B; GUL, N; FAHAD, S; JALAL, A; DANISH, S; IQBAL, R. K; ALARFA, A. A.: Zinc Foliar Application Mitigates Cadmium-Induced Growth Inhibition and Enhances Wheat Growth, Chlorophyll Contents, and Yield. **ACS Omega**, Vol8, 32372–32381p, 2023.

RAZA, A; SALEHI, H; RAHMAN, A. M; ZAHID, Z; HAGHJOU, M. M; KAKAVAND, S. N; CHARAGH, S; OSMAN, H. S; ALBAQAMI, M; ALBAQAMI, M; ZHUANG, Y; SIDDIQUE, K. H. M; ZHUANG, W.: Brassinosteroid phytohormones - structure, bioactivity and applications. **Braz. J. Plant Physiol.**, 14(3):143-181, 2022.

ROCHA, N. S; MAHLER, C. F.: Analysis of sorption/desorption of cadmium and lead in the legal amazon soils. **An International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 1-6p, 2024.

RAZA, A; HABIB, M; KAKAVAND, S. N; ZAHID, Z; ZAHRA, N; SHARIF, R; HANUZSAMAN, M.: Phytoremediation of Cadmium: Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms. **Biology**, 1-46p, 2020.

RAHMANI, R. S; SHI, T; ZHANG, D; GOU, X; YI, J; MICLOTTE, G; MARCHAL, K; LI, J.: Genome-wide expression and network analyses of mutants in key brassinosteroid signaling genes. **BMC Genomics**. 1-17p, 2021.

RAJEWSKA, I; TALAREK, M; BAJGUZ, A.: Brassinosteroids and Response of Plants to Heavy Metals Action. **Front. Plant Sci.** 1-5p, 2016.

RODRIGUES, P. M. M; CONEGLIAN, A; SILVA, M. F; MORAES, M. D. A; JUNIOR, C. R. S.: Characterization of *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake and *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake juvenile wood in Brazilian Savanna soil. **Revista de Ciências Agrárias**, 41(2): 539-547p, 2018.

REN, Y; LI, X; LIANG, J; WANG, S; WANG, Z; CHEN, H; TANG, M.: Brassinosteroids and gibberellic acid actively regulate the zinc detoxification mechanism of *Medicago sativa* L. Seedlings. **BMC Plant Biology**, 1-13p, 2023.

REN, Y., TIAN, X., LI, S., MEI, E., HE, M., TANG, J.: *Oryza sativa* mediator subunit OsMED25 interacts with OsBZR1 to regulate brassinosteroid signaling and plant architecture in rice. **J. Integr. Plant Biol.** 62, 793–811p, 2020.

REEVES, R. D; BAKER, A.J; JAFFRÉ, T; ERSKINE, P.D; ECHEVARRIA, G; VAN, D. E. A.: A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. **New Phytol.** 407–411p, 2018.

REMACHO, A. R; SANCHEZ-MARTINS, R. M; DIAZ-MOCHON, J. J.: Spatial Transcriptomics: Emerging Technologies in Tissue Gene Expression Profiling. **Anal. Chem.** 15450–15460p, 2023.

RAZA, S. H; SHAFIQ, F; TAHIR, M.: Screening of Cadmium Tolerance in Sugarcane Using Antioxidative Enzymes as a Selection Criteria. **Pak. j. life soc. Sci.**,11(1): 8-13p, 2013.

RITTI, V; DODDAGOUDAR, R. VASUDEVAN, B; KENGANAL, M.: Influence of foliar spray of boron and plant growth regulators on hybrid seed yield and quality of bottle gourd. **Farm J. Sci.**, Vol(3):274-278p. 2019.

RAI, G. K; KUMAR, P; CHOUDHARY, S. M; SINGH, H; ADAB, K; KOSSER, R; MAGOTRA, I; KUMAR; R. R; SINGH, M; SHARMA, R; CORRADO, G; ROUPHAEL, Y.: Antioxidant Potential of Glutathione and Crosstalk with Phytohormones in Enhancing Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. **Plants**, 1-21P, 2023.

RIVEROLA, A. P; GUPTA, A; PUTZE, I. B; BOSCH, N; IBAÑES, M; DELGADO, C.: Brassinosteroid signaling in plant development and adaptation to stress. **Development**, 1-11p, 2019.

RIZVI, A; ZAIDI, A; AMEEN, F; AHMED, B; ALKAHTANI, M. D. F; KHAN, M. S.: Heavy metal induced stress on wheat: phytotoxicity and microbiological management. **RSC Adv.**, 38379–38403p, 2020.

ROVERE, F. D; PIACENTINI, D; FATTORINI, L; GIRARDI, N; BELLANIMA, D; FALASCA, G; ALTAMURA, M.M; BETTI, C.: Brassinosteroids Mitigate Cadmium Effects in Arabidopsis Root System without Any Cooperation with Nitric Oxide. **Int. J. Mol. Sci.** 1-20p, 2022.

RYDZYŃSKI, D; CIEŚLAK, P; GRAJEK, H; MICHALCZYK, D. J.: Chlorophyll degradation by tetracycline and cadmium in spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. **International Journal of Environmental Science and Technology**. 1-11p, 2018.

RODRIGO, M. A. M; CERNEI, N; KOMINKOVA, M; ZITKA, O; BEKLOVA, M. L; ZEHNALÉK, J; KIZEK, R; ADAM, V.: Ion Exchange Chromatography and Mass Spectrometric Methods for Analysis of Cadmium-Phytochelatin (II) Complexes. **Int. J. Environ. Res. Public Health**. 1304-1311p, 2013.

ROSA, L. S.: ECOLOGIA E SILVICULTURA DO PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. **Rev. Ciênc. Agrar.**, Belém, n. 45, p. 135-174. 2006.

ROSA, L. S.: CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS, ANATÔMICAS E TECNOLÓGICAS DO PARICA (*Schizolobium amazonicum* Huberr ex Ducke). **Rev. cienc. agrar.**, Belém, n. 46, p.63-79, 2006.

ROSA, L. S; VIEIRA, T. A; SANTOS, D. S; SILVA, L. C. B.: EMERGÊNCIA, CRESCIMENTO E PADRÃO DE QUALIDADE DE MUDAS DE *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E PROFUNDIDADES DE SEMEADURA. **Rev. ciênc. agrár.**, Belém, n. 52, p. 87-98, 2009.

RUIZ, A. E; MARTINEZ, C; LUCAS, M; FABREGAS, N; BOSCH, N; DELGADO, A. C; PRAT, S.: TOPLESS mediates brassinosteroid control of shoot boundaries and root meristem development in *Arabidopsis thaliana*. **Development**, 144, 1619-1628p, 2017.

RYU, H; KIM, K; CHO, H; PARK, J; CHOE, S; HWANG, L.: Nucleocytoplasmic Shuttling of BZR1 Mediated by Phosphorylation Is Essential in *Arabidopsis* Brassinosteroid Signaling. **The Plant Cell**, Vol. 19: 2749–2762p, 2007.

SACRAMENTO, B. L.; NETO, A. D. A.; ALVES, A. T. MOURA, S. C.; RIBAS; R. F.: PHOTOSYNTHETIC PARAMETERS AS PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF TOLERANCE TO CADMIUM STRESS IN SUNFLOWER GENOTYPES. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 907 – 916p, 2018.

SLOUTSKIN, A; SHIR-SHAPIRA, H; FREIMAN, R. N; JUVEN-GERSHON, T.: The Core Promoter Is a Regulatory Hub for Developmental Gene Expression. **Front. Cell Dev. Biol.** 1-11p, 2021.

SILVA, J. B; ESPÍNDOLA, J. S; ESPÍNDOLA, T. K. A.: BRASSINOSTEROIDS: CHARACTERIZATION AND INFLUENCE ON PLANT GROWTH AND DEVELOPMENT. **Camp. Dig.**, v.16, 1-16p, 2021.

SILVA, J. M. P; LIMA, R. A. P.: Economia mineral e os impactos nos territórios amazônicos do sudeste paraense. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**. Macapá, n. 9, p. 103-116, 2017.

SANTOS, L. R; BATISTA, B. L; LOBATO, A.K.S; Brassinosteroids mitigate cadmium toxicity in cowpea plants. **PHOTOSYNTHETICA** 56 (2): 591-605p, 2018.

SHAARI, N. E. M; TAJUDINA, M. T. F. M.; KHANDAKERA, M. M; MAJRASHIB, A., ALENAZIC, M. M, ABDULLAHIA, U. A; MOHDA, K. S.: Cadmium toxicity symptoms and uptake mechanism in plants: a review. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 84, 2024.

SACHDEV, S; ANSARI, S.A; ANSARI, M.I; FUJITA, M; HASANUZZAMAN, M.: Abiotic Stress and Reactive Oxygen Species: Generation, Signaling, and Defense Mechanisms. **Antioxidants**, 2-27p, 2021.

SALAMA, F. M; ALHUQAIL, A. A; ALI, M; ABEED, A. H.: Cd Phytoextraction Potential in Halophyte *Salicornia frutescens*: Salinity Impact. **Plants**, 1-16p, 2022.

STIRK, W. A; BÁLINT, P; TARKOWSKÁ, D; STRNAD, M; STADEN, J. V; ORDOG.: Endogenous brassinosteroids in microalgae exposed to salt and lowtemperature stress. **EUROPEAN JOURNAL OF PHYCOLOGY**, VOL. 53, 273–279p, 2018.

SEREGIN, I. V; KOZHEVNIKOVA, A. D.: Phytochelatins: Sulfur-Containing Metal(loid)-Chelating Ligands in Plants. **Int. J. Mol. Sci.** 1-38p, 2023.

SEFFER, I; NEMETH, Z; HOFFMANN, G; MATICS, R; SEFFER, A. G; KOLLER, A.: Unexplored Potentials of Epigenetic Mechanisms of Plants and Animals—Theoretical Considerations. **Genetics & Epigenetics**, 23–41p, 2013.

SEREGIN, I. V; KOZHEVNIKOVA, A. D; SCHAT, H.: Correlated variation of the Zn accumulation and tolerance capacities among populations and ecotypes of the Zn hyperaccumulator, *Noccaea caerulea*. **Rus. J. Plant Physiol**, 26–36p. 2021.

SONG, J; FENG, S. J; CHEN, J; ZHAO, W. T; YANG, Z. M; A cadmium stress-responsive gene *AtFC1* confers plant tolerance to cadmium toxicity. **BMC Plant Biology**, 1-15p, 2017.

- SHAH, A. A; AHMED, S; YASIN, N. A.: 24-epibrassinolide triggers cadmium stress mitigation in *Cucumis sativus* through intonation of antioxidant system. **South African Journal of Botany**. 349-360p, 2019.
- SHAO, S; MA, B; AI, L; TIAN, X; ZHANG, L.: Foliar Spraying of Selenium Combined with Biochar Alleviates Cadmium Toxicity in Peanuts and Enriches Selenium in Peanut Grains. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 1-16p, 2022.
- SCHULER, M. A; DUAN, H; BILGIN, M; ALI, S.: Arabidopsis cytochrome P450s through the looking glass: a window on plant biochemistry. **Phytochem Rev**, 5:205–237p, 2006.
- SUN, L; CAO, X; TAN, C; DENG, Y; CAI, R; PENG, X; BAI, J.: Analysis of the effect of cadmium stress on root exudates of *Sedum plumbizincicola* based on metabolomics. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 1-9p. 2020.
- SUN, L; SONG, K; SHI, L; DUAN, D; ZHANG, H; SUN, Y; QIN, Q; XUE, Y.: Influence of elemental sulfur on cadmium bioavailability, microbial community in paddy soil and Cd accumulation in rice plants. **Scientific Reports**. 1-9p, 2021.
- SOUSA, A. K. R; MORASSUTI, C. Y; DEUS, W. B.: POLUIÇÃO DO AMBIENTE POR METAIS PESADOS E UTILIZAÇÃO DE VEGETAIS COMO BIOINDICADORES. **Acta Biomedica Brasiliensia**. Volume 9. nº 3. 95 – 106p. 2018.
- SOUZA, N. D; NETO, A. N. A; JUNIOR, A. J. S; OLIVEIRA, A. C. L; SAMPAIO, D. A; CUPERTINO, G. F. M; GONÇALVES, A. N; JÚNIOR, A. F. D.: A Brazilian Amazon Species with High Potential to Phytoextract Potential Toxic Elements. **Floresta e Ambiente**. 29(1): 1-8p, 2022.
- SHI, G. L.: Accumulation and distribution of arsenic and cadmium in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) at different developmental stages. **Science of the Total Environment**, v. 667, p. 532-539, 2019.
- SIMKIN, A. J; CALCAGNO, P. E; RAINES, C. A.: Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. **J. Exp. Bot**, 1119–1140p, 2019.
- SABELLA, E; LUVISI, A; GENGA, A; BELLIS, L; APRILE, A.: Molecular Responses to Cadmium Exposure in Two Contrasting Durum Wheat Genotypes. **Int. J. Mol. Sci**. 1-19, 2021.
- SABELLA, E; APRILE, A; TENUZZO, B. A; CARATA, E; PANZARIN, E; LUVISI, A; BELLIS, L; VERGINE, M.: Effects of Cadmium on Root Morpho-Physiology of Durum Wheat. **Frontiers in Plant Science**, 1-17p. 2022.
- SRIVASTAVA, M; SRIVASTAVA, A; PUENTE, B. O; CAMPANARO, A; ZHANG, C; SANDANANDOM, A.: SUMO Conjugation to BZR1 Enables Brassinosteroid Signaling to Integrate Environmental Cues to Shape Plant Growth. **Current Biology** 30, 1–14p, April 20, 2020.

SONG, X; YUE, X; CHEN, W; JIANG, H; HAN, Y; LI, X.: Detection of Cadmium Risk to the Photosynthetic Performance of Hybrid Pennisetum. **Frontiers in Plant Science**. 1-14p, 2019.

SONG, L; CHEN, W; WANG, B; YAO, Q. M; VALLIYODAN, B; BAI, M. Y; ZHAO, M. Z; YE, H; WANG, Z. Y; NGUYENH. H. T.: GmBZL3 acts as a major BR signaling regulator through crosstalk with multiple pathways in Glycine max. **BMC Plant Biology**, 1-15p, 2019.

SABIR, S; AKASH, M. S. H; FIAYYAZ, F; SALEEM, U; MEHMOOD, M. H; REHMAN, K.: Role of cadmium and arsenic as endocrine disruptors in the metabolism of carbohydrates: Inserting the association into perspectives. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, 1-10p, 2019.

SHAHID, M. A; PERVEZ, M. A; BALAL, R. M; MATTSON, N. S; RASHID, A; AHMAD, R; AYYUB, C. M; ABBAS, T.: Brassinosteroid (24-epibrassinolide) enhances growth and alleviates the deleterious effects induced by salt stress in pea (*Pisum sativum* L.). **AJCS** 5(5): 500-510p, 2011.

SHARMA, A; THAKUR, S; KUMAR, V; KESAVAN, A. K; THUKRAL, A. K; BHARDWAJ, R.: 24-epibrassinolide stimulates imidacloprid detoxification by modulating the gene expression of *Brassica juncea* L. **BMC Plant Biology**, 1-10p, 2017.

SHARMA, I; SHARMA, A; PATI, P; BHARDWAJ, R.: Brassinosteroids Reciprocates Heavy Metals Induced Oxidative Stress in Radish by Regulating the Expression of Key Antioxidant Enzyme Genes. **Braz. Arch. Biol. Technol.** v.61, 1-9p. 2018.

SHARMA, D; BHARDWAJ, S; RAZA, A; SINGH, R; KAPOOR, D; SHARMA, N. R; PRASAD, P. V. V.: Alleviatory Effects of Silicon and 24-Epibrassinolide in Modulation of Growth, Osmolytes, Metabolites, Antioxidant Defense System, and Gene Expression in Lead-Exposed Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Plants. **Agronomy**, 1-21p, 2023.

SHANGGUAN, X; QI, Y; WANG, A; REN, Y; WANG, Y; XIAO, T; SHEN, Z; WANG, O; XIA, Y.: OsGLP participates in the regulation of lignin synthesis and deposition in rice Against copper and cadmium toxicity. **Front. Plant Sci**, 1-14p, 2023.

SHU, S; TANG, Y. Y; YUAN, Y. H; SUN, J; ZHONG, M; GUO, S. R.: The role of 24-epibrassinolide in the regulation of photosynthetic characteristics and nitrogen metabolism of tomato seedlings under a combined low temperature and weak light stress. **Plant Physiol. Biochem.** 107, 344–353p, 2016.

TANG, J; WANG, X; XIAO, D; LIU, S; TAO, Y.: The chromatin-associated RNAs in gene regulation and cancer. **Molecular Cancer**, 1-22p, 2022.

TAYLOR, S. C; NADEAU, K; ABBASI, M; LANCHANCE, C; NGUYEN, M; FENRICH, J.: The Ultimate qPCR Experiment: Producing Publication Quality, Reproducible Data the First Time. **Trends in Biotechnology**, Vol. 37, No. 7, 761-774p, 2019.

TANG, X; ZHANG, Z.: Beyond knockouts: fine-tuning regulation of gene expression in plants with CRISPR-Cas-based promoter editing. **New Phytologist**. 868–874p, 2023.

TAHIR, N. A. R; RASUL, K. S; LATEEF, D. D.: Effect of mixing oak leaf biomass with soil on cadmium toxicity and translocation in tomato genotypes. **Heliyon**, 1-9p, 2023.

THEVENIN, J; POLLET, B; LETARNEC, B; SAULNIER, L; GISSOT; MAIA, G. A; LAPIERRE, C; JOUANIN, L.: The simultaneous repression of CCR and CAD, two enzymes of the lignin biosynthetic pathway, results in sterility and dwarfism in *Arabidopsis thaliana*. **Mol Plant**. 4(1):70–82, 2021.

TIAN, F; HAN, C; CHEN, X; WU, X JIAXUAN MI, J WAN, X; QLIU, Q; FANG HE, F; CHEN, L; YANG, H; ZHONG, Y; QIAN, Z; ZHANG, F.: PscCYP716A1-Mediated Brassinolide Biosynthesis Increases Cadmium Tolerance and Enrichment in Poplar. **Frontiers in Plant Science**. Vol. 13, 1-17p, 2022.

TABELIN, C. B; IGARASHI T; VILLACORTE, T. M; PARK I, OPISO, E. M; ITO, M; HIROYOSHI, N.: Arsenic, selenium, boron, lead, cadmium, copper, and zinc in naturally contaminated rocks: a review of their sources, modes of enrichment, mechanisms of release, and mitigation strategies. **Sci. Total Environ** 645, 1522–1553p, 2018.

TOURNE, D. C. M; MARTORANO, L. G; JUNIOR, B. S; DIAS, C. T. S; LISBOA, S. L; SARTORIO, S. D; VETTORAZZI, C. A.: Potential topoclimatic zones as support for forest plantation in the Amazon: Advances and challenges to growing paricá (*Schizolobium amazonicum*). *Environmental Development*, 18: 26-35p, 2016.

TONG, H; CHU, C.: Functional specificities of brassinosteroid and potential utilization for crop improvement. **Trends Plant Sci**. 23, 1016–1028p, 2018.

URAGUCHI, S; NAGAI, K; NARUSE, F; OTSUKA, Y; OHSHIRO, Y; NAKAMURA, R; TAKANEZAWA, Y; KIYONO, M.: Development of affinity bead-based in vitro metal–ligand binding assay reveals dominant cadmium affinity of thiol-rich small peptides phytochelatin beyond glutathione. **Metallomics**. 1-13p, 2021.

URAGUCHI, S; SONE, Y; OHTA, Y; OHTSU, N. O; HOFMANN, C; HESS, N; NAKAMURA, R; TAKANEZAWA, Y; CLEMENS, S; KIYONO, M.: Identification of C-terminal Regions in *Arabidopsis thaliana* Phytochelatin Synthase 1 Specifically Involved in Activation by Arsenite. **Plant Cell Physiol**. 59(3): 500–509p, 2018.

USMAN, K; AL-GHOUT, M. A; ABU-DIEYEH, M. H.: The assessment of cadmium, chromium, copper, and nickel tolerance and bioaccumulation by shrub plant *Tetraena qataranse*. **Scientific Reports**, 1-11p, 2019.

VENNAPUSA, A. R; NIMMAKAYALA, P; ZAMAN-ALLAH, M. A; RATNAKUMAR, P.: Editorial: Physiological, molecular and genetic perspectives of environmental stress response in plants. **Front. Plant Sci**, 1-3p, 2023.

VILLIERS, F; JOURDAIN, A; BASTIEN, O; LEONHARDT, N; FUJIOKA, S; TICHTINCKY, G; PARCY, F; BOURGUIGNON, J; HUGOUVIEUX, V.: Evidence for functional interaction between brassinosteroids and cadmium response in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**. Vol. 63, No. 3, 1185–1200p, 2012.

WANG, Y., CAO, J. J., WANG, K. X., XIA, X. J., SHI, K., ZHOU, Y. H.: BZR1 Mediates Brassinosteroid-Induced Autophagy and Nitrogen Starvation in Tomato. **Plant Physiol.** 179, 671–685p, 2019.

WISZNIEWSKA, A; KOZMI NSKA, A; HANUS-FAJERSKA, E; DZIURKA, M; DZIURKA, K.: **Insight into mechanisms of multiple stresses tolerance in a halophyte Aster tripolium subjected to salinity and heavy metal stress.** *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 12–22p, 2019.

WANG, P; HENDRON, R.W; KELLY, S.: Transcriptional control of photosynthetic capacity: conservation and divergence from Arabidopsis to rice. **New Phytologist.** 216: 32–45p, 2017.

WANG, B; BIAN, B; WANG, C; LI, C; FANG, H; ZHANG, J; HUANG, D; HUO, J; LIAO, W.: Hydrogen gas promotes the adventitious rooting in cucumber under cadmium stress. **PLoS ONE**, 1-19p, 2019.

WAHAB, A; ABDI, G; SALEEM, M. H; ALI, B; ULLAH, S; SHAH, W; MUMTAZ, S; YASIN, G; MURESAN, C. C; MARC, R. A.: Plants' Physio-Biochemical and Phyto-Hormonal Responses to Alleviate the Adverse Effects of Drought Stress: A Comprehensive Review. **Plants**, 1-27p, 2022.

WEI, Z; LI, J.: Regulation of Brassinosteroid Homeostasis in Higher Plants. **Front. Plant Sci.** 1-17p, 2020.

WU, Y.L; LIN, Z. J; LI, C. C; LIN, X; SHAN, S. K; GUO, B; ZHENG, M. H; LI, F; YUAN, L. Q; LI, Z. H.: Epigenetic regulation in metabolic diseases: mechanisms and advances in clinical study. **Signal Transduction and Targeted Therapy**, 1-27p, 2023.

XIA, X. J; HUANG, L. F; ZHOU, Y. H; MAO, W. H; SHI, K; WU, J, X; ASAMI, T; CHEN, Z; YU, J. Q.: Brassinosteroids promote photosynthesis and growth by enhancing activation of Rubisco and expression. of photosynthetic genes in *Cucumis sativus*. **Planta**, 230:1185–1196p, 2009.

XIAN, J; WANG, Y; NIU, K; MA, H; MA, X.: Transcriptional regulation and expression network responding to cadmium stress in a Cd-tolerant perennial grass *Poa Pratensis*. **Chemosphere**, 1-12p, 2020.

XIONG, D. L; AND FLEXAS, J.: From one side to two sides: the effects of stomatal distribution on photosynthesis. **New Phytol.** 228, 1754–1766p, 2020.

XU, D; CHEN, Z; SUN K.: Effect of cadmium on the physiological parameters and the sub-cellular cadmium localization in the potato (*Solanum tuberosum* L.). **Ecotoxicol. Environ. Safe.** 147-153p, 2013.

YIN, X; TANG, M; XIA, X; YU, J.: BRASSINAZOLE RESISTANT 1 Mediates Brassinosteroid-Induced Calvin Cycle to Promote Photosynthesis in Tomato. **Front. Plant Sci.** 1-13p, 2022.

YU, J. Q; HUANG, L. F; HU, W. H; ZHOU, Y. H; MAO, W. H; YE, S. F; NOGUÊS, S.: A role for brassinosteroids in the regulation of photosynthesis in *Cucumis sativus*. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 55, No. 399, 1135-1143p, 2004.

- YOU, S; CHEN, C; LI, Y; WU, J; ZHU, G; FANG, W; WANG, X; WANG, L.: Selection and validation reference genes for qRT-PCR normalization in different cultivars during fruit ripening and softening of peach (*Prunus persica*). **Scientific Reports**, 1-13p, 2021.
- YAN, Q; FANG, H; WANG, D; XIAO, X; DENG, T; LI, X; WEI, F; LIU, J; LIN, C.: Transfer and transformation characteristics of Zn and Cd in soil-rotation plant (*Brassica napus* L and *Oryza sativa* L) system and its influencing factors. **Scientific Reports**, 1-21p, 2023.
- YAO, R; FU, W; DU, M; CHEN, Z. X; LEI, A. P; WANG, J. X.: Carotenoids Biosynthesis, Accumulation, and Applications of a Model Microalga *Euglena gracilis*. **Mar. Drugs**, 1-15p, 2022.
- YANG, S; YUAN, D; ZHANG, Y; SUN, Q; XUAN, Y. H.: BZR1 Regulates Brassinosteroid-Mediated Activation of AMT1;2 in Rice. **Front. Plant Sci.** 1-11p, 2021.
- YANG, J; KIM, B; KIM, G. Y; JUNG, G. Y; SEO, S. W.: Synthetic biology for evolutionary engineering: from perturbation of genotype to acquisition of desired phenotype. **Biotechnol Biofuels**, 1-14p, 2019.
- YANG, C; YAN, J. JIANG, S; LI, X; MIN, H; WANG, X; HAO, D.: Resequencing 250 Soybean Accessions: New Insights into Genes Associated with Agronomic Traits and Genetic Networks. **Genomics Proteomics Bioinformatics**. 29-41p, 2022.
- YADAV, N. P; BAHADUR, V; SINGH, G; SINGH, N. V.: Influence of Foliar Spray of Brassinosteroids (BR), Salicylic Acid (SA) and Gibberellic Acid (GA₃) on Vegetative Growth and Flowering Parameters of Cucumber (*Cucumis sativus* L) cv. Arpit. **International Journal of Environment and Climate Change**. vol. 12, no. 12, pp. 607-615, 2022.
- YADAV, P; KAUR, R; KOHL, S. K; SIRHINDI, G; BHARDWAJ, R.: Castasterone assisted accumulation of polyphenols and antioxidant to increase tolerance of *B. juncea* plants towards copper toxicity. **Cogent Food & Agriculture**, 1-14p, 2016.
- YAQOUB, U, JAN, N; RAMAN, P. V; SIDDIQUE, K. H. M; JOHN, R.: Crosstalk between brassinosteroid signaling, ROS signaling and phenylpropanoid pathway during abiotic stress in plants: Does it exist?. **Plant Stress**, 1-11p, 2022.
- YAISH, M. M; COLASANTI, J; Rothstein, S. J.: The role of epigenetic processes in controlling flowering time in plants exposed to stress. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 62, No. 11, 3727–3735p, 2011.
- YUAN, J. S; GALBRAITH, D. W; DAI, S. Y; GRIFFIN, P; STEWART, C. N, J.: Plant systems biology comes of age. **Trends Plant Sci.** 13(4):165–71p, 2008.
- YU, N; TEHRIM, S; WANG, L; DOSSA, K; ZHANG, X; KE, T; LIAO, B.: Evolutionary history and functional divergence of the cytochrome P450 gene superfamily between *Arabidopsis thaliana* and *Brassica* species uncover effects of whole genome and tandem duplications. **BMC Genomics**. 1-27p. 2017.

ZHANG, J; SHOAIB, N; LIN, K; MUGHAL N, WU, X; SUN, X; ZHANG, L; PAN, K.: Boosting cadmium tolerance in *Phoebe zhennan*: the synergistic effects of exogenous nitrogen and phosphorus treatments promoting antioxidant defense and root development. **Front. Plant Sci**, 1-17p, 2024.

ZULLO, M. A. T; ADAM, G.: Brassinosteroid phytohormones - structure, bioactivity and applications. **Braz. J. Plant Physiol.**, 14(3):143-181, 2002.

ZUO, C; ZHANG, L; YAN, X; GUO, X; ZHANG, Q; LI, S; LI, Y, XU, W; SONG, X; WANG, J; YUAN, M.: Evolutionary analysis and functional characterization of BZR1 gene family in celery revealed their conserved roles in brassinosteroid signaling. **BMC Genomics**, 1-20p, 2022.

ZHU, T; LI, L; DUAN, Q; LIU, X; CHEN, M.: Progress in our understanding of plant responses to the stress of heavy metal cadmium. **PLANT SIGNALING & BEHAVIOR**, VOL. 16, 1-7p, 2021.

ZHU, J.Y; LI, Y; CAO, D. M; YANG, H; OH, E; BI, Y; ZHU, S; WANG, Z.Y.: The F-box Protein KIB1 mediates brassinosteroid-induced inactivation and degradation of GSK3-like kinases in *Arabidopsis*. **Mol Cell** 66: 648–657p. 2016.

ZHU, J. K.: **Abiotic stress signaling and responses in plants**. *Cell*. 313–324p, 2016.

ZHENG, T; YANG, F; ZHANG, D.: Synergetic Modulation of Plant Cadmium Tolerance via MYB75-mediated ROS Homeostasis and Transcriptional Regulation. **Research Square**, 1-16p, 2022.

ZHENG, X; XIAO, Y; TIAN, Y; YANG, Y; WANG, C.: PcDWF1, a pear brassinosteroid biosynthetic gene homologous to AtDWARF1, affected the vegetative and reproductive growth of plants. **BMC Plant Biology**. 1-1p, 2020.

ZHAO, Z; TANG, S; LI, W; YANG, X; WANG, R; DIAO, X; TANG, W.: Overexpression of a BRASSINAZOLE RESISTANT 1 homolog attenuates drought tolerance by suppressing the expression of PLETHORA-LIKE 1 in *Setaria italica*. **The Crop Journal**. 1208-1213p, 2021.

ZHAO, Q; LI, Q; LIN, S; HOU, R; LIU, J; TAO, Y; LI, Y; ZHOU, Y; YE, Z; YU, X; HUANG, J.: De Novo transcriptome combined with physiological analyses revealed key genes for cadmium accumulation in Zhe-Maidong (*Ophiopogon japonicus*). **Front. Plant Sc**, 1-13p, 2022.

ZHAO, G; XU, H; ZHANG, P; SU, X; ZHAO, H.: Effects of 2,4-epibrassinolide on photosynthesis and Rubisco activase gene expression in *Triticum aestivum* L. seedlings under a combination of drought and heat stress. **Plant Growth Regul**, 81:377–384p, 2017.

ZULFIQAR, U; JIANG, W; XIUKANG, W; HUSSAIN, S; AHMAD, M; MAQSOOD, M. F; ALI, N; ISHFAQ, M; KALEEM, M; HAIDER, F. U; FAROOQ, N; NAVEED, M; KUCERIK, J; BRTNICKY, M; MUSTAFA A.: Cadmium Phytotoxicity, Tolerance, and Advanced Remediation Approaches in Agricultural Soils; A Comprehensive Review. **Front. Plant Sci**. 1-33p, 2022.