



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
BIOTECNOLOGIA – REDE BIONORTE**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE CROMO E 24-EPIBRASSINOLÍDEO
NA EMERGÊNCIA, CRESCIMENTO INICIAL E ANATOMIA DE
Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby
(PARICÁ)**

ALESSANDRA DOS SANTOS MATNI BASTOS

**BELÉM – PA
2024**

ALESSANDRA DOS SANTOS MATNI BASTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE CROMO E 24-EPIBRASSINOLÍDEO NA
EMERGÊNCIA, CRESCIMENTO INICIAL E ANATOMIA DE
Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby
(PARICÁ)**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede - BIONORTE, da Universidade Federal do Pará (UFPA) como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia.

Orientador (a): Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

**BELÉM – PA
Junho/2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de
Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

-
- B327a Bastos, Alessandra dos Santos Matni.
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE CROMO E
24-EPIBRASSINOLÍDEO NA EMERGÊNCIA, CRESCIMENTO
INICIAL E ANATOMIA DE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke)
Barneby (PARICÁ) / Alessandra dos Santos Matni Bastos. — 2024.
97 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto Tese (Doutorado) -
Universidade Federal do Pará, Instituto de
Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia- Rede
BIONORTE, Belém, 2024.
1. *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ)
Tese. 2. Amazônia. 3. Metais pesados. 4. Estresse oxidativo. 5. Fitorremediação. I. Título.

CDD 581.13

ALESSANDRA DOS SANTOS MATNI BASTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE CROMO E 24-EPIBRASSINOLÍDEO NA
EMERGÊNCIA, CRESCIMENTO E ANATOMIA DE *Schizolobium*
parahyba var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby
(PARICÁ)**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de
Doutorado do Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE,
na Universidade Federal do Pará, como requisito para
a obtenção do Título de Doutora em Biodiversidade e
Biotecnologia.

Aprovada em: 28/06/2024

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 CANDIDO FERREIRA DE OLIVEIRA NETO
Data: 27/11/2024 21:04:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto (Orientador)
Universidade Federal Rural da Amazônia

Profa. Dra. Cristine Bastos do Amarante
Museu Paraense Emílio Goeldi

Profa. Dra. Monyck Jeane dos Santos
LopesMuseu Paraense Emílio Goeldi

Profa. Dra. Noemi Vianna Martins Leão
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental

Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura
Universidade Federal Rural da Amazônia

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

Eu, Alessandra dos Santos Matni Bastos, (x) autorizo () não autorizo a publicação da versão final aprovada de minha Tese de Doutorado intitulada “**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE CROMO E 24-EPIBRASSINOLÍDEO NA EMERGÊNCIA, CRESCIMENTO INICIAL E ANATOMIA DE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ)**” no Portal do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE (PPG-BIONORTE), bem como no repositório de Teses da CAPES ou junto à biblioteca da Instituição Certificadora.



Documento assinado digitalmente

ALESSANDRA DOS SANTOS MATNI BASTOS

Data: 25/11/2024 12:20:55-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Alessandra dos Santos Matni Bastos

Local/Data: Belém, 25 de novembro de 2024.

CPF: 511.402.252-00

RG: 2885540

In memorian ao meu amado pai
Valdomiro Coelho Matni
Por ter apoiado meus passos

In memorian ao meu querido irmão
Luiz Claudio dos Santos Matni
Por ter sido lucidez em meio a muitos tormentos

A minha mãe
Maria Adalgisa dos Santos
Por sua dedicação expressos em amor todos os dias

As minhas filhas
Brenda e Eduarda Matni
Pela compreensão e pelo amor recebido

Ao meu esposo
Eduardo H. C. Bastos
Por seu companheirismo em meus estudos

AGRADECIMENTOS

Á Deus que sustenta a minha vida e que nesta caminhada profissional, diante do sofrimento no luto me socorreu.

Ao meu irmão Luiz Claudio dos Santos Matni (*In memorian*), que em 2020 quando passei no doutorado, permitiu que eu fizesse a minha matrícula no seu notebook. Eu não poderia deixar de te agradecer.

Á minha amada mãe Maria Adalgisa dos Santos sei que o poder de Deus permitiu chegarmos até aqui, depois de muitos momentos angustiantes, você está comigo e com seu apoio, sou mais forte.

Aos meus amados, esposo Eduardo Bastos e filhas Brenda e Eduarda Matni, que estiveram ao meu lado, disseminando amor. Que compreenderam a minha ausência, enquanto eu desenvolvia este trabalho.

Ao meu orientador, Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto da Universidade Federal Rural do Pará - UFRA, pela paciência, amizade, atenção e por todo conhecimento compartilhado nesses últimos anos.

Ao Dr. Glauco André dos Santos Nogueira da Universidade Federal Rural do Pará - UFRA, pela amizade, compromisso em instruir e acompanhar meus experimentos no Laboratório de Estudos de Plantas Superiores da Amazônia (EBPS), na UFRA.

A pesquisadora Elizabeth Santos Cordeiro Shimizu da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Oriental) pela doação das sementes.

Aos colegas, do Laboratório de Estudos de Plantas Superiores da Amazônia (EBPS), Anne Alves, Lilian Barros, Lays Gomes, Catarina Nascimento, Vitor Nascimento, Thalisson Oliveira, Erick Ribeiro, Raphael Ferreira e Dayse Braga por todo a ajuda e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

A amiga Sintia Monteiro que desde o início desta caminhada, incentivou e vibrou com cada vitória que eu conquistei nesta jornada profissional e aos demais colegas do BIONORTE. E as demais amigas Elke Anijar, Camila Barbosa, Brenda Costa e Rayette Silva.

A todos os professores vinculados ao programa pelos ensinamentos durante as disciplinas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de doutorado, a qual foi essencial à minha formação.

Obrigada!!!!!!

“Os sonhos são como uma bússola, indicando os caminhos que seguiremos e as metas que queremos alcançar. São eles que nos impulsionam, nos fortalecem e nos permitem crescer.”

(Augusto Cury)

BASTOS, Alessandra dos Santos Matni. **Análise da Influência de Cromo e 24-Epibrassinolídeo na Emergência, Crescimento Inicial e Anatomia de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá).** 2024. 97f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia- BIONORTE/PÍFIO) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.

RESUMO

A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas para aumentar a dispersão ou estabilizar a poluição no meio ambiente, envolve a decomposição e absorção de metais pesados, através da rizosfera. Possui baixo custo, facilidade de implantação e boa aceitação pública, por não ser invasiva. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência de cromo e 24-epibrassinolídeo (EBL) na emergência, crescimento inicial e anatomia de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), visando sua utilização como aporte natural ao meio ambiente em detrimento a contaminações por metais pesados nos solos. A pesquisa foi desenvolvida na sala de crescimento de vegetais, localizada no laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS) no Instituto de Ciências Agrárias (ICA), UFRA/Belém. Fez-se a contagem dos dias para iniciar a emergência (DIE), e, assim avaliar a Velocidade de Emergência (VE), o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), o Tempo Médio Emergência (TME) e o Coeficiente de Velocidade de Emergência (CVE), parâmetros utilizados para a verificação do crescimento da planta. Dezoito dias após a semeadura as plântulas foram coletadas e submetidas a medições biométricas. Realizou-se também a análise das enzimas antioxidantes, Dismutase do Superóxido (SOD), Peroxidase do Ascorbato (APX) e Atividade de Catalase (CAT) para verificar se ocorreu estresse oxidativo no paricá sob a influência do cromo. Para o estudo da anatomia radicular e foliar utilizou-se amostras dos tratamentos com Cromo (Cr) (0, 50, 100 e 150 mM.L⁻¹) e 24-Epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM). A densidade estomática foi determinada nas regiões basal, mediana e apical de foliólulos. As dosagens de cromo não interferiram no comprimento da raiz, parte área e número de folhas de paricá, o EBL pode ter favorecido o desenvolvimento da espécie, este hormônio pode estimular o crescimento, bem como aumentar a capacidade da planta de superar estresses. Para os parâmetros VE, IVE, TME e o CVE, o Cr não influenciou na emergência e no crescimento, devido ao tegumento das sementes que agem como uma barreira. A atividade de CAT ocorreu com a translocação do metal das raízes para as folhas sendo maior neste órgão, tendo o mesmo comportamento com a SOD. A combinação entre estas enzimas foram fundamentais para o alívio dos efeitos do estresse oxidativo. O efeito do EBL de estimular as defesas antioxidantes foi observado na ativação da SOD e CAT. Verificou-se modificações anatômicas para a espessura da epiderme, endoderme e exoderme, as quais funcionam como barreiras apoplásticas, sendo considerado um mecanismo favorável a tolerância desta espécie ao Cr. As folhas de paricá apresentaram-se espessas, com epiderme adaxial espessa e estômatos abundantes e pequenos. O cromo não causou danos, bem como não se verificou a efetiva atenuação pelo EBL, pois a porcentagem de plantas anormais foi em torno de 5%. As maiores dosagens de Cr não interferiram no crescimento e desenvolvimento de paricá, mostrando certa tolerância ao metal. Contudo, ainda são necessários mais estudos utilizando dosagens maiores que comprovem até que limite de cromo ou outros tipos de metais pesados o paricá pode ser considerado como fitorremediador.

Palavras-chave: meio ambiente; solos contaminados; metais pesados; fitorremediação.

BASTOS, Alessandra dos Santos Matni. **Analysis of the Influence of Chromium and 24-Epibrassinolides on the Emergence, Initial Growth and Anatomy of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá).** 2024. 97f. Thesis (PhD in Biodiversity and Biotechnology- BIONORTE/PÍFIO) - Federal University of Pará, Belém, 2023.

SUMMARY

Phytoremediation is a technique that uses plants to increase dispersion or stabilize pollution in the environment, involving the decomposition and absorption of heavy metals through the rhizosphere. It has low cost, ease of implementation and good public acceptance, as it is non-invasive. Thus, the objective of this study was to analyze the influence of chromium and 24-epibrassinolide (EBL) on the emergence, early growth and anatomy of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), aiming at its use as a natural contribution to the environment to the detriment of heavy metal contamination in soils. The research was developed in the vegetable growth room, located in the Laboratory of Biodiversity Studies in Higher Plants (EBPS) at the Institute of Agricultural Sciences (ICA), UFRA/Belém. The days to start emergence (DIE) were counted, and thus the Emergence Speed (VE), the Emergence Speed Index (IVE), the Average Emergence Time (TME) and the Emergence Speed Coefficient (CVE) were evaluated, parameters used to verify plant growth. Eighteen days after sowing, the seedlings were collected and submitted to biometric measurements. The analysis of the antioxidant enzymes, Superoxide Dismutase (SOD), Ascorbate Peroxidase (APX) and Catalase Activity (CAT) was also performed to verify if oxidative stress occurred in paricá under the influence of chromium. For the study of the root and leaf anatomy, samples of Chromium (Cr) (0, 50, 100 and 150 mM.L⁻¹) and 24-Epibrassinolide (0, 20 and 30 nM) treatments were used. Stomatal density was determined in the basal, median, and apical regions of folioluli. The chromium dosages did not interfere with the root length, part area and number of paricá leaves, EBL may have favored the development of the species, this hormone can stimulate growth, as well as increase the plant's ability to overcome stresses. For the VE, IVE, TME and CVE parameters, Cr did not influence emergence and growth, due to the seed coat acting as a barrier. The CAT activity occurred with the translocation of the metal from the roots to the leaves being greater in this organ, having the same behavior with SOD. The combination of these enzymes was fundamental for alleviating the effects of oxidative stress. The effect of EBL to stimulate antioxidant defenses was observed in the activation of SOD and CAT. Anatomical changes were found for the thickness of the epidermis, endoderm and exoderm, which function as apoplastic barriers, being considered a favorable mechanism the tolerance of this species to Cr. The paricá leaves were thick, with thick adaxial epidermis and abundant and small stomata. Chromium did not cause damage, as well as no effective attenuation by EBL, as the percentage of abnormal plants was around 5%. The highest doses of Cr did not interfere with the growth and development of paricá, showing some tolerance to the metal. However, more studies using higher dosages are still needed to prove up to what limit of chromium or other types of heavy metals paricá can be considered as a phytoremediator.

Keywords: environment; contaminated soils; heavy metals; phytoremediation.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1 - Fontes de inserção de metais pesados para os solos (Fonte: Autor) 22

Figura 2 - Técnicas de fitorremediação (Pilon-Smits, 2005).....24

CAPÍTULO 1

Figure 01: Systematization adopted for the preparation of research 52

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) na emergência e incidência de plântulas anormais de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo 67

Figura 2 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) no TME, CVE e IVE de sementes de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo 69

Figura 3 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) no comprimento da raiz e da parte aérea de plântulas de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.....70

Figura 4 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) no número de folhas de plântulas de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo71

Figura 5 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) nas concentrações de SOD na raiz e folha de plântulas de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.....73

Figura 6 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) nas concentrações de APX na raiz e folha de plântulas de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μ M). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.....74

Figura 7 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) nas concentrações de CAT na raiz e folha de plântulas de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μ M). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo..... 76

CAPÍTULO 3

Figura 1. Secções transversais em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) expostas à quatro concentrações de cromo (0, 50, 100 e 150 mg. L⁻¹) e três valores de 24-Epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM). Legenda: c: córtex; cv: cilindro vascular; ex: exoderme; en: endoderme; fl: metafloema; x: metaxilema..... 89

Figura 2 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) na quantificação de tricomas e incidência de plântulas anormais de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μ M). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo 90

Figura 3 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) na quantificação de estômatos de plântulas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μ M). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo91

Figura 4 - Corte transversal de folhas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), face adaxial, evidenciando estômatos paracíticos, abundantes e pequenos 92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 GERAL.....	16
1.1.2 ESPECÍFICOS	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 OS SOLOS E A CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS	19
2.2 FITORREMEDIAÇÃO DE AMBIENTES CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS.	22
2.3 PARICÁ	25
2.3.1 <i>Schizolobium parhyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby	25
2.3.2 Influência de metais na emergência e crescimento de plântulas	27
2.4 BIOQUÍMICA E ESTRESSE OXIDATIVO.....	29
2.5 AÇÃO DE BRASSINOSTERÓIDES	31
2.6 EFEITO DE CROMO NAS PLANTAS.....	32
2.7 ANATOMIA DE PLANTAS SUPERIORES	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
3 CAPÍTULOS.....	48
3.1 CAPÍTULO I.....	48
3.2 CAPÍTULO II.....	60
3.3 CAPÍTULO III	81
4 DISCUSSÃO INTEGRADORA.....	96
5 CONCLUSÕES	97

1 INTRODUÇÃO

Os últimos dois séculos foram marcados por avanços tecnológicos que permitiram grandes mudanças nos meios de produção e consumo, mudando o modo de vida da sociedade. Contudo, o progresso econômico e tecnológico não foi acompanhado de uma preocupação acerca dos impactos que as atividades desenvolvidas poderiam ocasionar ao meio ambiente (DIAS; BELOTTI, 2021).

No Brasil, em decorrência dos seguidos crimes ambientais envolvendo mineradoras, aumentou-se a preocupação sobre o perigo à saúde humana e animal pela exposição aos metais tóxicos (COSTA; BORGES; SOTO-BLANCO, 2020). O processo de industrialização aumentou o uso dos recursos naturais, muitos dos quais são obtidos através de técnicas de mineração. Estes processos são alguns dos responsáveis pela crescente degradação ambiental (MOTHÉ et al., 2023).

Os metais pesados em excesso implicam em bioacumulação (permanecem no ambiente) (VARDHAN et al., 2019). Estes elementos podem contaminar ou poluir os solos, merecendo atenção, pois sua elevada permanência no solo e a alta toxicidade podem gerar problemas aos organismos vivos (FERREIRA et al., 2021).

Para atenuar os efeitos dos metais pesados ao meio ambiente surgiram técnicas como, a biorremediação que é um tratamento, onde os organismos naturais são usados para decompor substâncias perigosas, em menos tóxicas ou não tóxicas. Inclui bioacumulação, biossorção e fitorremediação (fito significa planta e remédio significa limpar) é o uso natural e direto de plantas para absorver os poluentes através das raízes e translocação para a parte superior da planta (REZANIA et al., 2016). As tecnologias empregadas para tratamento e remediação de solos contaminados devem ser definidas com base nas características dos contaminantes, no seu custo-benefício e na facilidade de emprego (BAÚ; RAMOS; RAMOS, 2022).

Uma das vantagens da fitorremediação é a sua natureza permanente, com baixo custo de manutenção, proteção contra a erosão eólica e hídrica e maior estruturação dos solos. As pesquisas nesta área utilizam espécies vegetais de ciclo anual, mas também fazem uso de espécies florestais, por serem apropriadas para a revegetação de áreas contaminadas. Um ponto importante para a técnica é a profundidade da raiz, pois permite que a planta entre em contato com o contaminante para limpá-lo posteriormente. Os diferentes processos envolvidos na fitorremediação, contam com as características morfofisiológicas das espécies e diferem entre elas (SILVA et al., 2019).

É fundamental que sejam estudadas e adotadas medidas de remediação e/ou isolamento capazes de proteger os recursos hídricos e solos dos impactos ambientais causados pelo acúmulo

de metais pesados (MORITTA; MORENO, 2021).

A utilização de plantas que sejam capazes de minimizar os efeitos causados por metais pesados no solo, através do processo de fitorremediação são importantes para o meio ambiente. Como os estudos sobre esta técnica buscam espécies capazes de se adaptar a ambientes contaminados, a espécie florestal *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá), mostrou ser tolerante e com potencial fitorremediador para o metal pesado Cádmio (Cd) (MERCES et al., 2018; NOGUEIRA, 2022).

O paricá é uma espécie florestal nativa da região Amazônica, utilizada na indústria madeireira e recomposição de áreas degradadas. Vem sendo aplicada em sistemas integrados de produção, pelas suas características favoráveis, como crescimento rápido e copa pouco adensada. Contudo existe escassez de informações sobre a espécie, principalmente sobre o desenvolvimento, manejo e utilizações (NASCIMENTO et al., 2019).

Nas plantas os metais pesados induzem disfunções morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, direta ou indiretamente, causando prejuízos. A consequência mais frequentemente documentada e mais precoce da toxicidade de metais pesados nas células vegetais é a superprodução de ERO (SHAHID et al., 2014). A geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) ocorre naturalmente em vários compartimentos celulares durante os processos metabólicos aeróbicos das plantas. Estas tentam se proteger contra os efeitos deletérios do estresse oxidativo, mantendo baixos os níveis de ROS através da ativação dos sistemas de defesa antioxidante enzimático ou não enzimático. A regulação das enzimas pertencentes ao sistema de defesa antioxidante está relacionada com a tolerância a estresses abióticos e pode garantir a proteção contra estresse oxidativo (BARBOSA, SOUZA; NASCIMENTO, 2023).

Através da caracterização morfoanatômica das plantas é possível identificar estresses causados por diversos fatores ambientais. A anatomia foliar pode alterar dependendo da radiação solar, temperatura, quantidade de água e nutrientes disponíveis no solo, e pela presença de altas concentrações de metais (MARTINELLI et al., 2020). A diversidade de plantas que podem ser utilizadas é ampla, variando de espécimes ornamentais, macrófitas, árvores lenhosas, culturas agrícolas e gramíneas (BERGAMO; DAQUILA; CONTE, 2022).

Diante do exposto, esta pesquisa foi voltada pelas seguintes questões: analisar a influência de cromo (Cr) e 24-epibrassinolídeo (EBL) na emergência, crescimento e anatomia de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, conhecido como Paricá, visando à utilização da espécie como fitorremediadora em solos contaminados com metais pesados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

Analisar a influência de cromo e 24-epibrassinolídeo na emergência, crescimento inicial e anatomia de Paricá, visando à utilização da espécie como fitorremediadora em solos contaminados com metais pesados.

1.1.2 ESPECÍFICOS

- Observar o tempo médio de emergência, o coeficiente de velocidade de emergência, o índice de velocidade de emergência e o comprimento da raiz, parte aérea e o total nas plântulas de Paricá, submetidas aos diferentes tratamentos com cromo e brassinosteróide;
- Determinar a atividade das enzimas antioxidantes Dismutase do Superóxido (SOD), Peroxidase do Ascorbato (APX) e Catalase, em plântulas de Paricá;
- Observar os efeitos anatômicos em paricá na raiz e folha das superfícies adaxial e abaxial submetidas aos diferentes tratamentos com cromo e brassinosteróide.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A sociedade tem percebido que sem a devida conscientização, o uso indiscriminado dos recursos naturais, afeta o meio ambiente e a qualidade de vida. Atualmente, existe a preocupação com os efeitos da emissão de metais pesados em ambientes naturais pela ação do homem, pois representam um grave risco à saúde humana e geram grande impacto ambiental, uma vez que os metais são poluentes persistentes (FERREIRA et al., 2021).

O grupo de elementos citados anteriormente estão presentes em fontes antrópicas, como as emissões causadas pelo crescimento desordenado de áreas industriais, mineração, uso inadequado de fertilizantes químicos e agentes fitossanitários. Quando os metais pesados estão em quantidades excessivas no solo prejudicam tanto as plantas, quanto a atmosfera e biota do solo (FRANÇA; MIRANDA; PAIM, 2023).

Os metais pesados englobam diversos elementos que vão desde metais de transição, semi-metais, até não metais (GONÇALVES, 2019). Porém, o termo é válido para aqueles com alta densidade, como Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Mercúrio (Hg) e o Arsênio (As), devido às suas características químicas e ao modo como interagem com o meio ambiente (ZENG et al., 2021).

No Brasil, a contaminação dos ecossistemas é um assunto importante, diante de cenários de acidentes com barragens de rejeitos de mineração (BAÚ; RAMOS; RAMOS, 2022). Para este problema ambiental, a fitorremediação é uma técnica que foi bem aplicada em Brumadinho, Minas Gerais, após o rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão e em outras barragens como a de Fundão, em Mariana, pois é uma tecnologia efetiva e natural realizada por plantas, sendo não destrutiva, ecologicamente correta (verde) e sustentável (FERREIRA et al., 2022).

Os conhecimentos sobre a fitorremediação, se basearam em estudos de solos e água contaminados, e, dependem das características do contaminante. Neste processo, a utilização de plantas para extrair, degradar, conter ou imobilizar poluentes a fim de recuperá-los total ou parcialmente, é uma opção viável economicamente (BATISTA, 2020; MORITA; MORENO, 2022).

Entre as técnicas de fitorremediação destacam-se, a fitoextração, fitoestabilização, fitoestimulação, fitovolatilização, fitodegradação e rizofiltração. Estas, são muito variáveis, agem conforme a matriz, a natureza, o nível de contaminação, e a disponibilidade de recursos. Estas atenuam os problemas ambientais causados pelos metais pesados (MEJÍA et al., 2014; BAÚ; RAMOS; RAMOS, 2022; TAVARES, 2009; MAHAR et al., 2016).

Em relação a função desempenhada nos sistemas biológicos, os metais pesados classificam-se em essenciais e não essenciais (OLIVEIRA, 2022). Os metais essenciais para as plantas, fazem parte do metabolismo, sendo um micronutriente, mas em altas concentrações podem ser tóxicos como o Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), Cobalto (Co) e Níquel (Ni). Outros metais não possuem função na planta e em pequenas quantidades são tóxicos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Crômio (Cr), Chumbo (Pb) e Mercúrio (Hg) (NEGRÃO, 2022).

Até o momento o Cr é considerado tóxico e não essencial à nutrição mineral de plantas, mas existem trabalhos que destacam efeitos positivos no crescimento de vegetais, aplicando uma quantidade mínima do elemento de forma solúvel em solo (SOUSA; SANTOS, 2018). O cromo altera a produção de pigmentos e aumenta a produção de metabólitos, como glutathione e ácido ascórbico (CAMPOS, 2018).

Os problemas relacionados ao excesso dos metais pesados nas plantas podem prejudicar e influenciar diretamente o crescimento, o metabolismo, a fisiologia e a senescência das plantas., estando relacionados à fotossíntese, ao equilíbrio hídrico e à captura de nutrientes (VARMA, et al., 2021).

Segundo Sasso (2020) espécies arbóreas podem ter grande valor para a recuperação de áreas contaminadas, por meio da fitorremediação, já que não fazem parte da cadeia alimentar, e devido aos problemas ambientais gerados pela contaminação por Cr, elemento tóxico para as plantas.

Assim, estudos como os apresentados nesta pesquisa, onde a espécie florestal *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá) pode ser utilizada como fitorremediadora para ambientes contaminados por Cr são de suma importância para os solos. Contudo, o uso de espécies vegetais com potencial para remediar esses danos ambientais requer a compreensão de mecanismos de defesa desenvolvidos pelas plantas, especialmente arbóreas, que retiram, estocam e sobrevivem adequadamente aos metais pesados presentes nos solos contaminados (CASTRO, 2023).

Visando a mitigação de possíveis efeitos tóxicos de Cr para o Paricá, o brassinosteróide (BRs) surge como regulador de crescimento de plantas que desempenham uma variedade de funções fisiológicas, que também conferem resistência às plantas contra vários estresses bióticos e abióticos, sendo 24-epibrassinolide (EBR) um dos mais biologicamente ativos (MAIA NETO, 2022). Os brassinosteróides (BRs) representam um grupo de moléculas sinalizadoras de plantas com um esqueleto esteroide que desempenham um papel essencial na adaptação das plantas a diferentes estresses ambientais, incluindo a seca (AVALBAEV et al., 2024).

2.1 OS SOLOS E A CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS

A contaminação ambiental por metais pesados aumentou desde a Revolução Industrial, sendo o solo a principal entrada destes contaminantes (BINI, 2019). A contaminação do solo com metais pesados pode resultar numa série de problemas ambientais, ocasionando a perda de vegetação, contaminação de águas superficiais e de aquíferos, além de toxidez direta para animais (DE MELO COGO; LOPES; VIELMO, 2020).

O solo é resultante do intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de elementos químicos essenciais às plantas (nutrientes) e a produção e decomposição de biomassa. Os nutrientes são fundamentais, pois garantem a boa qualidade dos solos e o seu bom uso (LOPES; GUILHERME, 2007). O solo consiste em um elemento natural fundamental para a vida no planeta. É formado por sólidos, líquidos e vapores e é capaz de abrigar inúmeros ecossistemas, servindo também de reservatório de água e nutrientes, sendo de extrema relevância para os ciclos naturais, como o hídrico (DIAS; BELOTTI, 2021).

Normalmente a fertilidade do solo diz respeito a disponibilidade de nutrientes, que pode ser a quantidade que a planta pode absorver. Estes nutrientes estão disponíveis de acordo com o desenvolvimento das plantas, mas este fator não permite definirmos como único, em plantas cultivadas a produtividade é consequência da interação complexa de vários fatores. Os solos são reservatórios de metais pesados importantes para os ecossistemas terrestres. Consequentemente, entender o comportamento desses elementos na pedosfera é essencial para manter a qualidade do ambiente (FERNANDES; CARVALHO, 2021).

As atividades como a metalurgia com metais pesados, tem produzido elevadas taxas de rejeitos, ricos nesses poluentes, agravando o risco de contaminação dos solos, outro fator prejudicial, é a destruição da cobertura vegetal, em áreas de mineração, pois aumenta a degradação deste local, com erosão hídrica, eólica e a lixiviação dos contaminantes para o lençol freático, causando progressivo grau de contaminação de outras áreas. Neste sentido, é necessário contarmos com esforços que integrem conhecimentos que facilitem a reabilitação de solos contaminados por metais pesados, possibilitando o retorno da funcionalidade e estabilidade do ecossistema (ANDRADE et al., 2009).

Com isso, muitos estudos sobre contaminação ambiental, visam observar os efeitos de metais pesados e metaloides em solos, plantas, animais e humanos. Em solo contaminado, estas substâncias se acumulam nas plantas, tornando-as impróprias para o consumo humano e animal, são nocivas à saúde e, consequentemente aos seus desenvolvimentos (COSTA et al., 2021).

Sabe-se que as atividades que utilizam os agroquímicos em grandes quantidades e o descarte de resíduos urbanos e industriais de forma irregular, mudam os teores de metais pesados

existentes naturalmente no ambiente, provocando a contaminação dos solos (FREITAS et al., 2020).

Assim, nos últimos anos muitas tecnologias de remediação (fitotecnologias), incluindo métodos físicos, químicos, biológicos e combinados, foram propostas e adotadas para mitigar a contaminação de solos. Na tecnologia de fitoextração, selecionar as espécies de plantas apropriadas é uma das considerações mais importantes (VENEGAS-RIOSECO; GINÓQUIO; ORTIZ-CALDERÓN, 2022).

Os avanços tecnológicos, e algumas mudanças no setor industrial, causam impactos em águas superficiais e subterrâneas, solos e ar. Contudo, existem certas espécies de plantas, conhecidas como hiperacumuladoras que apresentam mecanismos específicos para se adaptar em ambientes altamente poluídos, sendo utilizadas para recuperar e remediadoras áreas afetadas, esta é uma técnica biológica chamada de fitorremediação para solos contaminados (NAWAZ et al., 2022).

No Brasil, e em algumas partes do mundo, existem áreas com solos contaminados com metais pesados, que necessitam de reabilitação. Programas com esta finalidade, geralmente incluem diagnóstico da área, análise de risco, estratégias de mitigação da fitotoxidez e seleção de plantas e microrganismos tolerantes ao excesso de metais (RIBEIRO-FILHO; CURI; SIMÃO, 2001). As principais fontes antrópicas de contaminação ambiental por metais pesados são os fertilizantes, pesticidas, água de irrigação contaminada, combustão de carvão mineral e óleo, gases emitidos por veículos a combustão, incineração de resíduos urbanos e industriais, e indústrias de mineração, fundição e refinamento (KABATA-PENDIAS, 2011 apud FERREIRA et al., 2021).

Conceituam-se como Metais Pesados (MP) aqueles que apresentam densidade relativa maior que 5 g/cm^3 , ou número atômico maior que 20, incluindo-se metais, semimetals e não metais, presentes em rochas e áreas com adição de rejeitos industriais, biossólidos e alguns agroquímicos em grandes quantidades. Alguns elementos como o Fe, Cu, Zn e Mn podem ser fundamentais para as funções fisiológicas nos seres vivos, mas em excesso no solo podem prejudicar o crescimento das plantas causando-lhes alterações, bem como agir com efeitos adversos sobre os microrganismos, influenciando nas funções do ecossistema, com consequências ao meio ambiente e à saúde pública (CARNEIRO et al., 2001). Os principais metais pesados presentes no solo e nos produtos utilizados na agricultura são Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn e Zn (ESTRELA; CHAVES; SILVA, 2018).

Os metais pesados estão presentes naturalmente no solo, ou seja, não oferecem risco ao ambiente. Contudo, o aumento tecnológico e a urbanização dos últimos anos, provocou um excesso gradativo de descarga de elementos químicos, potencialmente tóxicos, o que pode

ocasionar problemas ambientais de grandes proporções como a perda de vegetação, águas superficiais e de aquíferos contaminadas e a ação direta sobre animais (DE MELO COGO; LOPES; VIELMO 2020).

O significativo avanço tecnológico nos últimos tempos, favoreceu o processo de urbanização. O aumento das atividades acentuou a geração de compostos químicos, que descartados de maneira incorreta podem contaminar o meio ambiente, incluindo os solos (DIAS; BELOTTI, 2021).

Através de processos industriais, agrícolas e urbanos surgem os resíduos, material que possui metais pesados em sua composição, que são descartados inadequadamente e ficam no meio ambiente por décadas. Ao contrário dos poluentes biodegradáveis, as substâncias recalcitrantes (como os metais pesados) necessitam ser removidas, pois em altas taxas são tóxicos para os seres vivos (ARAÚJO et al., 2019).

Por este motivo, a contaminação por metais pesados é um tema de grande relevância, traz perigos aos seres vivos. Desta forma, remediar ou minimizar esses riscos no ambiente é importante para a compreensão destes poluentes e seus efeitos na natureza e organismos, podem ser indicadores dessa degradação ambiental (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018).

Assim, no intuito de remediar solos contaminados por metais pesados, várias técnicas como as que dependem da matriz contaminada, da natureza do contaminante, do nível de contaminação e da disponibilidade de recursos foram apresentadas ao longo dos anos para diminuir os teores desses poluentes em níveis ambientalmente seguros (TAVARES; OLIVEIRA; SALGADO, 2013).

A contaminação de áreas por metal pesado é comum, pois a sociedade depende de demandas maiores de combustíveis fósseis, defensivos agrícolas e fertilizantes. Os métodos tradicionais de recuperação dessas áreas são onerosos. Portanto, a fitorremediação passa a ser uma solução para eliminar esses contaminantes do solo, por meio da coleta de plantas cultivadas que extraem os elementos do solo na área afetada (MAY et al., 2020).

As concentrações de metais pesados no meio ambiente tem aumentado em função das atividades industriais (metalurgia, mineração, entre outras), agrícolas (defensivos e fertilizantes) e mau planejamento urbano (lixões e falta de saneamento) causando a contaminação de solos e plantas (CASTRO, 2023). Algumas das fontes de inserção de metais pesados para o solo, e consequentemente para as plantas, que causam prejuízos ao meio ambiente, estão descritas abaixo (Figura 1).



Figura 1 - Fontes de inserção de metais pesados para os solos (Fonte: Autor).

2.2 FITORREMEDIAÇÃO DE AMBIENTES CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS

No Brasil a técnica de fitorremediação ganhou interesse e obteve importantes avanços no campo das pesquisas. Alguns estudos aplicaram a técnica para tratar solos contaminados com herbicidas, e observaram que vários tipos de plantas podem servir para esse fim, como espécimes ornamentais, macrófitas, árvores lenhosas, culturas agrícolas e gramíneas (BERGAMO; DAQUILA; CONTE, 2022).

O processo de fitorremediação é altamente utilizada para auxiliar no tratamento de áreas onde é destinado os resíduos sólidos urbanos. Esta técnica biotecnológica consiste em utilizar vegetais para remover, imobilizar ou tornar inofensivo contaminante orgânico ou inorgânico presentes no solo e na água (DA SILVA; SANTOS; GOMES, 2014).

Os conhecimentos sobre fitorremediação surgiram a partir de estudos em solos e água contaminados e depende das características do contaminante. Com esta técnica, passamos a conhecer melhor as espécies de plantas que possuem a capacidade de remediação (MORITA; MORENO, 2022).

É uma técnica biológica que retira metais pesados de solos, vincula-se a capacidade de algumas plantas absorverem esses elementos, tornando-os menos prejudiciais. É uma alternativa sustentável e economicamente viável em relação aos métodos tradicionais de descontaminação do solo. A fitorremediação é um destes processos que utiliza a vegetação para aumentar a dissipação ou estabilização de contaminantes ambientais, atua na degradação e na absorção de metais pesados pela rizosfera (MALDONADO; WENDLING, 2009).

Segundo De Cinque Mariano e Okumura (2012), a fitorremediação se destaca devido à biomassa vegetal representar 99% da massa viva do planeta, sendo natural que as plantas estejam inseridas em muitos processos que estão intimamente relacionados com o destino dos resíduos químicos que entram no meio ambiente.

Em solos contaminados, a fitorremediação pode ser mais propícia com plantas que combinam a capacidade remediadora com características agronomicamente desejáveis, como crescimento rápido, fácil controle, propagação ou erradicação. É uma tecnologia relevante para a realidade nacional, pois combina os benefícios econômicos já elencados com benefícios sociais e ambientais, como a redução da interferência nos ecossistemas, a prevenção da erosão do solo e a lixiviação do poluente (MAY et al., 2020).

O processo de fitorremediação pode abranger técnicas ou mecanismos, com características específicas que podem potencializar ou restringir seu emprego face às características do local que se pretende remediar ou mesmo o contaminante que será tratado (CAETANO, 2018).

Como vantagem da fitorremediação tem-se o baixo custo e a possibilidade de aplicação em áreas extensas, além de ser uma técnica de remediação *in situ*, não provocando contaminações secundárias (Quadro 1). Essa técnica também promove a revegetação de áreas contaminadas, que ajuda a proteger o solo contra a erosão eólica e hídrica, ao mesmo tempo em que melhora esteticamente a área degradada (TAVARES; OLIVEIRA; SALGADO, 2013).

Quadro 1: Vantagens e desvantagens da fitorremediação.

VANTAGEM	DESVANTAGEM
É uma tecnologia amiga do ambiente	É mais eficaz apenas em locais de contaminação com solos e água contaminados pouco profundos (abaixo de 5 m de profundidade)
É uma tecnologia rentável (cerca de 50% ~ 80% menos dispendiosa que os métodos atuais ou até menos) e tem custos de engenharia mínimos	Está demorando muito e diferentes condições climáticas ou sazonais podem interferir no acúmulo de metal e inibir o crescimento das plantas
É útil para tratar uma ampla gama de contaminantes ambientais	Contaminantes orgânicos e inorgânicos podem ser tóxicos para as plantas e a sobrevivência das plantas pode ser afetada
A perturbação ambiental é mínima e isto pode ser aplicado tanto <i>in situ</i> como <i>ex situ</i>	A absorção de contaminantes tóxicos pelas plantas pode representar riscos potenciais de transferência de contaminantes para a cadeia alimentar
Existe a possibilidade de recuperação e reutilização de metais valiosos provenientes de processos pós-colheita	

A fitorremediação é um processo distinto e suas técnicas estão de acordo com cada contaminante envolvido, compreendendo, a fitoestabilização, a fitovolatilização, a fitodegradação a fitoextração e a fitoestimulação (Figura 2).

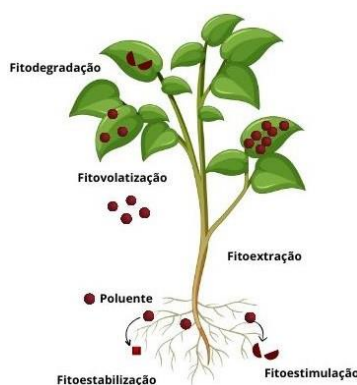


Figura 2 - Técnicas de fitorremediação (Pilon-Smits, 2005).

Segundo Silva (2016) a fitorremediação envolve as técnicas mencionadas anteriormente, assim tem-se que:

- Na fitoestabilização ocorre a imobilização de um contaminante por meio das reações de absorção e acumulação, adsorção e/ou precipitação na zona das raízes, evita a migração destes para outras áreas;
- Na fitoextração ou fitoacumulação, a planta absorve o contaminante do solo, armazena em suas raízes ou em suas folhas e caules, facilitando posteriormente seu descarte;
- Na fitovolatilização os contaminantes são liberados na atmosfera após absorção pelas raízes, A planta após absorver os contaminantes, provenientes do solo ou da água, converte-os para formas voláteis, sendo posteriormente liberados na atmosfera,
- Já na fitodegradação ou fitotransformação, os contaminantes são absorvidos pelas plantas, por meio de seus processos metabólicos quebram as moléculas do contaminante em produtos menos tóxicos;
- Na fitoestimulação planta remediadora libera compostos que estimulam a microbiota do solo a metabolizar o contaminante. Subsequentemente a planta poderá fazer a volatilização ou degradação parcial ou completa por meio da transformação em compostos menos tóxicos (FRANCO et al., 2014).

A técnica de fitoestabilização pode ser eficiente e bem utilizada para muitos metais como Cd, Cr, Cu, Hg, Pb e Zn. Estes elementos podem continuar no local, exigindo cuidados contínuos com a vegetação e o solo para evitar a liberação dos poluentes e a sua lixiviação no futuro (TAVARES, 2013).

As características como, a capacidade de sobrevivência em condições adversas, fácil

propagação, alta produção de biomassa e ciclo de vida longo, fazem de espécies arbóreas nativas, como o Paricá importantes aliadas para recuperar solos contaminados com metais pesados. O que minimiza os efeitos adversos dos contaminantes de forma menos custosa, principalmente, se a revegetação for por meio do plantio de sementes, diretamente nessas áreas (FREITAS, ALVARENGA; DURÃES, 2019).

Considerando a diversidade vegetal de algumas regiões cabem futuras pesquisas para identificar e selecionar espécies, particularmente, arbóreas capazes de prestar importantes serviços ambientais acumulando metais pesados em solos contaminados e, ainda mais reabilitando áreas contaminadas por metais pesados (CASTRO, 2023).

2.3 PARICÁ

2.3.1 *Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby

O Paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) é uma espécie arbórea da família Fabaceae que apresenta ampla distribuição geográfica nas Américas do Sul e Central. No Brasil é encontrado naturalmente nos Estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre com domínios fitogeográficos na Amazônia (CORDEIRO; SCHWARTZ; BARROS, 2020).

No Estado do Pará os plantios para comercialização de paricá, concentram-se, principalmente na região de Paragominas (CARVALHO et al., 2013). É uma espécie com bom desempenho em sistemas silviculturais. Entretanto, pode apresentar variações no incremento em altura e diâmetro, dependendo do manejo adotado (SILVA; SALES, 2018).

O gênero *Schizolobium* Vogel possui uma única espécie, *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, com duas variedades: *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, popularmente conhecido como Paricá, e *parahyba* (Barneby) como Guapuruvu, onde ambas apresentam características semelhantes, razão pelo qual, foram consideradas como única variedade por um longo tempo. As diferenças entre Paricá e Guapuruvu, estão nas características morfológicas, Paricá possui flores menores, pétalas mais oblongas, rígidas e glabras, frutos e sementes menores, pedicelos distintamente articulados, anteras menores e florescimento sem folhas, quando comparado ao Guapuruvu (ROSARIO, 2022).

As árvores de paricá podem chegar de 20 a 30 metros de altura; tronco com presença de sapopemas, ramos cilíndricos; folhas bipinadas, com pecíolos $6.3-12.8 \times 0.3-0.4$ cm e raque tereta $7.0-21.9 \times 0.3-0.4$ cm; pinas 6-12 pares, pulvínulo $0.4-0.6 \times 0.2$ cm; foliólulos 12-30 pares, opostos, cartáceos, discolores, oblongos a elípticos, $1.3-3.2 \times 0.4-0.8$ cm, ápice mucronado ou

agudo, base obtusa ou oblíqua. Inflorescência panícula, unidades racemosas $9.6-24.5 \times 0.2$ cm. Flores com sépalas verdes e pétalas amarelas. Fruto legume samaróide, $7.2-19.8 \times 1.8-3.6$ cm, oboval, achatado, glabro, coriáceo ou sublenhoso, com coloração verde a marrom, endocarpo papiráceo; semente 1 por fruto, $1.8-3.0 \times 1.3-2.3$ cm (ROMÃO; MANSANO, 2020).

Até bem pouco tempo, não se concebia a realização de atividades de reflorestamento na Amazônia, dada a extensão da floresta que predomina na área. Mas atualmente, ocorrem mudanças, pois, dados estatísticos, apontam que aproximadamente 70 milhões de hectares de florestas nativas foram convertidos para a realização de projetos voltados a diferentes usos do solo. Um percentual considerável, entre 25% e 30%, dessas regiões modificadas se tornaram não produtivas, ficando subutilizadas ou sendo deixadas de lado. A disponibilização de terrenos disponíveis, entre outros elementos, influencia significativamente o processo de reflorestamento (YARED, 2007).

Segundo Monteiro et al. (2018) o paricá pode ser utilizada em: cultivos comerciais, sistemas agroflorestais e reflorestamento de áreas degradadas, devido ao seu rápido crescimento e matéria prima adequada para obtenção de celulose, tem alto valor comercial.

No Brasil existe grande competitividade no mercado (interno e externo) de produtos florestais, devido as suas características edafoclimáticas (solo e clima) e do desenvolvimento tecnológico obtido nas áreas de silvicultura e manejo florestal. A criação de métodos e ferramentas para suporte à atividade florestal, diante de desafios relacionados ao seu uso, tornou-se crucial para aprimorar as vantagens competitivas do país no contexto global (DE OLIVEIRA et al., 2017).

A extensão de árvores plantadas atingiu 7,84 milhões de hectares em 2016, um aumento de 0,5% comparado ao ano anterior. Representando 4,2% das exportações 4,2% das exportações na balança comercial, o índice se tornou mais significativo em abril de 2016: 4,9%. Dados que mostram a relevância do setor no país e evidenciam a crescente utilização de madeiras provenientes de florestas plantadas. Dentre estas espécies plantadas o paricá se destaca (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), transformou-se em uma opção viável para o cultivo regional, visando atender à demanda por matéria-prima oriunda de plantações homogêneas ou integradas, bem como para a reabilitação de áreas degradadas (IBÁ, 2017 apud GAMA et al, 2020).

No Pará as florestas plantadas são alternativas renováveis com potencial para a economia, visto que aliviarão a pressão sobre as florestas naturais, reduzindo assim o desmatamento. Isto visando as áreas modificadas, e ofertar produtos de interesse, com geração de valor e dinamismo econômico. O mercado da madeira de florestas plantadas na economia paraense, no entanto, ainda é incipiente, existindo uma demanda reprimida de madeira certificada para diversos fins (COSTA et al, 2020).

De acordo com Silva et al. (2022) a madeira de paricá possui elevada cotação no mercado e está em intenso processo de cultivo pelas madeireiras, podendo ser usada para recuperar imensas áreas de pastagens degradadas. Neste estudo os resultados mostraram um desenvolvimento significativo da espécie, considerada promissora para utilização no processo de restauração florestal no Bioma Amazônico.

A exploração comercial e programas de recomposição vegetal, necessitam de um forte sistema de produção de mudas, incluindo a adoção das melhores técnicas, tais como a escolha correta dos tipos de substratos e intensidade de luz recebida pelas mudas. Fatores de adaptação as condições ambientais, como a luminosidade e o tipo de substrato empregado são muito importantes para a produção de mudas com alto padrão de qualidade (DE OLIVEIRA BASTOS et al, 2023).

Deste modo, o paricá é uma espécie arbórea, nativa de grande importância para o setor madeireiro, devido aos produtos oriundos, e, para o uso em programas de recomposição vegetal. Para que exista sucesso na produção de paricá é necessário conhecer o crescimento da planta e sua adaptação às condições ambientais, luminosidade e o substrato.

2.3.2 Influência de metais na emergência e crescimento de plântulas

As altas concentrações de metais pesados prejudicam o meio ambiente, nas plantas agem na inibição da germinação de sementes, afetando o seu desenvolvimento. Os processos bioquímicos e fisiológicos sofrem distúrbios como: danos nas membranas celulares, redução da transpiração, quebra da síntese proteica, deterioração do aparelho fotossintético, inibição da taxa fotossintética, afetam enzimas e aumentam a peroxidação lipídica (ATICI et al., 2005). Os estudos sobre metais pesados têm despertado o interesse progressivo para a solução de problemas ecológicos causados pelo seu excesso no sistema solo-planta em decorrência dos malefícios ocasionados nos ecossistemas e na saúde humana (DE MELO COGO; LOPES; VIELMO, 2020).

O Paricá é uma espécie que pode ser afetada pelo cádmio, que é um metal perigoso por seu acúmulo no meio ambiente. Sua mobilidade solo-planta, pode alterar os parâmetros fisiológicos e de crescimento das plantas (NOGUEIRA, 2018). As plantas, como qualquer organismo vivo são sensíveis tanto à deficiência como ao excesso de concentração de alguns metais pesados (SURAJ; EKTA; MANISH, 2021).

A resposta das plantas em ambiente contaminado por metais pesados são muito diferentes, sendo sensíveis, com sintomas visíveis, ou com tolerância, ou seja, desenvolvem métodos capazes de impedir os efeitos nocivos desses elementos e favorecem um melhor crescimento da espécie

(ARAUJO et al., 2019).

Em um processo de desenvolvimento normal as plantas precisam de boas condições ambientais, respeitar as características específicas de cada espécie, como temperatura, humidade, gravitação e velocidade do vento, contribuem para o processo de germinação das plantas (YAMASHITA et al., 2009). No metabolismo vegetal, os metais podem afetar negativamente em processos como a fotossíntese, transporte de água e absorção de elementos essenciais, acarretando danos no desenvolvimento morfológico e fisiológico da (SILVA et al., 2023).

Quando falamos no desenvolvimento de plantas, analisar as sementes é importante para fornecer informações de qualidade física e fisiológica. Especialmente quando são as florestais nativas, com potencial de restauração das florestas. A redução do poder germinativo indica perda na qualidade das sementes. Cabe a utilização de métodos para avaliar o estágio de deterioração, como o teste de primeira contagem de germinação que avalia a porcentagem de plântulas normais obtidas na primeira contagem do teste, sendo eficiente para determinar o vigor das sementes. A velocidade de germinação também é um indicativo de vigor (GUEDES et al., 2013).

Os métodos utilizados para a superação da dormência de espécies florestais são a escarificação química, mecânica e a imersão em água quente. Neste estudo foi verificado que as sementes de Paricá, devido à baixa taxa de germinação, possuem dormência física, e, necessitam do processo mecânico para a passagem da água, como apontado por outros pesquisadores. A escarificação mecânica com lixa foi o método mais adequado para superação de dormência, aumentou a taxa de germinação e o índice de velocidade de germinação em relação aos demais métodos testados (CARVALHO et al., 2019).

O estudo mencionado anteriormente corrobora com outras pesquisas que apresentaram 94% de germinação e maior Índice de Velocidade de Emergência (IVG) (SHIMIZU et al., 2011). E com a pesquisa onde a germinação por escarificação com lixa na lateral do tegumento obteve maior índice chegando a 99% de emergência da espécie (DE NEVES et al, 2010). Uma germinação rápida e uniforme de sementes, seguida por imediata emergência das plântulas são características altamente desejáveis na formação de mudas, pois quanto mais tempo a plântula permanecer nos estádios iniciais de desenvolvimento e demorar a emergir do solo, mais vulnerável estará às condições adversas do meio (DA LUZ, 2015).

É pelo sistema radicular das plantas que é realizada a remoção de metais pesados. Depois da absorção do elemento tóxico, esse pode permanecer nas raízes ou se deslocar para o caule e folhas, no entanto é importante destinar corretamente estas partes, dependendo do metal e dos produtos que a planta oferece (GUIRRA et al., 2021).

A toxicidade induzida pelos metais influencia negativamente na nutrição das plantas devido a competição com os nutrientes pelos mesmos sítios de ligação, visto que estes entram

através das células das raízes utilizando transportadores destinados a translocação de nutrientes para o interior das células (SANCHES; SILVA, 2023).

Muitas espécies vegetais têm características que permitem seu incremento, mesmo com a existência de metais tóxicos. Para fins de fitorremediação de metais pesados, os vegetais devem, ajustar-se ao solo e clima, além de absorverem alta concentração de metais tóxicos ou mobilizar o contaminante. As plantas arbóreas possuem sensibilidade a presença de níveis tóxicos de metais, e, são os mecanismos de seu sistema radicular que promovem resistência a metais pesados (SCHOTTZ et al., 2023).

2.4 BIOQUÍMICA E ESTRESSE OXIDATIVO

Em locais como complexos industriais e áreas de mineração, os solos apresentam altas concentrações de metais pesados. Que podem escoar e atingir os alimentos agrícolas, afetar a saúde da população e prejudicar o meio ambiente, pela bioacumulação. A prática da agricultura nestes locais pode levar à contaminação e à entrada desses na cadeia alimentar. Alguns metais como, o Arsênio (As), o Cádmio (Cd), o Mercúrio (Hg), o Chumbo (Pb) e o Cromo (Cr) mesmo em baixa concentração são tóxicos e, trazem problemas para a agricultura e consequentemente para a saúde humana (DOS SANTOS SOUSA et al., 2021).

Ao estudarem o Paricá sob o efeito de cádmio, Monteiro et al. (2018) verificaram que as concentrações deste elemento podem ser diferentes em seus órgãos foliar e radicular e que também a absorção de nitrogênio pode ser afetada. Contudo, as substâncias osmorreguladoras, como a prolina, são uma estratégia para reduzir os efeitos negativos desse elemento. É possível que a bioacumulação do metal esteja no sistema radicular, mas estudar o caráter genético pode ser importante para entender como a planta resiste ao cádmio em seus tecidos.

Em outra pesquisa realizada por Mercês et al. (2018) o comportamento de Paricá também foi testado diante do efeito de doses diferentes de cádmio. Este estudo mostrou que o Paricá absorveu o metal nas raízes, reduzindo sua translocação para a parte aérea, o que contribuiu para sua alta tolerância.

A concentração de cádmio em níveis altos pode afetar várias variáveis de Paricá como a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração. A eficiência intrínseca da utilização de água (EiUA) foi a variável mais afetada pelo estresse hídrico, sofreu com altas concentrações de cádmio, em ambientes com pouca água. Houve diminuição, na altura, diâmetro, número de folhas e folíolos, atingindo a síntese de fotoassimilados. A raiz apresentou o maior acúmulo, mas o metal também foi encontrado na parte aérea, o que sugere que as plantas podem ter uma característica fitoextrativa em relação a esse elemento fitotóxico. Estes estudos são fundamentais para monitorar

níveis de cádmio e de outros metais em ambientes agrícolas e industriais, para diminuir os efeitos ruins deste metal nas plantas, e, consequentemente, na produção de alimentos (NOGUEIRA, et al., 2019).

Já a pesquisa de Nascimento et. al. (2018), fez uma análise das variáveis bioquímicas de Paricá em contato com várias concentrações de alumínio e observaram que nas dosagens e tempo estudados houve sensibilidade à toxicidade do elemento e que a dose de $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de cloreto de alumínio hexahidratado 95% ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) interferiu significativamente nas variáveis bioquímicas. Apesar disso, houve resistência da planta nos 23 dias em que foi submetida ao estresse do alumínio, além de apresentar mecanismos de defesa que prolongaram suas atividades fisiológicas durante a exposição ao estresse.

Para respostas bioquímicas e fisiológicas as plantas possuem uma defesa antioxidante eficiente, as enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e outros compostos que ajudam a eliminar os radicais livres e reduzir os danos oxidativos (BARBOSA, et al., 2014).

A SOD atua na linha de frente em combate a ROS e é responsável pela dismutação do $\text{O}_2^{\cdot -}$, quando ele se encontra em altos níveis em compartimentos celulares como cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos. Nesta ação, a enzima converte o $\text{O}_2^{\cdot -}$ a H_2O_2 e O_2 . O H_2O_2 gerado pela SOD pode ser convertido a moléculas de H_2O e O_2 pela enzima CAT e de H_2O pela APX através de uma rede de reações denominada via do ascorbato glutathiona (BARBOSA; SOUZA; NASCIMENTO, 2023).

A catalase é uma enzima substancialmente importante para o processo de desintoxicação de células das plantas em condições de estresse oxidativo (ARAUJO, 2017). É encontrada no peroxissomo, glioxissomos e organelas relacionadas, localizadas em pontos estratégicos da célula, em que há produção localizada de H_2O_2 . Sua função é eliminar o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), catalisando uma reação de dismutação, que gera H_2O e O_2 (SU et al., 2018).

Com o passar do tempo algumas espécies desenvolveram tolerância e capacidade de bioacumular metais pesados. Quando as concentrações desses metais são muito altas ou quando diferentes tipos de íon metálico interagem, ocorre uma alteração fisiológica que afeta diretamente o crescimento e a aparência das plantas. Apesar dos sintomas iniciais de fitotoxicidade, algumas espécies estão se adaptando e conseguindo acumular grandes quantidades desses metais (AMADO; CHAVES FILHO, 2015).

Para mitigar a absorção e a toxicidade de metais pesados nas plantas, estas desenvolveram mecanismos de desintoxicação, como a produção de antioxidantes (enzimáticos e não enzimáticos) para a eliminação de ERO. Todavia, nem sempre as plantas dispõem desses mecanismos de defesa, assim estratégias devem ser consideradas para reduzir a toxicidade dos

metais (SANCHES; SILVA, 2023).

2.5 AÇÃO DE BRASSINOSTERÓIDES

Importantes poluentes ambientais, como o chumbo, níquel, cádmio, cobre, cobalto, cromo e mercúrio causam efeitos tóxicos às plantas, agem como estresse e afetam a fisiologia vegetal. Nas sementes estes elementos causam anormalidades e diminuem a germinação, prejudicam o alongamento da raiz e parte aérea, provocam danos oxidativos, alteração da membrana, deficiência induzida de CO₂ devido ao fechamento estomático, além de impactar em outros processos bioquímicos nas plantas (SETHY; GHOSH, 2013).

Nas sementes, os metais pesados podem romper o tegumento, provocando uma rápida absorção e ficando armazenado nas regiões meristemáticas das raízes e no hipocótilo, comprometendo o crescimento da planta. Este mecanismo pode ser prejudicial para a taxa de germinação, crescimento das plântulas e/ou alterações morfológicas (MORAES, 2011).

A germinação é um processo de desenvolvimento das plantas, que depende de condições químicas e físicas da rizosfera. Nas sementes o tegumento age como uma barreira, impedindo a atuação de metais pesados, ainda assim quando estes agentes entram em contato com as sementes e plântulas, ocorre à diminuição da germinação, em resposta ao estresse. Deste modo, é importante pesquisar os efeitos dos metais pesados na germinação e no crescimento de plântulas (SENEVIRATNE, 2017).

Alguns trabalhos científicos tratam sobre a utilização de hormônios vegetais como um plano eficiente para mitigar os efeitos do estresse abiótico. Neste sentido, os EBRs tiveram sucesso, resistindo contra altas e baixas temperaturas, salinidade do solo, seca e toxicidade por metais pesados. Contudo, os brassinosteróides adquirem cada vez mais espaço como alternativa para controlar os efeitos danosos do estresse abiótico, especialmente a forma 24-epibrassinolide (EBR) (LARRÉ et al., 2014).

A ação mitigadora do EBR foi testada em *Eucalyptus urophyllas* em condições de estresse por Cd, os resultados apontaram que houve alívio significativo à anatomia foliar, pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas. Há fortes evidências de que os brassinosteróides podem favorecer a tolerância de plantas expostas ao estresse por metais pesados. Entretanto, há pouca ou nenhuma informação sobre o efeito desse hormônio e sua eficácia em plantas como a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e demais espécies submetidas ao Ni (SARAIVA, 2021).

A fitorremediação assistida por reguladores de crescimento como os brassinosteróides tem revertido os efeitos do estresse por metais pesados na germinação e no crescimento das plantas prevendo que a germinação das sementes e a evolução das plântulas são períodos significativos

no desenvolvimento das plantas, a presença de metais pesados no solo nesta fase pode afetar negativamente o crescimento ou impossibilitar o estabelecimento das plantas (SOARES, 2019).

Nota-se em alguns estudos que a estrutura de ação do hormônio BR é diferente do ácido abscísico, muito estudado em plantas em estresse. A utilização do BR é para estimular as defesas antioxidantes, como a produção de compostos como o ácido ascórbico, ou mesmo ativando as enzimas como Superóxido dismutase (SOD), Ascorbato peroxidase (APX) e Catalase (CAT), que por sua vez inativam ROS. Assim, a tolerância ao estresse conferida pela aplicação exógena desse hormônio é diferente de todos os instrumentos já analisados em estudos sobre distúrbios de Ca^{2+} (RIBOLD et al., 2019).

A ação dos efeitos dos brassinosteróides são diferentes dos hormônios não esteroides, por se propagarem facilmente pelas células, gerando respostas rápidas no metabolismo das plantas, aumentando a produção de proteínas e enzimas, como também agem em conjunto com outros hormônios vegetais. Muitos estudos têm mostrado sobre os diversos efeitos fisiológicos de brassinosteróides, conjuntamente com auxinas na expansão celular, agindo na resistência a fatores bióticos e abióticos, produção de etileno e efeitos sobre crescimento e desenvolvimento de plantas (FAGAN et al., 2015).

Este grupo de fitohormônios está envolvido na regulação de uma variedade de processos fisiológicos e de desenvolvimento, incluindo divisão e alongamento celular, desenvolvimento e germinação de sementes, diferenciação do sistema vascular, desenvolvimento de raízes e órgãos reprodutivos, fotomorfogênese, floração e senescência. Há muito se sabe que os brassinosteróides promovem o crescimento, melhoram a tolerância das plantas a diferentes estresses abióticos (AVALBAEV et al., 2024).

2.6 EFEITO DE CROMO NAS PLANTAS

O Cromo (Cr) é um metal encontrado no ecossistema pela ação do intemperismo do material original do solo, ou pela introdução por depósitos de resíduos industriais como curtumes e siderúrgicas (CASTILHOS, et al., 2001). O cromo é um metal acinzentado oriundo do mineral cromita ($\text{FeO.Cr}_2\text{O}_3$), usado em indústrias de galvanoplastia, fabricação de ligas como aço inoxidável, em indústrias de corantes, curtimento de couro, no tratamento da madeira, entre outros (MIRANDA et al., 2023).

O cromo não é destruído pela degradação e, portanto, acumula-se no meio ambiente (MOHANTY; PATRA, 2011). Onde é encontrado no ar, água e solo, e suas diversas formas químicas são poluentes com graves implicações para o meio ambiente e a saúde humana (MELLA, 2013). Na maioria dos solos o cromo é encontrado em concentrações que variam de 2

a 60 mg kg^{-1} dependendo do tipo de solo (DE OLIVEIRA SOUSA; DOS SANTOS, 2018).

É um elemento muito usado na área industrial sendo considerado um grave poluente ambiental. Sua utilização e de seus compostos inclui o processamento e acabamento de couro, produção de refratários, lamas de perfuração, limpadores de galvanização, catalisadores, fabricação e produção de ácido crômico e produtos químicos especiais (DA SILVA COSTA, 2020).

Existem duas formas estáveis da ocorrência do cromo (Cr^{6+} e Cr^{3+}) no meio ambiente. A forma hexavalente desse metal é a mais tóxica, mutagênica e cancerígena em comparação com a trivalente. A conversão de cromo hexavalente para trivalente é um processo básico de desintoxicação (SKKABI et al., 2021). Contudo, existem importantes diferenças biológicas, geoquímicas e toxicológicas entre Cr^{3+} e Cr^{6+} . O Cr^{3+} , em baixa concentração, é considerado essencial ao metabolismo da glicose, lipídios e proteínas, já o Cr^{6+} é tóxico, devido ao seu comportamento oxidante e à alta mobilidade no ambiente (SOARES; MONTEIRO; CARNEIRO, 2007).

Nas plantas, a presença de cromo é mais comumente associada à existência de formas solúveis desse elemento no solo (AMBROSINI, 2015). Quando se encontra na forma Cr^{+6} , o cromo se apresenta como um ânion solúvel capaz de penetrar facilmente através da membrana celular, demonstrando um efeito tóxico poderoso pois atua como agente oxidante forte. Já o Cr^{+3} só se torna solúvel em pHs mais baixos do que o encontrado normalmente em sistemas biológicos, ou quando está complexado com moléculas orgânicas de baixo peso molecular, o que limita sua mobilidade através da membrana celular (DE OLIVEIRA SOUSA; DOS SANTOS, 2018).

Nas plantas, a capacidade de absorver e transportar Cr varia conforme a espécie. As plantas absorvem diferentes tipos de cromo por meio de mecanismos distintos. Enquanto a absorção de Cr^{+6} é ativa e pode ser diminuída com a adição de inibidores metabólicos à solução nutritiva, a absorção de Cr^{+3} acontece por osmose através das raízes (DE OLIVEIRA SOUSA; DOS SANTOS, 2018).

Embora alguns metais, como Cr sejam micronutrientes essenciais responsáveis por muitos processos regulares nas plantas, o excesso, pode prejudicar e influenciar diretamente o crescimento, o metabolismo, a fisiologia e a senescência das plantas. Pode também provocar estresse oxidativo, causando graves danos às membranas celulares. A germinação das sementes é o primeiro processo fisiológico afetado pelo Cr, o sucesso neste processo em um meio contendo Cr seria um indicativo do seu nível de tolerância a este metal. Os efeitos da toxicidade do Cr podem ocasionar clorose, retardo de crescimento, murchamento da parte superior e danos às raízes, afeta as atividades de muitas enzimas e, portanto, produz espécies reativas de oxigênio (SURAJ; EKTA; MANISH, 2021).

As plantas mais jovens tendem a ser mais resistentes do que as mais velhas, mas apesar da tolerância, o Cr induz o estresse oxidativo, resultando em morte das células das raízes por toxidez quando estas não são capazes de converter o Cr^{6+} em Cr^{3+} , reduzindo assim a produção de massa e o comprimento das raízes (GONÇALVES; FERREIRA, 2024).

2.7 ANATOMIA DE PLANTAS SUPERIORES

A anatomia vegetal é o estudo dos tecidos internos das plantas, sendo focada nos tecidos dérmicos, básicos e condutores visíveis através de microscopia. Este campo revela como as plantas reagem ao estresse, alterando seus tecidos para diferentes funções fisiológicas. Mudanças anatômicas causadas por metais e metaloides, por exemplo, afetam processos fisiológicos nas raízes, resultando em retardos de crescimento e divisão celular (YADAV et al., 2021).

Os estudos sobre metais pesados têm despertado o interesse progressivo para a solução de problemas ecológicos causados pelo seu excesso no sistema solo-planta em decorrência dos malefícios ocasionados nos ecossistemas e na saúde humana (DE MELO COGO; LOPES; VIELMO, 2020).

A caracterização anatômica é um instrumento ligado a parâmetros morfológicos e fisiológicos. Sendo assim, pode auxiliar na seleção de espécies para fitorremediação de ambientes contaminados por metais pesados. A caracterização anatômica permite a identificação de mecanismos de tolerância através de modificações histológicas (VECCHIA et al., 2005).

Índices elevados de metais pesados no solo podem causar a inibição de processos metabólicos e fisiológicos essenciais no estágio inicial de desenvolvimento das plantas, ocasionando danos tanto na parte radicular quanto na parte aérea (CASTRO, 2023).

Metais como o Cu podem levar a alterações anatômicas, morfológicas e fisiológicas, como danos às raízes, inibição da absorção de nutrientes e água, diminuição da taxa de fotossíntese e no crescimento das plantas. Os efeitos tóxicos por excesso do Cu podem variar entre espécies e genótipos da mesma espécie (YRUELA, 2009).

Outro metal pesado que em excesso causa danos a plantas é o Zn, observa-se redução no crescimento das raízes, suas ramificações são anormais, sofrem espessamento, coloração escura e sinais de necrose, redução do alongamento (AMBROSINI et al., 2015). Outros sintomas como redução do número e tamanho das raízes laterais e a diminuição da atividade mitótica também podem ser sintomas de excesso de toxicidade pelo zinco (SAGARDOY et al., 2009).

A toxicidade de metais (Cu e Zn) em plantas são conhecidos e podem causar mudanças bioquímicas, fisiológicas e estruturais. Essas alterações servem como defesa para a planta sobreviver ao estresse, porém em casos graves, podem não ser suficientes. O excesso de Cu pode

causar distúrbios no crescimento e no desenvolvimento normal das plantas, afeta processos fisiológicos e bioquímicos importante, como permeabilidade da membrana plasmática, síntese proteica, estrutura da cromatina e atividade de enzimas (LUNKES et al., 2022).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. V. P. **Influência de Diferentes Concentrações de Níquel (NI) sobre A Germinação e Crescimento Inicial de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.** Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2015.

AMADO, S.; CHAVES FILHO, J. T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza Online**, v. 13, n. 4, p. 158-164, 2015.

AMBROSINI, V. G.; SORIANI, H. H.; ROSA, T.R.; TIECHER, T.L.; GIROTTO, D. et al. **Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura.** 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1065884>, Acesso em: 25/07/2021.

ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. D. P.; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: I-Fitoextração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1879-1888, 2009.

ARAÚJO, L. A.; LUPEPSA, L.; MAGATÃO, A. C.; OLIVEIRA, J. A. S., CONTE, H. Processos Biotecnológicos Na Remoção De Metais Pesados. **Saber Científico** (1982-792X), v. 8, n. 2, p. 135-145, 2021.

ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S; GONÇALVES, E. de O.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.

ARORA, P.; BHARDWAJ, R.; KANWAR, M. K. 24-epibrassinolide regulated diminution of Cr metal toxicity in *Brassica juncea* L. plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, p. 159-165, 2010.

ATICI, O.; AGAR, G.; BATTAL, P. Changes in phytohormone contents in chickpea seeds germinating under lead or zinc stress. **Biologia plantarum**, v. 49, p. 215-222, 2005.

AVALBAEV, A.; FEDYAEV, V.; LUBYANOVA, A.; YULDASHEV, R.; ALLAGULOVA, C. 24-Epibrassinolide Reduces Drought-Induced Oxidative Stress by Modulating the Antioxidant System and Respiration in Wheat Seedlings. **Plants (Basel)**. 2024 Jan 5;13(2):148. doi: 10.3390/plants13020148. PMID: 38256702; PMCID: PMC10818601.

BARBOSA, B. M. G. **Fitorremediação de solos contaminados com Zn e Cr utilizando *Arundo donax* L.** Tese (Doutorado em Energia e Bioenergia) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

BARBOSA, M. R.; DE SOUZA, L. M.; NASCIMENTO, K. R. P. ROS e o estresse oxidativo por seca em plantas. **Multidisciplinary Sciences Reports**, v. 3, n. 3, 2023.

BARDIVIESSO, E. M.; BATISTA, T. B.; SILVA, B. F. F.; COSTA, E., da SILVA, T. A., LANNA, N. D. B. L. & PETRONILIO, A.C.P (2020). Pre-germination treatments of Paricá (*Schizolobium amazonicum*) SEEDS. **Bioscience Journal**, 36, 1090-1098.

BATISTA, L. S. **Absorção de cobre e potencial fitorremediador de *Lantana Fucata* (Verbenaceae)**. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2020.

BAÚ, R. Z., RAMOS, M. A. de O., & RAMOS, V. A. A. (2022). Proposta de recuperação do solo da cidade de Brumadinho - MG. **Ensaios USF**, 6(1). <https://doi.org/10.24933/eusf.v6i1.237>.

BERGAMO, R. H. S.; DAQUILA, B. V.; CONTE, H. Técnica de fitorremediação na reabilitação de áreas contaminadas e a aplicação de *Zantedeschia aethiopica* (L.) neste processo: uma revisão narrativa. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 15, pág. e155111536959-e155111536959, 2022.

BERILLI, S. D. S.; ZOOCA, A. A. F.; REMBINSKI, J.; SALLA, P. H. H.; ALMEIDA, J. D. D.; MARTINELLI, L. Influência do acúmulo de cromo nos índices de compostos secundários em mudas de café conilon. **Coffee Science**, v.11, n. 4, 2016.

BINI, C. Urban soils and human health. **EQA-International Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://eqa.unibo.it/article/view/8529/8468>, Acesso em: 08/02/2024.

BOTIN, A. A. et al. **Desenvolvimento de árvores de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) após 1 ano de plantio**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1124903/desenvolvimento-de-arvores-de-parica-schizolobium-parahyba-var-amazonicum-apos-1-ano-de-plantio>, Acesso em: 07/04/2024.

BURAK, D.L.; ANDRADE, F.V.; FONTES, M.P.F.; FERNANDES, R.B.A. Metais pesados em solos: Aspectos gerais. In: Polanczyk, R.A.; Cecílio, R.A.; Matta, F.P.; Soares, T.C.B.; Pezzopane, J.E.M.; Campanharo, W.A.; Oliveira, M.C.C. (Org.). **Estudos Avançados em Produção Vegetal**. 1 ed. Vitória, ES, 2008, v. 32, p. 571-592.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Função dos nutrientes: micronutrientes. In: **Nutrição mineral de plantas superiores de Marschner**. Imprensa Acadêmica, 2012. p. 191-248.

CAETANO, P. A. dos S. **Emprego do capim braquiária e da aveia preta na fitoextração de cromo e níquel**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2018.

CAMPOS, C. Q. **Efeitos da salinidade no acúmulo de metais pesados e nas características anatômicas, fisiológicas e bioquímicas em plantas do manguezal**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

CANNATA, M. G. Efeitos de cádmio e chumbo no desenvolvimento de rúcula (*Eruca sativa* L.), rabanete (*Raphanus sativus* L.) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solução nutritiva. **Lavras: UFLA**, 2011.

CARNEIRO, C. **Comparação de cinco métodos de análise química foliar utilizando a erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) como matriz analítica**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

CARVALHO, M.; MACHADO, R. C. R.; AHNERT, D.; SODRÉ, G. A.; Do Sacramento, C. K. Evaluation of composition and mineral distribution in foliar components of paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Agrotrópica**, v. 25, n. 1, p. 53-60, 2013.

CARVALHO, M. B. F.; ARAUJO, M. E. R.; MENDONÇA, A. P.; CHÁVEZ, M. S.; GUTIERREZ, K. L. et al. Métodos de superação de dormência da *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. **Brazilian journal of animal and environmental research**, v. 2, n. 1, p. 490-500, 2019.

CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. D. DA; LEITZKE, V. W.; FERREIRA, L. H.; NUNES, M.C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 7, n. 2, 2001.

CASTRO, A. C. de J. **Toxicidade comparada de metais pesados sobre características fisiológicas de sementes e plantas jovens de *Hymenaea courbaril* L.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2023.

COSTA, A. G.; BORGES, A. M.; SOTO-BLANCO, B. Metais tóxicos e seus efeitos sobre a reprodução dos animais. Revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal: RBHSA**, v. 14, n. 1, p. 108-124, 2020.

COSTA, S.; GONÇALVES, V. M.; GOMES, V.; AZEVEDO, A. A. R.; ULIANA, M. Assessment of chromium bio-accumulation potential in sunflowers. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, 2021.

COSTA, B. C. et al. Análise da conjuntura do mercado de madeira de reflorestamento no Estado do Pará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e80491110578-e80491110578, 2020.

DALLA VECCHIA, F.; ROCCA, N. La; MORO, I.; FAVERI, S. De; ANDREOLI, C., RASCIO, N. Danos morfogênicos, ultraestruturais e fisiológicos sofridos por folhas submersas de *Elodea canadensis* expostas ao cádmio. **Ciência das plantas**, v. 168, n. 2, pág. 329-338, 2005.

DA LUZ, P. B. Profundidade de semeadura na emergência e crescimento de plântulas de *Archontophoenix cunninghamii* H. Wendl. & Drude. **MAGISTRA**, v. 27, n. 1, p. 54-62, 2015.

DA SILVA, J. de S.; DA SILVA SANTOS, S.; GOMES, F.G.G. A biotecnologia como estratégias de reversão de áreas contaminadas por resíduos sólidos. **Revista Eletrônica em**

Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 1361-1370, 2014.

DA SILVA, J.B.; ESPÍNDOLA, J. S.; ESPÍNDOLA, T. K. A. Brassinosteróides: caracterização e influência sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas. **Revista Campo Digital**, v. 16, 2021.

DA SILVA COSTA, J. R. Efeitos da toxicidade do cromo em plantas. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 13, n. 1, p. 45-46, 2020.

DA SILVA, T. A.; DE MELO, W. S.s; DA SILVA, B. K. A. Desempenho de crescimento do açaí solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) em solos com diferentes níveis de cádmio e matéria orgânica. **Scientia Naturalis**, v. 5, n. 1, 2023.

DAS MERCES J. K. R.; NOGUEIRA, G. A. S.; BRITO, A. E. A.; NASCIMENTO, V.R; NETO, C. F. O. Metabolismo do Carbono em Mudanças de Paricá *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke Submetidas a Doses Crescentes de Cádmio. **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER – PDVAGRO)**, 2018.

DAS NEVES, P APFG; LOBATO, C.C.; FERREIRA, L.R.; BRAGANÇA, V. A. N; VEIGA, A. AS, et al. Molecular modification approach on kojic acid derivatives as antioxidants related to ascorbic acid. **Journal of Molecular Modeling**, v. 26, p. 1-8, 2020.

DE ARAÚJO, Caroline Prado et al. Toxicidade de chumbo e alagamento do solo: mecanismos de sobrevivência utilizados pelas plantas. **Revista PINDORAMA**, v. 9, n. 9, p. 21-21, 2019.

DE CINQUE MARIANO, D.; OKUMURA, R. S. Aspectos agronômicos, uso pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 5, n. 2 Especial, 2012.

DE MACEDO, A.; CAMPOS, F. S.; GOIS, G. C.; DE ARAÚJO, G. G. L.; NETO, A. R.; TABOSA, J. N.; DEON, D. S.; MAGALHÃES, A. L. R. **Avaliação da emergência e crescimento inicial de plântulas de sementes de milho**. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/186102/1/Avaliacao-da-emergencia.pdf>, Acesso em: 13/11/2021.

DE MELO COGO, M. R.; LOPES, A. M.; VIELMO, P. G. Capacidade de absorção, distribuição e efeitos morfológicos causados por cádmio em plantas. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 56-56, 2020.

DE MIRANDA, E. É. V. et al. Potencial de espécies arbóreas nativas para fitorremediação sob solos de cerrado: revisão bibliográfica. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 21, n. 01, p. 377-398, 2023.

DE OLIVEIRA BASTOS, A. et al. Desenvolvimento de mudas de Paricá sob influência de diferentes substratos e níveis de sombreamentos. **Nativa**, v. 11, n. 4, p. 476-482, 2023.

- DE OLIVEIRA SOUSA, V. F.; DOS SANTOS, G. L. Elemento cromo na nutrição mineral de plantas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, 2018.
- DE OLIVEIRA, Y. M. M. et al. Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. 2017.
- DIAS, C. F.; BELOTTI, F. Análise histórica da contaminação de solo no município de Itabira/MG. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 502-515, 2021.
- DORNELES, A. O. S. et al. Plantulas de phaseolus vulgares l. Cultivadas sob concentrações crescentes de zinco. **Revista Científica Rural**, v. 19, n. 1, p. 60-69, 2017.
- DOS SANTOS SOUSA, J.; SANTOS, M. M.; SANTOS, B. N.; SANTOS, N. M. M.; PINTO L. C. Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Estratégias para redução deste Impacto Ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, p. 322-331, 2021.
- DOS SANTOS, A. B.; CONCEIÇÃO, H. E.; ALVES, J. D.; YARED, J. A.; ALBA, L. D. A.; FILHO, M. S.; SOUZA, N. D. S. Effects of Shading on Anatomical Aspects and Chlorophyll and Carotenoid Contents in Paricá. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 11, p. 1, 2022.
- DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. DE. Emergência e crescimento inicial da canafístula em diferentes substratos e métodos de superação de dormência. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 65-71, 2012.
- ESTRELA, M. A.; CHAVES, L. H. G.; SILVA, L. N. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 31, n. 1, p. 160-172, 2018.
- FAGAN, E.B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; CHALFUN JUNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia Vegetal: Reguladores Vegetais**. São Paulo: Andrei, 2015. 300p.
- FERNANDES, J.G.; CARVALHO, E. X. **Solos: estudos, potencialidades e uso**. Instituto Agrônômico de Pernambuco-IPA. (1 ed., 217p), 2021.
- FERREIRA, M. A.; LOPES, T. C.; NASCIMENTO, D. N. O. D.; CASTRO, A. P. S. Macrófitas e seu potencial fitorremediativo em estações de tratamento de esgoto: uma revisão bibliográfica. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 2, pág. e13711225457-e13711225457, 2022.
- FERREIRA, N. K. F.; LIMA, C. F.; AZEVEDO, E. B. M.; MARINHO, A. F.; ARAÚJO, F. O.; AZEVEDO, F. F. M., et al. Disponibilidade de metais pesados e sua correlação com a matéria orgânica do solo em áreas produtoras de hortaliças na Região Metropolitana de Belém/Pa/Availability of heavy metals and their correlation with a soil organic material in vegetable producing areas in the Metropolitan Region of Belém/Pa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 109022-109032, 2021.
- FRANCO, M. H.R.; FRANÇA, A.C.; ALBUQUERQUE, M. T.; SCHIAVON, N. C.; VARGAS, G. N. Fitorremediação de solos contaminados com picloram por Urochloa brizantha. **Pesquisa**

Agropecuária Tropical, vol. 44, núm. 4, outubro-diciembre, 2014, pp. 460-467. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Goiânia, Brasil

FREITAS, D. A.; ALVARENGA, A. C.; DURÃES, A. F. S. Potencial de fitorremediação da espécie arbórea *Myracrodruon urundeuva* em solos contaminados por zinco. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 5, p. 1768-1775, 2019.

FREITAS, D. A.; SOUSA, P. I.; COUTINHO, M. N.; ALVARENGA, A. C. Efeito dos metais pesados cobre e cromo no solo: germinação e desenvolvimento inicial de *Myracrodruon urundeuva*. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 1, p. 162-171, 2020.

GAMA, R. V. et al. Viabilidade econômica de uma monocultura de paricá. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1660-1666, 2020.

GILBERTI, L. H. **Potencial para o uso da espécie nativa, *Baccharis dracunculifolia* DC (asteraceae) na fitorremediação de áreas contaminadas por arsênio**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GONÇALVES, J. M.; DA SILVA FERREIRA, L. B. Germinação e crescimento inicial do trigo sob doses de fósforo associadas à contaminação por cromo. **Revista Ambientale**, v. 16, n. 1, p. 43-50, 2024.

GONÇALVES, R. G. M. et al. Fatores de transferência de metais pesados do solo para plantas de couve manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*) cultivadas na microbacia do rio Jacó, Petrópolis-RJ. 2019.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; COSTA, E. M. T.; SANTOS – MOURA, S. S.; SILVA, R. S. et al. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) AC Smith. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 859-866, 2013.

HAVIR, E.; McHALE, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalases in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, p. 450-455, 1987.

JAN, S.; NOMAN, A.; KAYA, C.; MAOMÉ, A.; Nasser, A. M.; PARVAIZ, A. 24-Epibrassinolida Alivia os Efeitos Prejudiciais da Toxicidade de Cr (VI) em Plantas de Tomate: Insights sobre Crescimento, Atributos Físio-Bioquímicos, Atividade Antioxidante e Regulação dos Ciclos de Ascorbato-Glutationa e Glioxalase. **J Plant Growth Regul**, 39, 1587–1604 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10169-2>.

KABI, S.K.; DHAL, N.K.; KUMAR, M.; ROUT, N.C.; MEHER, K.; PATTANAIK, D.K. Phytoremediation of chromium through plant-soil-microbe interaction: a review. **Jr. of Industrial Pollution Control**, 37(10) (2021) pp 1-7. 202.

KRANNER, I.; COLVILLE, L. Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, n. 1, p. 93-105, 2011.

LARRÉ, C. F.; MARINI, P.; LEIVAS MORAES, C; DO AMARANTE, L; MUNT DE MORAES, D. Influência do 24-epibrassinolídeo na tolerância ao estresse salino em plântulas de arroz. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 67-76, 2014.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. **Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1-64, 2007.

LUNKES, A. M. Z.; MANTOVANI, N. C.; SORIANI, H. H.; JUNIOR, F. S. R. Crescimento e tolerância de mudas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. cultivadas em solo contaminado com cobre. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 1948-1963, 2023.

MAIA NETO, B. et al. **24-Epibrassinolídeo como mitigador no estresse oxidativo na emergência de plântulas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) submetidas à diferentes concentrações de arsênio**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Aplicada a Agropecuária) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

MAHAR, A.; WANG, P.; ALI, A.; AWASTHI, M.K.; LAHORI, A. H.; et al. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 126, p. 111-121, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba: **POTAFOS**. 1997. 319p.

MALDONADO, A. C. D.; WENDLING, B. Manejo de ecossistemas aquáticos contaminados por Metais pesados. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 30, n. 1, p. 21-32, 2009.

MARQUES, É. A. **Determinação do valor de prevenção para cromo em solos do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

MARTINELLI, L; BERILLI, S. S.; SILVA, L. G. F.; BERILLI, A. P. C. G.; RODRIGUES, L.; et al. Influência do Sódio e do Cromo Presentes no Lodo de Curtume sobre a Anatomia Foliar de Mudas de Café Conilon (*Coffea Canephora* Pierre). In: **Fórum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais**. 2020.

MAY, A.; SILVA, E.H.F.M; SANTOS, M.S.; VIANA, R.S.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE F. M.R. Use of biomass sorg hum for the bioremediation of heavy metal-contaminated environments. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e95996770-e95996770, 2020.

MELLA, B. **Remoção de cromo de banhos residuais de curtimento através de precipitação química e eletrocoagulação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MIRANDA, T. G. et al. Toxic effects of Cr, Cu, Se, Cd, Hg and Pb ions on the environment and human health: a review: Efeitos tóxicos dos íons Cr, Cu, Se, Cd, Hg e Pb ao ambiente e à saúde humana: uma revisão. **Concilium**, v. 23, n. 16, p. 307-326, 2023.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in plant science**, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MONTEIRO, G. G. T N, M.; NOGUEIRA, G. A. S.; BRITO, A. E. A.; NASCIMENTO, V. R; NETO, C. F. O. Concentrações de Aminoácidos e Proteínas em Plantas de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) sob Doses Crescentes de Cádmio. **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER – PDVAGRO)**, 2018.

MOHANTY, M.; PATRA, H. K. Attenuation of chromium toxicity by bioremediation technology. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 210**, p. 1-34, 2011.

MORAES, C. L. **Alterações bioquímicas, fisiológicas e ultraestruturais em sementes e plantas de tomate expostas ao chumbo**. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

MORAES, R. C. P. **Qualidade fisiológica de sementes, crescimento e partição de assimilados em plantas de rabanete submetidas a diferentes concentrações de metais**. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

MORITA, A.K.M.; MORENO, F. N. Phytoremediation applied to urban solid waste disposal sites. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 377-384, 2022.

MOTA, L. H. S. **Crescimento e comportamento fisiológico de procedências de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, 2013.

NASCIMENTO, V.R; SOUSA, D.J.P.; TEIXEIRA, J.S.S.; LEÃO, J.J.B; MACHADO, L.C; NOGUEIRA, G. A. S.; ANDRADE, J.W.V. Nitrogen Metabolism, Carbohydrates and Sucrose in Young Plants of Paricá (*Schizolobium amazonicum*) Submitted to Different Dosages of Aluminum. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, p. 865-879, 2018.

NASCIMENTO, M.S., PINA, N.P.V., SILVA, A.S.B., GOMES, VASCONCELOS, F., BRANDÃO, G.C. et al. In vitro antiplasmodial activity and identification, using tandem LC- MS, of alkaloids from *Aspidosperma excelsum*, a plant used to treat malaria in Amazonia. **Journal of Etnopharmacology**, n. 228, p. 99 – 109. 2019 <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.09.012>.

NAWAZ, H.; ALI, A.; SALEEM, M. H.; AMEER, A.; HAFEEZ, A.; ALHARBI, K.; EZZAT, A.; KHAN, A.; JAMIL, M.; FARID, G. Eficácia comparativa da fitorremediação assistida por EDTA e ácido cítrico de solo contaminado com Ni, usando canola (*Brassica napus*). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 82, 2022. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.261785>.

NETO, C. O. et al. Antioxidant enzymes activity in the *Elaeis guineensis* Jacq. submitted to drought. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 8, p. 245, 2018.

NOGUEIRA, G. A. S. **Trocas gasosas, crescimento e comportamento bioquímico em plantas jovens de Paricá (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex Ducke) em diferentes concentrações de cádmio.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.

NOGUEIRA, G. A. S.; BRITO, A. E. A.; NASCIMENTO, V. R.; ALBUQUERQUE, G. D. P.; BOTELHO, A. S.; 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**, v. 11, n. 8, p. 217, 2019. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n8p217>.

NOGUEIRA, G. A.; BRITO, A. E. A.; RESENDE, V. N.; ALBUQUERQUE, G. D. P.; DO AMATANTES, C. B.; DE OLIVEIRA, J. T.; SILVA, P. A.; DE OLIVEIRA NETO, C. F. Nitrogen and Carbon Metabolism Evaluation in Paricá Plants Subjected to Different Cadmium Concentrations. **Bioscience Journal**, v. 38, 2022.

OLIVEIRA, L. H. S.; SOUZA, C. M.; PEDRO, J. M. Fitorremediação utilizando diferentes concentrações de acetato de chumbo Pb (ch₃coo) 2.3 h₂o por *Canavalia ensiformis* (feijão de porco). **Revista Hipótese**, v. 3, n. 4, p. 171-191, 2017.

OLIVEIRA, T. C. R. **Fitorremediação de solos contaminados com metais pesados utilizando culturas energéticas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) Universidade do Minho, 2022.

PAIVA, A. P. **Selênio como atenuador do efeito do cromo sobre a germinação, crescimento e metabolismo do carbono e nitrogênio em plântulas de *Schizolobium parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

PIRES, M. F. **Comportamento fisiológico, anatômico e citométrico de *Panicum aquaticum* Poir. expostos a diferentes metais pesados.** Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

POMBO, L. C. A. Sorção de cádmio em solos do estado do Rio Grande do Sul. R. **Bras. Ci. Solo**, v. 19, p. 19-24, 1995.

PILON-SMITS, E. Fitorremediação. **Anu. Rev. Planta Biol.**, v. 56, pág. 15-39, 2005.

RAZA, A.; TABASSUM, J.; ZAHID, Z.; CHARAGH, S.; BASHIR, S.; BARMUKH, R.; KHAN, R. S. A.; JUNIOR, F. B.; ZHANG, C.; CHEN, H.; ZHUANG, W.; VARSHNEY, R. K. Advances in “omics” approaches for improving toxic metals/metalloids tolerance in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p.

REZANIA, S. TAIB, S. M.; DIN, M. F. M; DAHALAN, F. A.; KAMYAB, H. Comprehensively review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. **Journal of hazardous materials**, v. 318, p. 587-599, 2016.

RIBEIRO-FILHO, M. R.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; SIMÃO, J. B. P. Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 495-507, 2001.

RIBOLD, L. B.,; GAZIOLA, S. A.; AZEVEDO, R. A.; FREITAS, S. T.; CASTRO, P. R. de C. 24-Epibrassinolide mechanisms regulating blossom-end rot development in tomato fruit. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 3, p. 812-823, 2019.

ROMÃO, M.V.V., MANSANO, V.F. 2020. **Schizolobium in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB23142>.

ROSÁRIO, F. S. **Eficiência do sistema antioxidante em plantas jovens de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) submetidas à diferentes doses de níquel**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

SAGARDOY, R.; MORALES, F.; PEZ-MILLA, A.-F. LO; ABADI, N, A. A; ABADI, A, J. Efeitos da toxicidade do zinco em plantas de beterraba sacarina (*Beta vulgaris* L.) cultivadas em hidroponia. **Biologia Vegetal**, v. 3, pág. 339-350, 2009.

SANTOS, G. A. **Crescimento e respostas antioxidantes de macrófitas aquáticas submetidas ao arsênio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SANTOS, G.C.G.; RODELLA, A. A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizastes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 793-804, 2007.

SARAIVA, M. P. **24-Epibrassinolide induces protection against nickel excess in soybean plants**. Thesis (Doctor Scientiae degree in Agronomy) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

SASSO, V. M. **Potencial fitorremediador para cromo de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos**. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

SENEVIRATNE, M.; RAJAKARUNA, N.; RIZWAN, M.; MADAWALA, H. M. S. P.; SIK, Yong, et al. Correction to: Heavy metal-induced oxidative stress on seed germination and seedling development: A critical review. **Environmental geochemistry and health**, v. 41, n. 3, p. 1635-1635, 2019.

SEREGIN, I. V.; SHPIGUN, L. K.; IVANOV, V. B. Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. **Russian Journal of Plant Physiology**, New York, v.51, n.4, p.525-533, 2004.

SETHY, S. K.; GHOSH, S. Effect of heavy metals on germination of seeds. **Journal of natural**

science, biology, and medicine, v. 4, n. 2, p. 272, 2013.

SILVA, T. J. **Fitorremediação em escala piloto: proposta para recuperação de solos contaminados com cobre e zinco**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2016.

SILVA, A. R.; SALES, A. Crescimento e produção de paricá em diferentes idades e sistemas de cultivo. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 1, p. 231-235, 2018.

SILVA, T.J.; HANSTED, F.; TONELLO, P.S.; GOVEIA, D. Fitorremediação de solos contaminados com metais: Panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 1, p. 18-34, 2019.

SILVA, K. J. S.; LIMA, V. D. C. V. S.; CINQUE, M. D.; EBLING, A. A.; VIEIRA, A. L. M.; OKUMURA, R. S. Monitoramento de plantas de paricá em área em processo de restauração florestal. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2022.

SILVEIRA, J. A. G et al. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**, v. 1, p. 161-18, 2010.

SOARES, R.; MONTEIRO, M. I. C; CARNEIRO, M. C. **Análise de especiação de cromo usando método espectrofotométrico e análise multicomponente**. 2007. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/186>, Acesso em: 25/07/2021.

SOARES, T. F. S. N. **Brassinosteróides na superação do estresse causado por chumbo em sementes de *Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2019.

SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI, C. Y.; DEUS, W. B. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95-106, 2018. <https://doi.org/10.18571/acbm.189>.

SOUZA, J. S.; SANTOS, M. M.; SANTOS, B. N.; SANTOS, N. M. M.; PINTO, L. Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Estratégias para redução deste Impacto Ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.1, p. 322-331, 2021.

SHAHID, M.; POURRUT, B.; DUMAT, C.; NADEEM, M.; ASLAM, M.; PINELLI, E. Heavy-metal-induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants. **Rev Environ Contam Toxicol**. 2014;232:1-44. doi: 10.1007/978-3-319-06746-9_1. PMID: 24984833.

SHIMIZU, E. S. C.; PINHEIRO, H. A.; COSTA, M. A; FILHO, B. G. dos S. Aspectos fisiológicos da germinação e da qualidade de plântulas de *Schizolobium amazonicum* em resposta à escarificação das sementes em lixa e água quente. **Revista Árvore**, v. 35, p. 791-800, 2011.

TAVARES, S.R.L; OLIVEIRA, S. A.; SALGADO, C. M. Avaliação de espécies vegetais na

fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Holos**, v. 5, p. 80-97, 2013.

VARDHAN, K. H.; KUMAR, P. S.; PANDA, R. C. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. **Journal of Molecular Liquids**, v. 290, p. 111197, 2019.

VARMA, S.et al. Heavy metals stress and defense strategies in plants: An overview. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 10, n. 1, p. 608-614, 2021.

VENEGAS-RIOSECO, J.; GINOCCHIO, R., ORTIZ-CALDERÓN, C. Increase in phytoextraction potential by genome editing and transformation: A review. **Plants**, v. 11, n. 1, pág. 86, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants11010086>.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H. Assessment of heavy metal contamination in blue crab specimens. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 779-785, 2007.

YADAV, V. et al. Modificações estruturais de órgãos e tecidos vegetais por metais e metalóides no meio ambiente: uma revisão. **Fisiologia e Bioquímica Vegetal**, v. 159, p. 100-112, 2021.

YAMASHITA, OM et al. Fatores ambientais sobre a germinação de *Emilia sonchifolia*. **Planta daninha**, v. 27, pág. 673-681, 2009.

YARED, J. A. G. Uso comercial de espécies nativas: a experiência com o Paricá. **Revista Opiniões, Ribeirão Preto, Ed**, 2007.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 5, p. 409-430, 2009.b.

ZENG, L.et al. Determinação quantitativa de informações auxiliares para mapeamento de metais pesados no solo e avaliação de risco de contaminação do solo. **Geoquímica Aplicada**, v. 130, pág. 104964, 2021.

3 CAPÍTULOS

3.1 CAPÍTULO I

Título: A bibliographic review on Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) and its relationship with the phytoremediation of environments contaminated by heavy metals

Artigo publicado na Revista: Contribuciones a Las Ciencias Sociales (CLCS)

A bibliographic review on Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) and its relationship with the phytoremediation of environments contaminated by heavy metals

Uma revisão bibliográfica sobre Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) e sua relação com a fitorremediação de ambientes contaminados por metais pesados

DOI: 10.55905/revconv.16n.7-178

Recebimento dos originais: 26/06/2023

Aceitação para publicação: 24/07/2023

Alessandra dos Santos Matni Bastos

Doctorate Student in Biodiversity and Biotechnology

Institution: Universidade Federal do Pará

Address: Belém – PA, Brasil

E-mail: aematnibastos@gmail.com

Catarina Miranda Nascimento

Graduated in Forest Engineering

Institution: Universidade Federal Rural da Amazônia

Address: Belém – PA, Brasil

E-mail: mirandacaaa@gmail.com

Lays da Silva Gomes

Graduated in Agronomy

Institution: Universidade Federal Rural da Amazônia do Pará

Address: Belém – PA, Brasil

E-mail: layssilva801@gmail.com

Lilian Tatiana Costa Barros

Graduate Student in Forestry Engineering

Institution: Universidade Federal Rural da Amazônia

Address: Belém – PA, Brasil

E-mail: tatianalilian21@gmail.com

Anne Cristina Barbosa Alves

Graduate Student in Forestry Engineering

Institution: Universidade Federal Rural da Amazônia

Address: Belém – PA, Brasil

E-mail: annecristinab@gmail.com

Daniele Monteiro Ribeiro

Graduate Student in Agronomy

Institution: Universidade Federal Rural da Amazônia

Address: Belém – PA, Brasil

E-mail: danimonteiroq@gmail.com

Glauco André dos Santos Nogueira

PhD in Forest Sciences

Institution: Universidade Federal Rural da Amazônia

Address: Belém – PA, Brasil

E-mail: glauand@yahoo.com.br

Cândido Ferreira de Oliveira Neto

PhD in Agrarian Sciences

Institution: Universidade Federal Rural da Amazônia

Address: Belém – PA, Brasil

E-mail: candidooliveiraneto@gmail.com

ABSTRACT

Phytoremediation is a technique that uses plants to increase dispersion or stabilize pollution in the environment, and acts by decomposing and absorbing heavy metals by the rhizosphere. Being propitiated by the low cost, ease of implantation, good public acceptance and, because it is not invasive, it can be applied *in situ*. Thus, the objective of this work was to identify studies on the phytoremediation of heavy metals with the species *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Paricá) to verify its effective collaboration in minimizing damage caused to nature. The research was developed based on literature reviews to verify if the Paricá plant can be used in areas that require extraction, degradation, and containment or immobilization of contaminants. With this research, it is possible to investigate the need for more studies that can apply phytoremediation with this type of plant in anthropized places.

Keywords: phytoremediation, paricá, environment, contamination.

RESUMO

A fitorremediação é uma técnica que utiliza as plantas para aumentar a dispersão ou estabilizar a poluição no meio ambiente, age decompondo e absorvendo metais pesados pela rizosfera. Sendo propícia pelo baixo custo, facilidade de implantação, boa aceitação pública e, por não ser invasiva, pode ser aplicada *in situ*. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar estudos sobre fitorremediação de metais pesados com a espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Paricá) para verificarmos a sua efetiva colaboração na minimização de danos causados à natureza. A pesquisa foi desenvolvida com base em revisões bibliográficas para verificar se a planta Paricá pode ser utilizada em áreas que requerem extração, degradação e contenção ou imobilização de contaminantes. Com esta pesquisa é possível investigar a necessidade de mais trabalhos que possam aplicar a fitorremediação com este tipo de planta em locais antropizados.

Palavras-chave: fitorremediação, paricá, meio ambiente, contaminação.

1 INTRODUCTION

Terrestrial biodiversity has undergone significant changes in the twenty-first century, causing great concern among researchers in the area. The impacts and losses are many for our Biomes and living beings, caused by advances and technological innovations, which is the improvement in processes and products, through investment in technology, which has generated risk to human health and the quality of our ecosystems, because it aims at "progress" to the detriment of planning.

In Brazil, in recent decades, studies such as those by Inácio et al. (2014), carried out in industrial and commercial areas, have signaled the existence of environmental impacts, since these segments are responsible for the production, storage, and disposal of substances harmful to the environment, such as heavy metals. These are found free or associated with other elements in nature almost always in small concentrations, and are of human interest, as they are applied in the manufacture of various products and objects marketed that bring benefits to society.

As we have realized, it is human needs that have driven the industry to appropriate more and more natural resources. In relation to socio-environmental issues, the problem of our society, reveals a mode of production without sustainability. It is a model that aims at profit and does not consider the consequences and is based on continuous industrial production and mass consumption. Therefore, serious environmental impacts can occur, such as the improper disposal of toxic waste, which is also composed of heavy metals.

Due to the critical context of the relationship between man and nature, considering that heavy metals have characteristics of reacting with other chemical substances and because they cannot be modified or destroyed (bioaccumulative), appropriate methods are sought to mitigate environmental effects. Thus, phytoremediation is a bioremediation technique that emerged to mitigate environmental problems, using plant metabolism to extract, degrade, contain, or immobilize pollutants.

In Brazil, studies have been conducted to treat soils contaminated with herbicides through phytoremediation (Galon et al., 2017, Ferreira et al., 2021, Vasconcelo et al., 2020). In these, it was found that there is a diversity of plants capable of acting in this process, among them ornamental specimens, macrophytes, woody trees, agricultural crops, and grasses (Kaushal et al., 2021 apud Bergamo, Daquila, and Conte, 2022).

The phytoremediation technique can be applied in accidents such as the one that occurred in Brumadinho, Minas Gerais, after the rupture of the dam of the Feijão stream mine and others such as Fundão, in Mariana, which occurred in Brazil, since some plant species have the capacity of hyperaccumulation. Plants that remove, degrade or isolate contaminants are economically viable, as they are not expensive and are a natural method (Ferreira et al., 2022).

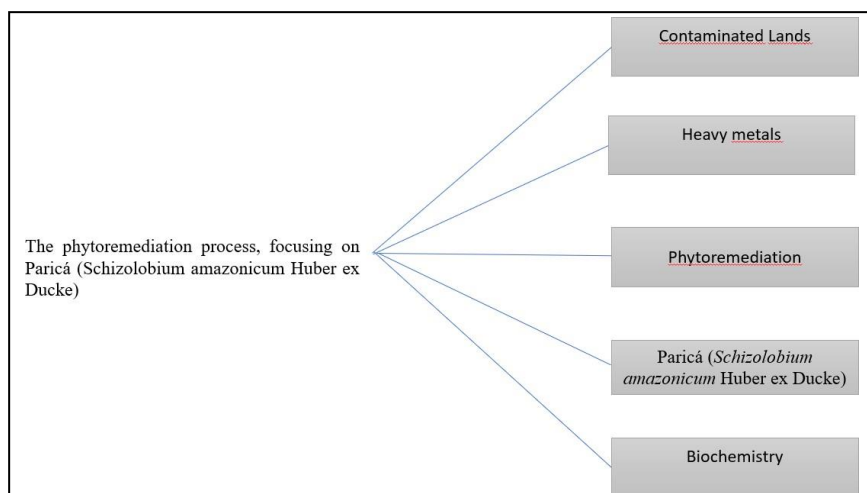
Thus, it is essential that remediation and/or isolation measures capable of protecting water resources and soils are studied and adopted to mitigate environmental impacts (Moritta and Moreno, 2021). Therefore, the objective of this work is to describe studies that were carried out on the Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) and its relationship with phytoremediation, to minimize possible damage caused to the environment through heavy metals.

2 METHODOLOGY

In the search for references, searches were used on platforms such as Scielo, Pubmed, and Google Scholar. For the selection of the descriptors used, we used the following terms: contaminated soils, heavy metals, phytoremediation, Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), and Biochemistry (Figure 01) in the title or throughout the text and have been published, preferably between the years 2017 and 2022, in Portuguese or English. Next, the researches were read, which were analyzed and discussed later.

The literature review was the narrative, which consists of the systematized way of reviewing the works that exist on the process of phytoremediation of heavy metals, focusing on Paricá. This review model is important to seek updates on a particular subject giving the reviewer theoretical support in a short period. It can also be useful in describing the state of the art of a specific subject, from a theoretical or contextual point of view (Tessmer et al., 2020).

Figure 01: Systematization adopted for the preparation of research.



Source: Authors (2023).

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 SOILS CONTAMINATED BY HEAVY METALS

Soils are reservoirs of heavy metals important for terrestrial ecosystems. Consequently, understanding the behavior of these elements in the pedosphere is essential to maintain the quality of the environment (Fernandes and Carvalho, 2021).

With this, many studies on environmental contamination, aim to observe the effects of heavy metals and metalloids in soils, plants, animals, and humans. In contaminated soil these substances accumulate in plants, making them inappropriate for human and animal consumption, and are harmful to health and development (Costa et al., 2021).

It is known that activities that use agrochemicals in large quantities and the disposal of urban and industrial waste irregularly, change the levels of heavy metals that exist naturally in the environment, causing soil contamination (Freitas et al., 2020).

Thus, in recent years many remediation technologies (phytotechnologies), including physical, chemical, biological, and combined methods, have been proposed and adopted to mitigate soil contamination. In phytoextraction technology, selecting the appropriate plant species is one of the most important considerations (Venegas-Rioseco, Ginóquio, and Ortiz-Calderón, 2022).

Technological advances, and some changes in the industrial sector, cause impacts on surface

and groundwater, soils, and air. However, there are certain species of plants, known as hyperaccumulators that have specific mechanisms to adapt in highly polluted environments, being used to recover and remediate affected areas, this is a biological technique called phytoremediation for contaminated soils (Nawaz et al., 2022).

3.2 EFFECTS OF HEAVY METALS ON SOIL

Heavy metals are naturally present in the soil, meaning they pose no risk to the environment. However, the technological increase and urbanization of recent years have caused a gradual excess of discharge of chemical elements, potentially toxic, which can cause environmental problems of great proportions such as the loss of vegetation, surface water, and contaminated aquifers and direct action on animals (Cogo, Lopes, and Vielmo 2020).

Through industrial, agricultural, and urban processes arise waste, material that has heavy metals in its composition, which is disposed of inappropriately and stays in the environment for decades. Unlike biodegradable pollutants, recalcitrant substances (such as heavy metals) need to be removed, as at high rates they are toxic to living things (Araujo et al., 2019).

For this reason, contamination by heavy metals is a topic of great relevance and brings dangers to living beings. Thus, remedying or minimizing these risks in the environment is important to understand these pollutants and their effects on nature and organisms, which can be indicators of this environmental degradation (Souza, Morassuti, and Deus, 2018).

Thus, in order to remedy soils contaminated by heavy metals, various techniques such as those that depend on the contaminated matrix, the nature of the contaminant, the level of contamination, and the availability of resources have been presented over the years to reduce the levels of these pollutants at environmentally safe levels.

Contamination of areas by heavy metals is common, as a society depends on greater demands for fossil fuels, pesticides, and fertilizers. Traditional methods of recovering these areas are costly. Therefore, phytoremediation becomes a solution to eliminate these contaminants from the soil, through the collection of cultivated plants that extract the elements from the soil in the affected area (May et al., 2020).

To try to reverse the picture of environmental degradation, some studies point out that the phytoremediation technique that uses plants to treat soils contaminated with heavy metals is a promising and natural alternative for the environment because, in addition to recovering the contaminated area, it promotes the revegetation of the site. This technique is also considered low-cost and easy to perform.

3.3 PHYTOREMEDIATION OF ENVIRONMENTS CONTAMINATED BY HEAVY METALS

Phytoremediation is a biological technique that consists of the removal of heavy metals from contaminated soils. Its use is linked to the ability that certain plants must absorb these chemical elements, making them less harmful. It is a sustainable and economically viable alternative to traditional soil decontamination methods.

Knowledge about phytoremediation emerged from studies on contaminated soils and water. With this technique, we get to know better the species of plants that have the capacity for remediation. The phytoremediation process depends on the characteristics of the contaminant (Morita and Moreno, 2022).

In Brazil, the phytoremediation technique has gained interest and obtained important advances in the field of research. Some studies have applied the technique to treat soils contaminated with herbicides and have observed that various types of plants can be used for this purpose, such as ornamental specimens, macrophytes, woody trees, agricultural crops, and grasses (Bergamo, Daquila, and Conte, 2022).

Although phytoremediation studies use plants with an annual cycle, it is worth highlighting the potential of forest species in programs of this nature and that also, the depth of the root is important to allow the plant to meet the contaminant to clean it later. The different processes involved in the technique rely on the morpho-physiological characteristics of the species and differ from species to species (Silva et al., 2019).

In contaminated soils, phytoremediation may be more conducive to plants that combine remedial capacity with agronomically desirable characteristics, such as rapid growth, easy control, propagation, or eradication. It is a relevant technology for the national reality, as it combines the economic benefits already listed with social and environmental benefits, such as the reduction of interference in ecosystems, the prevention of soil erosion, and the leaching of soil leaching pollutants (May et al., 2020).

3.4 PARICÁ (*SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM* HUBER EX DUCKE)

The Paricá, belonging to the family Fabaceae (Leguminosae), subfamily Caesalpinoideae, species *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Barneby, 1996 Apud Bardivieso et al. 2019). It is popularly known as bandarra or guapuruvu-da-amazônia is a forest species, present throughout the Amazon region, measuring from 20 to 30 m in height and up to one meter in diameter. It can be used in commercial crops, agroforestry systems, and reforestation of degraded

areas, due to its rapid growth and suitable raw material for obtaining cellulose, it has high commercial value (Monteiro et al., 2018 Apud Melo, 2017).

In the State of Pará, the Paricá has a good performance in silvicultural systems. However, it may present variations in the increment in height and diameter, depending on the management adopted (Silva and Sales, 2018). The plantations for its commercialization are concentrated, mainly in the region of Paragominas (Carvalho et al., 2013).

The species *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke is important for reforestation in the Amazon. This can be demonstrated through the growth of the production of forest species for the recovery of degraded areas and commercial plantations, requiring the use of seedlings with high quality to occur in the forest stand. In this process, it is necessary to evaluate the effects of environmental factors such as light on the behavior of species of different successional groups. It is also important to study the anatomical and physiological parameters of the seedlings of this species under shading that is not yet fully understood (Santos et al., 2022).

The Paricá presents rapid growth, the wood has a high price in the market and is in an intense process of cultivation by the loggers, and can be used to recover immense areas of degraded pastures, as it is possible to analyze in Silva et al. (2022), in this study the results showed a significant development of the species, considered promising for use in the forest restoration process in the Amazon Biome.

3.5 BIOCHEMISTRY

Near industrial complexes and mining areas, the soils are prone to high concentrations of heavy metals, which can cause contamination of agricultural foods, affect the health of the population, and harm the environment by bioaccumulation. Due to the easy flow of metals through the environment, the practice of agriculture can lead to contamination and entry of these into the food chain (Sousa et al., 2021).

Some metals such as Arsenic (As), Cadmium (Cd), Mercury (Hg), Lead (Pb), and Chromium (Cr) even in low concentrations are toxic, bringing problems to agriculture and consequently to human health.

Cadmium is a metal used by many industries and has great soil-plant mobility, which can mess with the physiological and growth parameters of plants. One species that can be affected by cadmium is the Paricá, a tree native to the Amazon region with great social, economic, and environmental potential.

When studying Paricá, Monteiro et al. (2018) under the effect of cadmium, found that the concentrations of this element can be different in their leaf and root organs and that also the

absorption of nitrogen can be affected. However, osmoregulatory substances, such as proline, are a strategy to reduce the negative effects of this element. It is possible that the bioaccumulation of the metal is in the root system, but studying the genetic characteristics may be important to understand how the plant resists cadmium in its tissues.

In another research conducted by Mercedes et al. (2018), the behavior of Paricá was also tested before the effect of different doses of cadmium and corroborates with the results previously described, showing that the Paricá absorbed the metal in the roots, reducing its translocation to the shoot, which contributed to its high tolerance.

Nogueira et al. (2019) in their results obtained data on how cadmium in high concentration can affect several variables of Paricá such as photosynthesis, stomatal conductance, and transpiration. In the plant, the intrinsic efficiency of water use (EiUA) was the variable most affected by water stress, suffering from high concentrations of cadmium in environments with little water. This metal decreased the height, diameter, and number of leaves and leaflets, reaching the synthesis of photoassimilates. The root was the structure with the highest accumulation, but the metal was also found in the shoot, which suggests that plants may have a phytoextractive characteristic in relation to this phytotoxic element.

These studies are important for monitoring cadmium levels in agricultural and industrial environments, to reduce the bad effects of this metal on plants and, consequently, on food production.

The research of Nascimento et al (2018) differently from the others described in this work, made an analysis of the biochemical variables of Paricá in contact with various concentrations of aluminum. Where they observed that in the dosages and time studied there was sensitivity to the toxicity of the element and that the dose of $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ of aluminum chloride hexahydrate 95% ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) significantly interfered with the biochemical variables. Despite this, there was the resistance of the plant in the 23 days in which it was submitted to aluminum stress, in addition to presenting defense mechanisms that prolonged its physiological activities during exposure to stress.

The research carried out with Paricá is important, since this plant is widely used in the timber industry. With this research it is possible to improve techniques of cultivation and management of plants, aiming at their protection against the toxicity of metals.

4 FINAL CONSIDERATIONS

Phytoremediation is a low-cost technique that has been widely used in environmental contamination processes, but it depends on the choice of plant that among other characteristics must

have accelerated growth, pollution tolerance, rapid biomass production, high nutrient absorption capacity, high ecological competitiveness, high translocation rate, accumulate large amounts of reserve substances, be adaptable to climate and soil, have high transpiration capacity and be easily acquired. Thus, it is concluded that although the species *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Paricá) has rapid growth, and that it is promising for use in the forest restoration process in the Amazon Biome. More research is still needed to complement the few existing studies.

ACKNOWLEDGMENTS

For Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the scholarship awarded.

REFERENCES

- Araújo, L. A., Lupepsa, L., Magatão, A. C., de Oliveira, J. A. D. S., & Conte, H. (2021). Processos Biotecnológicos Na Remoção De Metais Pesados. *Saber Científico (1982-792X)*, 8(2), 135-145.
- Bardivieso, E. M., Batista, T. B., da Silva Binotti, F. F., Costa, E., da SILVA, T. A., Lanna, N. D. B. L., & Petronilio, A.C.P (2020). Tratamentos pré-germinativos de sementes de paricá (*Schizolobium amazonicum*). *Bioscience Journal*, 36, 1090-1098.
- Bergamo, R. H. S., Daquila, B. V., & Conte, H. (2022). Phytoremediation technique on the rehabilitation of contaminated areas and the application of *Zantedeschia aethiopica* (L.) in this process: a narrative review. *Research, Society and Development*, 11(15), e155111536959. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.36959>.
- Carvalho, M., Machado, R. C. R., Ahnert, D., Sodré, G. A., & do Sacramento, C. K. (2013). Evaluation of composition and mineral distribution in foliar components of paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). *Agrotrópica*, 25(1), 53-60.
- Cogo, M. R. D. M., Lopes, A. M. & Vielmo, P. G. (2020). Capacidade de absorção, distribuição e efeitos morfológicos causados por cádmio em plantas. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 1 (1), 56.
- Costa, S., Gonçalves, V. M., Gomes, V., Azevedo, A. A. R., & Uliana, M. (2021). Assessment of chromium bio-accumulation potential in sunflowers. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, 14(2).
- Fernandes, J.G. & Carvalho, E. X (2021). Solos: estudos, potencialidades e uso. (1 ed, 217p) Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA.
- Ferreira, M. A., Lopes, T. C., Nascimento, D. N. O. D., & Castro, A. P. S. (2022). Macrófitas e seu potencial fitorremediativo em estações de tratamento de esgoto: uma revisão bibliográfica. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 11 (2).

Freitas, D. A., Sousa, P. I., Coutinho, M. N., & Alvarenga, A. C. (2020). Efeito dos metais pesados cobre e cromo no solo: germinação e desenvolvimento inicial de *Myracrodruon urundeuva*. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(1), 162-171.

Inácio, M., Neves, O., Pereira, V., & Ferreira da Silva, E. (2014). Levels of selected potential harmful elements (PHEs) in soils and vegetables used in diet of the population living in the surroundings of the Estarreja Chemical Complex (Portugal). *Applied Geochemistry*, 44, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.07.017>.

May, A., da Silva, E. H. F. M., dos Santos, M. D. S., da Silva Viana, R., dos Santos, F. C., & de Albuquerque Filho, M. R. (2020). Uso do sorgo biomassa para biorremediação de ambientes contaminados com metais pesados. Use of biomass sorghum for the bioremediation of heavy metal-contaminated environments. *Research, Society and Development*, 9(9), e95996770.

Mercês, J. K. R., dos Santos Nogueira, G. A., de Araújo Brito, A. E., do Nascimento, V. R., & de Oliveira Neto, C. F. Metabolismo do Carbono em Mudanças de Paricá *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke Submetidas a Doses Crescentes de Cádmio. Carbon Metabolism in Seedlings of Paricá *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke Submitted to INcreased Dosages of Cadmium.

Monteiro, G. G. T N, M., Nogueira, G. A. dos S, N., Brito, A. E. de A. B., Nascimento, V. R., & Neto, C. F de O. (2018). Concentrações de Aminoácidos e Proteínas em Plantas de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) sob Doses Crescentes de Cádmio. <https://doi.org/10.31692/2526-7701.iiicointerpdvagro.2018.00389>.

Morita, A. K. M., & Moreno, F. N. (2022). Phytoremediation applied to urban solid waste disposal sites. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(2), 377–384. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210105>.

Nascimento, VR, de Sousa, DJP, Teixeira, JSS, Leão, JJB, Machado, LC, dos Santos Nogueira, GA, & de Andrade Júnior, WV (2018). Metabolismo de Nitrogênio, Carboidratos e Sacarose em Plantas Jovens de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) Submetidas a Diferentes Dosagens de Alumínio. *American Journal of Plant Sciences*, 9 (4), 865-879.

Nawaz, H., Ali, A., Saleem, M. H., Ameer, A., Hafeez, A., Alharbi, K., Ezzat, A., Khan, A., Jamil, M., & Farid, G. (2022). Comparative effectiveness of EDTA and citric acid assisted phytoremediation of Ni contaminated soil by using canola (*Brassica napus*). *Brazilian Journal of Biology*, 82. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.261785>.

Nogueira, G. A. S., Brito, A. E. A., Nascimento, V. R., Albuquerque, G. D. P., Botelho, A. S., Souza, L. C., Freitas, J. M. N., Amarante, C. B., Okumura, R. S., Conceição, H. E. O., Viana, R. G., & Oliveira Neto, C. F. (2019). Physiological and Growth Responses in the (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) Seedlings Subjected to Cadmium Doses. *Journal of Agricultural Science*, 11(8), 217. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n8p217>.

Rodrigues, A. C. D., dos Santos, A. M., dos Santos, F. S., Pereira, A. C. C., & Sobrinho, N. M. (2016). Mecanismos de respostas das plantas à poluição por metais pesados: Possibilidade de uso de macrófitas para remediação de ambientes aquáticos contaminados. *Revista Virtual de Química*, 8(1), 262-276.

Santos, A. B., da Conceição, H. E., Alves, J. D., Yared, J. A., Alba, L. D. A., Filho, M. S., & Souza, N. D. S. (2022). Effects of Shading on Anatomical Aspects and Chlorophyll and Carotenoid Contents in Paricá. *Journal of Agricultural Science*, 14(11).

Silva, A. R., & Sales, A. (2018). Crescimento e produção de paricá em diferentes idades e sistemas de cultivo. *Advances in Forestry Science*, 5(1), 231-235.

Silva, TJ, Hansted, F., Tonello, PS, & Goveia, D. (2019). Fitorremediação de solos contaminados com metais: panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais. *Revista Virtual de Química*, 18-34.

Silva, K. J. S., Lima, V. D. C. V. S., de Cinque Mariano, D., Ebling, Â. A., Vieira, A. L. M., & Okumura, R. S. (2022). Monitoramento de plantas de paricá em área em processo de restauração florestal. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 15(3), 1-11.

Souza, J. S., Santos, M. M., Santos, B. N., Santos, N. M. M., & Pinto, L. (2021). Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Estratégias para redução deste Impacto Ambiental *Revista Brasileira de Geografia Física*.

Souza, A. K. R., Morassuti, C. Y., & Deus, W. B. de. (2018). Poluição do Ambiente por Metais Pesados e Utilização de Vegetais como Bioindicadores. *Acta Biomédica Brasiliensia*, 9(3), 95. <https://doi.org/10.18571/acbm.189>.

Tessmer, S., Rutz, A., Irmgard Bartschi, R., Alves, C., Portella, J., & Soares, M. (2018). Tipos de revisão de literatura: considerações das editoras do Journal of Nursing and Health Types of literature review: considerations of the editors of the Journal of Nursing and Health Tipos de revisión de la literatura: consideraciones de los editores de Journal of Nursing and Health. <https://orcid.org/0000-0002-5717-9406>.

Venegas-Rioseco, J., Ginocchio, R., & Ortiz-Calderón, C. (2022). Increase in phytoextraction potential by genome editing and transformation: A review. In *Plants* (Vol. 11, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/plants11010086>.

3.2 CAPÍTULO II

Título: AVALIAÇÃO DE EFEITOS DE CROMO E 24-EPIBRASSINOLÍDEO EM PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ)

Artigo publicado na Revista: Cuadernos De Educación Y Desarrollo

**AVALIAÇÃO DE EFEITOS DE CROMO E 24-EPIBRASSINOLÍDEO EM
PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DE *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex
Ducke) Barneby (PARICÁ)**

**EVALUATION OF EFFECTS OF CHROMIUM AND 24-EPIBRASSINOLIDE ON
BIOMETRIC PARAMETERS OF *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex
Ducke) Barneby (PARICÁ)**

**Evaluación de los efectos del cromo Y 24-Epibrassinolida sobre parámetros biométricos de
Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ)**

Recebimento dos originais: 05/03/2024

Aceitação para publicação: 10/06/2024

Alessandra dos Santos Matni Bastos

Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: aematnibastos@gmail.com

Celular: (91)98312-5665

Anne Cristina Barbosa Alves

Graduanda em Engenharia Florestal

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: annecristinab@gmail.com

Celular: (91)98328-7328

Lilian Tatiana Costa Barros

Graduanda em Engenharia Florestal

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: tatianalilian21@gmail.com

Celular: (91)98321-5514

Lays da Silva Gomes

Graduada em Agronomia

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia do Pará

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: layssilva801@gmail.com

Celular: (91)98618-8584

Catarina Miranda Nascimento

Graduada em Engenharia Florestal

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: mirandacaaa@gmail.com

Celular: (91)98456-3506

Daniele Monteiro Ribeiro

Graduanda de Agronomia

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil
E-mail: danimonteiroq@gmail.com
Celular: (91)98126-1517

Glauco André dos Santos Nogueira

Doutor em Ciências Florestais
Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia
Endereço: Belém – PA, Brasil
E-mail: glauand@yahoo.com.br
Celular: (91)99904-4368

Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Doutor em Ciências Agrárias
Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia
Endereço: Belém – PA, Brasil
E-mail: candidooliveiraneto@gmail.com
Celular: (91)99148-7454

RESUMO

A fitorremediação é uma técnica que utiliza as plantas para aumentar a dispersão ou estabilizar a poluição no meio ambiente. Possui baixo custo, facilidade de implantação e, boa aceitação pública, por não ser invasiva. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência de cromo e 24-epibrassinolídeo (EBL) na emergência e crescimento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá), visando a utilização da espécie como aporte natural ao meio ambiente em detrimento a contaminações por metais pesados nos solos. A pesquisa foi desenvolvida na sala de crescimento de vegetais localizada no laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS) no Instituto de Ciências Agrárias (ICA), UFRA/Belém. Realizamos contagem dos dias para iniciar a emergência (DIE), e, assim avaliarmos outros parâmetros utilizados para a verificação do crescimento da planta. Dezoito dias após a semeadura as plântulas foram coletadas e submetidas a medições da base da raiz ao ápice para os dados da biometria. Realizamos também a análise das enzimas antioxidantes, Dismutase do Superóxido (SOD), Peroxidase do Ascorbato (APX) e Atividade de Catalase (CAT) para a verificação de estresse oxidativo sob a influência do cromo. Por meio dos parâmetros de crescimento, constatamos que a aplicação das diferentes dosagens de Cr e EBL não influenciaram na emergência e no crescimento de paricá, como também não interferiram no comprimento da raiz, parte área e no número de folhas do vegetal. O IVE em 11 dias⁻¹ pode ter ajudado a semente a ter menor exposição às condições adversas do meio. Estes resultados podem ser confirmados pela porcentagem de plantas anormais, em torno de 5%, como o Cr é considerado um metal tóxico, poderia ter causado efeitos deletérios as plântulas requerendo a ação atenuadora do EBL. A atividade da APX não ficou evidente, levando o paricá a buscar a ativação do mecanismo compensatório com as duas outras enzimas. A SOD e CAT agiram contra o aumento das concentrações de Cr, quando houve o incremento de EBL nas folhas. O maior aumento de Cr nas folhas de paricá caracteriza a planta com potencial para fitorremediação.

Palavras-chave: meio ambiente; solos contaminados; metais pesados; fitorremediação.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, em decorrência dos seguidos crimes ambientais envolvendo mineradoras, aumentou-se a preocupação sobre o perigo à saúde humana e animal pela exposição aos metais tóxicos (COSTA; BORGES; SOTO-BLANCO, 2020). Os metais pesados em excesso implicam em bioacumulação (permanecem no ambiente) (VARDHAN et al., 2019). Estes elementos podem contaminar ou poluir os solos, merecendo atenção, pois sua elevada permanência no solo e a alta toxicidade podem gerar problemas aos organismos vivos (FERREIRA et al., 2021).

Para atenuar os efeitos dos metais pesados ao meio ambiente surgiram técnicas como, a biorremediação que é um tratamento, onde os organismos naturais são usados para decompor substâncias perigosas, em menos tóxicas ou não tóxicas. Inclui bioacumulação, biossorção e fitorremediação é o uso natural e direto de plantas para absorver os poluentes através das raízes e translocação para a parte superior da planta (REZANIA et al., 2016).

Uma das vantagens da fitorremediação é a sua natureza permanente, com baixo custo de manutenção, proteção contra a erosão eólica e hídrica e maior estruturação dos solos. Um ponto importante para a técnica é a profundidade da raiz, pois permite que a planta entre em contato com o contaminante para limpá-lo posteriormente (SILVA et al., 2019).

A utilização de plantas que sejam capazes de minimizar os efeitos causados por metais pesados no solo, através do processo de fitorremediação são importantes para o meio ambiente. Como os estudos sobre esta técnica buscam espécies capazes de se adaptar a ambientes contaminados, a espécie florestal *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá), mostrou ser tolerante e com potencial fitorremediador para o metal pesado Cádmio (Cd) (DAS MERCES et al., 2018; NOGUEIRA, 2022).

O paricá é uma espécie florestal nativa da região Amazônica, utilizada na indústria madeireira e recomposição de áreas degradadas (NASCIMENTO et al., 2019).

Nas plantas os metais pesados induzem disfunções morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, direta ou indiretamente, causando prejuízos. A consequência mais frequentemente documentada e mais precoce da toxicidade de metais pesados nas células vegetais é a superprodução de ERO (SHAHID et al., 2014). A regulação das enzimas pertencentes ao sistema de defesa antioxidante está relacionada com a tolerância a estresses abióticos e pode garantir a proteção contra estresse oxidativo (BARBOSA, SOUZA; NASCIMENTO, 2023).

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência de cromo (Cr) e 24-epibrassinolídeo (EBL) na emergência e crescimento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, conhecido como Paricá, visando à utilização da espécie como fitorremediadora em solos contaminados com metais pesados.

2. METODOLOGIA

O experimento foi realizado na sala de crescimento de vegetais, localizada no laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS) no Instituto de Ciências Agrárias (ICA), UFRA/Campus-Belém. As sementes de *Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) foram doadas pelo laboratório de sementes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Oriental), com coordenadas 1° 26' 12,56685" S, 48° 26' 53,99356" W, localizada em Belém, Pará, Brasil.

2.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As sementes foram plantadas a 4 cm da superfície e cobertas por areia. Devido a pequena quantidade disponível, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3 x 4, com 12 tratamentos, com as chamadas plantas controle (sem cromo e brassinosteróides) e 5 repetições, totalizando 60 unidades experimentais contendo 12 sementes por repetição (MAIA NETO, 2022). Estas foram selecionadas manualmente, totalizando 720 unidades, que foram mantidas em temperatura constante de 28°C, umidade relativa do ar (UR) de 90% e fotoperíodo de 12h (ROSÁRIO, 2022). As plântulas foram cultivadas em sala de crescimento por 18 dias, sendo irrigadas quando necessário repondo a água perdida pela evapotranspiração e monitoradas de acordo com as regras e instruções para análise de sementes.

2.2 EMERGÊNCIA E ANÁLISES BIOMÉTRICAS

Foram utilizadas 12 sementes por vaso, totalizando 720 plântulas. Essas foram coletadas após o 18° dia evitando estresses como o esgotamento das reservas de nutrientes, lavadas e submetidas a medições da base da raiz ao ápice do vegetal, com auxílio de uma régua graduada em centímetros. A parte aérea foi separada da raiz, para identificação e armazenamento em sacos de papel apropriados. As amostras foram imersas em nitrogênio líquido por 2 min e levadas ao freezer para armazenamento e posterior análise da concentração de enzimas antioxidantes no Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS), na UFRA em Belém-PA.

4.3.1 Teste de emergência

A contagem dos dias para iniciar a emergência (DIE) ocorreu após a semeadura, tendo como base o número de dias da semeadura até a emergência da primeira plântula, obedecendo ao mesmo horário nos 18 dias de experimento. Avaliou-se, a Velocidade de Emergência (VE), o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e o Tempo médio de emergência (T_m).

2.3 ANÁLISES DE ENZIMAS ANTIOXIDANTES

As análises foram realizadas no laboratório do EBPS, na UFRA-Belém. As enzimas analisadas foram a Dismutase do Superóxido (SOD, EC 1.15.1.1) (GIANOPOLITIS; RIES, 1977); Peroxidase do Ascorbato (APX, EC 1.11.1.11) (NAKANO; ASADA, 1981) e Catalase (APX EC 1.11.1.11) (HAVIR; MCHALE, 1987).

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise estatística das variáveis e geração dos gráficos foi realizada através do software R-Studio, versão 1.4.1717 (R Project for Statistical Computing, RRID: SCR_001905) (RStudio, 2021).

Para identificar diferenças estatísticas entre as dosagens de cromo foi utilizado a package ExpDes.pt e a função “fat2.dic”, o qual já realiza análise de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e foi realizado o teste de homoscedasticidade pelo teste de Levene, igualmente fazendo a ANOVA e posteriormente teste Post-Hoc de Tukey, para todas as análises foi considerado o nível de significância de 5%.

Para atender aos pressupostos das análises paramétricas algumas variáveis foram transformadas pelo log: Comprimento da Raiz, SOD raiz, SOD folha, APX raiz, CAT raiz e CAT folha. Para essas variáveis transformadas, os valores das médias no teste de Tukey foram convertidas aos valores reais pelo anti-log.

Outra análise efetuada foi a regressão, os dados obtidos foram submetidos no programa “Statistical Analysis System” (SAS INSTITUTE, 2000), e o modelo da equação de regressão $Y(X_1, X_2) = B_0 + B_1X_1 + B_2X_1^2 + B_3X_2 + B_4X_2^2 + B_5X_1 \cdot X_2$ foi gerado pelo procedimento PROC Rs reg. Realizou-se o teste F e para os casos de significância ($p < 0,05$) da interação entre os níveis de cromo e doses de brassinosteróides, efetuou-se a análise de regressão polinomial (superfície de resposta). Os gráficos foram gerados pelo programa SCILAB versão 2023.1.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 INFLUÊNCIA DO CROMO E 24-EPIBRASSINOLÍDEO NA EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO DE PARICÁ

3.1.1 Influência do Cromo e 24-epibrassinolídeo na Emergência de Paricá

Após o período de exposição ao cromo e ao 24-epibrassinolídeo, verificou-se que a emergência das plântulas de paricá ocorreu no terceiro dia após a semeadura. Os dados de TME, IVE e CVE não apresentaram efeito significativo pelo teste de Tukey (Figura 1), e que pode ser evidenciado na emergência entre os tratamentos com Cr (50, 100, 150 $\mu\text{M L}^{-1}$) em relação ao controle, com as seguintes dosagens do fitormônio 20 nM ou 30 nM.

Por meio dos parâmetros VE, IVE, TME e o CVE, constatamos que a aplicação das diferentes dosagens de Cr e EBL não influenciaram na emergência e no crescimento de paricá. Como o Cr é considerado um metal tóxico poderia ter causado efeitos deletérios as plântulas requerendo a ação atenuadora do EBL, como apresentado em alguns trabalhos (SOARES (2019); SILVA (2021); MAIA NETO (2022)) para os efeitos danosos de metais pesados.

A não ocorrência de influências das dosagens de Cr no crescimento de paricá pode estar relacionado ao tegumento das sementes, que agem como uma barreira de entrada e impedem o estresse metálico antes da germinação. Esta ação evita a chegada do metal para os tecidos internos e consequentemente a contaminação do embrião (KRANNER; COLVILLE, 2011; MORAES, 2011). Outro ponto a se destacar é que talvez as quantidades de Cr aplicadas neste trabalho não foram suficientes para afetar o processo germinativo e as estruturas essenciais ao desenvolvimento de plântulas, observado também no estudo desenvolvido por Nascimento (2021) que verificou que o impacto do metal utilizado por ele sobre os processos iniciais de formação da plântula foi irrisório.

Os resultados de nossa pesquisa corroboraram com estudos de Paiva (2021) com a espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke, este também verificou que as dosagens de Cr não afetaram o processo germinativo das sementes. Estudando os efeitos de Ni em diversas concentrações sobre a espécie *L. leucocephala* Abreu (2015), verificou que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Freitas et al. (2020) em uma avaliação realizada por 30 dias após o plantio de sementes de *Myracrodruon urundeuva* com dosagens de Cr, demonstraram que o elemento químico em estudo não foi capaz de afetar o processo germinativo. Observou-se uma média de 75 % de germinação das sementes, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Semelhante ao que ocorreu em nosso trabalho de pesquisa, no estudo Larré et al., (2014),

a aplicação do 24-epibrassinolideo, foi positiva para a germinabilidade das sementes, na concentração de 0,05mg, bem como alterou consideravelmente o índice de velocidade de germinação, melhorando também o vigor delas. Os brassinosteróides adquirem cada vez mais espaço como alternativa para controlar os efeitos danosos do estresse abiótico, especialmente a forma 24-epibrassinolideo.

A porcentagem de plantas anormais foi baixa, em torno de 5%, mostrando que o cromo não causou danos ao paricá, e que o EBL não precisou agir como atenuador, conforme os resultados obtidos nos parâmetros de emergência. Vários estudos indicam que os brassinosteróides, influenciam na germinação de sementes, podem estimular o crescimento, aumentam a capacidade da planta de superar estresses, como seca, altas temperaturas, metais pesados, salino e doenças (ARORA; BHARDWAJ; KANWAR (2010); RIBOLD et al., 2019).

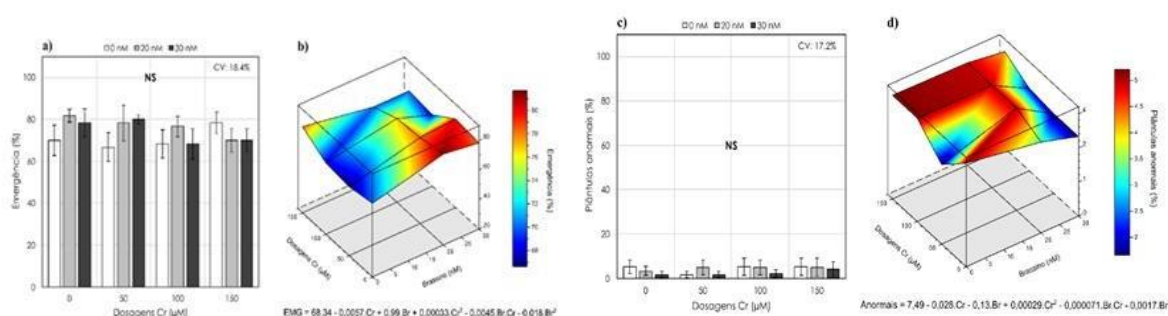


Figura 1 - Influência do 24-epibrassinolideo (0, 20 e 30 nM) na emergência e incidência de plântulas anormais de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

3.1.2 Parâmetros de Emergência de Paricá (TME, CVE e IVE)

Os dados de TME não mostraram significância estatística pelo teste de Tukey (Figura 7 a; b). Não foram significativos entre os tratamentos com Cr (50, 100, 150 µM L⁻¹) em relação ao controle (0 µM L⁻¹ de Cr), como também para a aplicação de todas as dosagens de EBL. Na análise do desenvolvimento do TME de *Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) a espécie teve a sua estabilização entre 9,5 e 10,1 dias, nas dosagens de 50 µM L⁻¹ (Cr) e 20 nM de EBL.

Os dados de CVE não mostraram significância estatística pelo teste de Tukey (Figura 7 c; d). Não foram observados efeitos significativos entre os tratamentos com Cr (50, 100, 150 µM L⁻¹) em relação ao controle, com 20 nM ou com 30 nM. O maior CVE (10,5 %) ocorreu nas aplicações de 0 µM L⁻¹ de Cr e 20 nM de EBL.

Estes resultados podem estar relacionados ao processo de escarificação das sementes, visto que por meio deste processo chegou-se à estabilização dos dias, bem próximo da pesquisa desenvolvida por Shimizu et al. (2011), onde a germinação iniciou-se a partir do 2º dia, e o pico

máximo ocorreu no 8º dia (94%), a partir do qual nenhum incremento significativo na germinação foi observado, indicando a estabilização do processo.

A escarificação mecânica evitou a morte dos tecidos, favorecendo a embebição das sementes, já que a germinação é completamente dependente da hidratação dos tecidos, o que resulta na retomada do metabolismo. Com a escarificação, as sementes, provavelmente ficaram mais permeável, o que pode ter favorecido a entrada do EBL, que é utilizado para estimular as defesas antioxidantes, como a produção de compostos como o ácido ascórbico, ou mesmo ativando as enzimas como Superóxido dismutase (SOD), Ascorbato peroxidase (APX) e Catalase (CAT), que por sua vez inativam ROS (RIBOLD et al., 2019).

Os dados de IVE não mostraram significância estatística pelo teste de Tukey (Figura 2 e; f). Não foram significativos entre os tratamentos com Cr (50, 100, 150 $\mu\text{M L}^{-1}$) em relação ao controle (0 $\mu\text{M L}^{-1}$). Na aplicação das dosagens EBL também não houve significância estatística com 20 nM ou com 30 nM e com o controle. O menor IVE (11 dias⁻¹) ocorreu em 50 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e com 0 nM de EBL. O IVE de plântulas é utilizado na observação da saúde e na identificação de dificuldades na germinação e emergência das plantas.

Os resultados apresentados neste trabalho de pesquisa mostraram que as diferentes dosagens de Cr não prejudicou o processo germinativo da *S. amazonicum*. Assim, como não houve agravos da utilização deste metal sobre a espécie, não foi necessária a ação atenuante das dosagens de EBL aplicadas. Por outro lado, em alguns estudos o EBL foi considerado como atenuador de efeitos danosos por contaminação das plantas por metais pesados (SOARES (2019); SILVA (2021); NETO (2022)). Visto que os brassinosteróides são hormônios que se difundem facilmente nas células das plantas, o que resulta em respostas rápidas no metabolismo. Eles estimulam a produção de proteínas e enzimas, além de interagirem com outros hormônios vegetais. Estudos mostram que os brassinosteróides têm efeitos fisiológicos diversos, como o alongamento celular, resistência a fatores bióticos e abióticos, biossíntese de etileno e influência no crescimento e desenvolvimento das plantas (DA SILVA, et al., 2021).

As sementes de Paricá obtiveram IVE em 14,5 dias⁻¹, este resultado indica que a espécie conseguiu superar a dormência e se desenvolver. Este valor de IVE pode indicar uma menor exposição da semente às condições adversas do meio, como ataque de fungos e insetos (DUTRA et al., 2012). A presença de metais pesados no solo na fase de germinação pode afetar negativamente o crescimento ou impossibilitar o estabelecimento das plantas (SOARES, 2019).

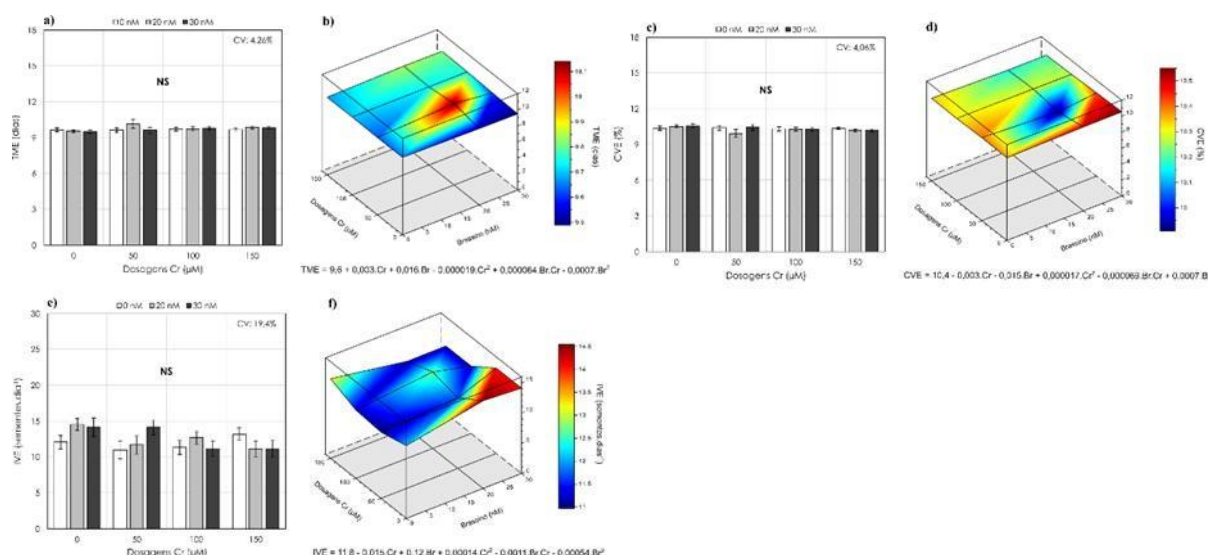


Figura 2 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) no TME, CVE e IVE de sementes de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

3.2 BIOMETRIA DE *Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ)

3.2.1 Crescimento da raiz e parte aérea

Para as análises dos dados de crescimento da raiz e parte aérea de *Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, verificou-se que não houve significância estatística pelo teste de Tukey (Figura 3). A raiz de Paricá alcançou o maior comprimento (7,5 cm) quando não houve dosagem de Cr e com 30 nM de EBL. Já a parte aérea alcançou o maior comprimento (29 cm) na dosagem de 50 µM L⁻¹(Cr) e 20 nM (EBL). Deste modo, constatou-se que o Cr e EBL não tiveram influência no comprimento da raiz e na parte área de paricá.

Neste trabalho de pesquisa as maiores doses de Cr não interferiram no crescimento e desenvolvimento de paricá, mostrando uma certa tolerância ao metal. O cromo não é um elemento fundamental para as plantas, sua presença nos tecidos vegetais, em pequenas quantidades, pode promover o crescimento em várias espécies já estudadas (BERILLI et al., 2016). Já em altas concentrações pode provocar várias desordens morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, interferindo em diversos processos metabólicos que são vitais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (AMBROSINI, 2015).

No estudo de Paiva (2021), a interação entre as doses de Cromo (Cr) e Selênio (Se) para a espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke, afetaram o comprimento da parte aérea (CPA). O maior comprimento aéreo ocorreu nas concentrações de 160 µM de Cr e 15 Mm de selênio, com média de 24,5 $\pm$ 0,3 cm, em que nesse tratamento a dose de 15 µM de selênio pode

ter atenuado o efeito da dose de 160 μM de Cr, favorecendo o crescimento das plântulas de paricá. O Cr e outros poluentes ambientais a partir de grandes concentrações diminui a germinação e prejudica o alongamento da raiz e parte aérea. No 15º dia desta pesquisa na concentração de 100 e 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr as plantas começaram a tombar, isso pode estar relacionado ao sistema radicular pouco desenvolvido.

No trabalho de Rosario (2022), verificou-se a influência da quantidade de níquel nas raízes e parte aérea de *S. amazonicum*, neste houve aumento com o acréscimo das concentrações de NiCl_2 em solução nutritiva. Em todos os tratamentos com Ni, a concentração foi maior nas raízes, atingindo o valor de 2710,92 mg kg^{-1} MS na dosagem de 800 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Ni. Nas folhas, a concentração de Ni atingiu o maior valor de 90,15 mg kg^{-1} MS também para a dosagem de 800 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Ni. Sendo assim, a concentração de níquel nos diferentes órgãos da planta foi: raízes > folhas. As raízes são os órgãos com contato direto com o ambiente nutricional da planta, estão especialmente propensas a serem afetadas por este ambiente (MORAES, 2012).

Moraes (2011), ao trabalhar com sementes de plantas de tomate, verificou que o comprimento da parte aérea e das raízes de plântulas apresentou redução significativa quando expostas ao acetato de chumbo, sendo a parte aérea mais suscetível a danos do que o sistema radicular, para todas as concentrações deste metal.

Algumas plantas estão sendo testadas com a finalidade de serem utilizadas na fitorremediação, e, o que se tem verificado com as pesquisas realizadas é que geralmente concentrações elevadas e/ou interação de mais de um tipo de íon metálico tem provocado alteração fisiológica que reflete diretamente na morfologia da planta, causando modificação do ritmo de crescimento e desenvolvimento das estruturas vegetativas (AMADO; FILHO, 2015).

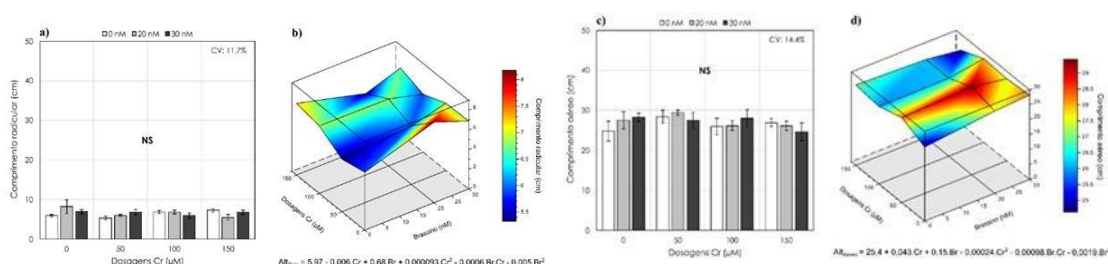


Figura 3 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) no comprimento da raiz e da parte aérea de plântulas de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

3.2.2 Número de folhas

Os dados referentes ao número de folhas não mostraram significância estatística pelo

teste de Tukey (Figura 4) entre os tratamentos com Cr em relação ao controle e as dosagens de ELB. A maior quantidade de folhas (2,4) ocorreu com o tratamento 0 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 30 nM de EBL.

No presente estudo observamos sinais de necroses nos cotilédones de *Schizolobium amazonicum*. As plantas quando expostas a grandes quantidades de metais pesados tendem a sofrer com estresse. Gilberti (2012) em seu estudo com arsênio relata que sob estresse, as plantas passam a apresentar uma série de alterações bioquímicas e fisiológicas e sofrem com sintomas como clorose, necrose, diminuição do crescimento, escurecimento das raízes e mudanças na arquitetura radicular, no número de folhas e na produção da massa seca, ou até a morte da planta. Ainda sobre este estudo o autor verificou que a espécie *B. dracunculifolia* apresentou sensibilidade ao efeito do arsênio, devido sua interferência no comprimento da parte aérea, espessura do raiz e do caule e número de folhas.

Diferentemente dos resultados deste estudo em que o Cr não interferiu no número de folhas, mas que se observou baixa produção de biomassa foliar. Nogueira (2018), ao analisar o paricá sobre diferentes concentrações de cádmio, constatou que houve uma diminuição para as variáveis de crescimento (altura, diâmetro, número de folhas e folíolos), à medida que as doses desse elemento eram aumentadas, havia menor produção de biomassa foliar.

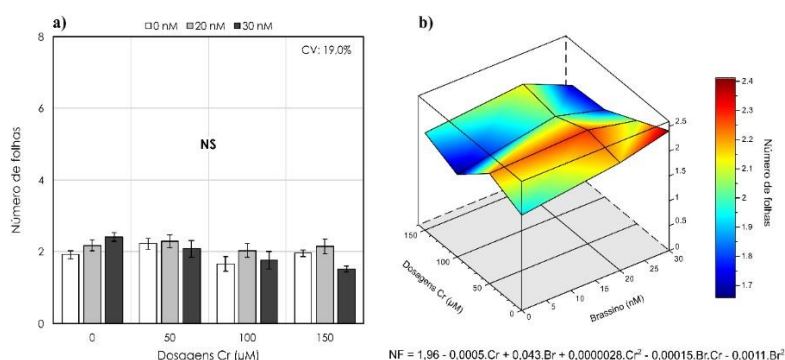


Figura 4 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) no número de folhas de plântulas de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

Os resultados apresentados em nossa pesquisa onde o Cr não teve efeito significativo para *S. amazonicum*, pode estar relacionado à imobilização do Cr nos vacúolos das células radiculares, reduzindo seus efeitos tóxicos, o que pode ser uma resposta natural da planta à toxidez (MARQUES, 2015). No estudo de Mota (2013), sobre a influência do alumínio para a espécie *Jatropha curcas* L., não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação entre os níveis de alumínio e as procedências para número de folhas, corroborando com o nosso estudo.

A aplicação de EBL pode ter conferido uma resposta rápida ao metabolismo de paricá, promovendo baixa absorção do Cr, refletindo sobre o número de folhas. O autor Jan et al. (2020) também observou uma baixa redução na absorção de Cr devido à aplicação de EBR nas folhas em comparação com as raízes de plantas estressadas por Cr.

3.3 ANÁLISES DE ENZIMAS ANTIOXIDANTES PARA A RAIZ E FOLHA

3.3.1 Dismutase do Superóxido (SOD)

Após a análise da atuação do EBL em Paricá com a dosagem controle de Cr na raiz da planta, verificamos que o efeito da variação do hormônio entre os tratamentos, apontou diferença significativa entre 0 e 20 e 0 e 30 nM de EBL. Com a aplicação de 50 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr a diferença significativa ocorreu entre 0 e 20, 0 e 30 e 20 e 30 nM de EBL, com a de 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr a diferença foi entre 0 e 30 e 20 e 30 nM de EBL. A maior concentração de SOD (1,7 UA.mg⁻¹ MS) ocorreu com o tratamento de 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 30 nM de EBL (Figura 10 a; b).

Ainda com relação a raiz, para o tratamento entre as dosagens de Cr com 0 nM de EBL houve diferença significativa no efeito da variação entre todas as dosagens de Cr. Com 20 nM de EBL não houve diferença significativa, já com 30 nM houve diferença entre as dosagens de 150 mM L⁻¹ e as dosagens de 0, 50 e 100 mM L⁻¹ de Cr. A maior concentração de SOD (1,7 UA.mg⁻¹ MS) ocorreu com o tratamento de 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 30 nM de EBL (Figura 5 a; b).

As plantas sobre estresse, possuem estratégias para lidar com os distúrbios metabólicos e danos celulares. Ativam seu sistema de defesa antioxidante, com pigmentos, antioxidantes e enzimas catalisadoras que ajudam a eliminar as substâncias prejudiciais responsáveis por fazer a eliminação de EROs. A maior proteção celular depende de enzimas antioxidativas, dentre as principais enzimas envolvidas na detoxificação estão: a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidases (Ascorbato peroxidase e Glutathione redutase) (SILVEIRA et al., 2010).

Os dados de SOD com relação às folhas não mostraram significância estatística pelo teste de Tukey, entre as diferentes dosagens de Cr utilizadas, em relação ao controle (0 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 0 nM de EBL), com 10 nM ou com 20 nM de EBL. A maior concentração de SOD (2,15 UA. mg⁻¹ MS) ocorreu com o tratamento de 0 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 20 nM de EBL (Figura 5 c; d).

Nesta pesquisa a SOD reagiu a presença do Cr nas raízes e folhas de paricá, sendo que os maiores valores ocorreram nas folhas, mostrando que a planta pode amenizar os efeitos tóxicos do Cr. Outro metal pesado foi estudado em paricá, o cádmio, e com este elemento as concentrações também se apresentaram diferentes em seus órgãos foliar e radicular (MONTEIRO et al., 2018), reafirmando que é possível ocorrer diferenciação da concentração de metais nos órgãos das plantas.

As dismutases do superóxido agem como primeira linha de defesa contra os intermediários reativos de oxigênio, dismutando o superóxido e produzindo o peróxido de hidrogênio que é menos reativo (MITTLER, 2002).

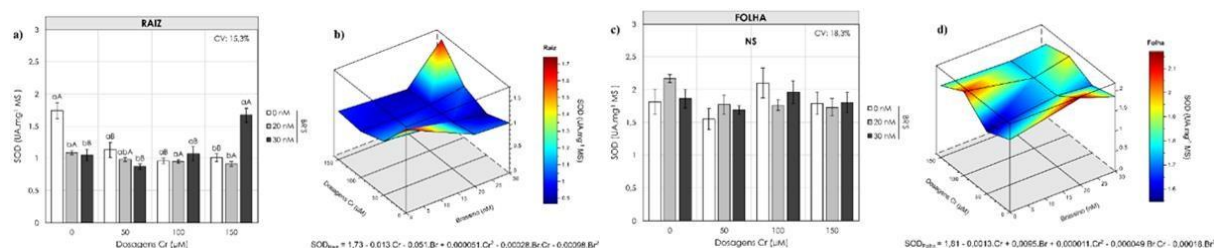


Figura 5 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) nas concentrações de SOD na raiz e folha de plântulas de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

Das Mercês et al. (2018) também, verificaram o comportamento de Paricá diante do efeito de doses diferentes de cádmio, mostrando que a planta absorveu o metal nas raízes, reduzindo sua translocação para a parte aérea, o que contribuiu para sua alta tolerância.

Por outro lado, Rosário (2022) estudando sobre as concentrações de superóxido dismutase verificou que o Ni aumentou significativamente nas raízes e folhas de Paricá. Sendo que a SOD nas raízes foi 1,63 vezes maior do que o encontrado nas folhas. Os resultados apresentados indicam um possível incremento nos níveis de $O_2^{\cdot-}$, relativo ao estresse do metal, elevando a concentração de enzimas para biossíntese da SOD. A enzima SOD amenizou os efeitos tóxicos das EROs em plântulas de Paricá

Várias observações têm sido feitas em relação a plantas que crescem em locais contaminados com vários elementos químicos tóxicos, as quais necessitam desenvolver mecanismos de escape ou de tolerância à toxicidade dos elementos para a manutenção da sobrevivência (SANTOS, 2006). A atividade da SOD neste estudo pode indicar que a enzima permitiu ao paricá um ajuste na tolerância aos efeitos tóxicos do Cr, possivelmente com outros mecanismos de escape, reduzindo ou impedindo o estresse oxidativo.

3.3.2 Peroxidase do Ascorbato (APX)

Os dados de Peroxidase do Ascorbato (APX) relacionados às raízes e folhas não mostraram significância estatística pelo teste de Tukey, entre os tratamentos com Cr e o controle e sem dosagens de EBL (0 nM), com 10 nM ou com 20 nM. A maior concentração de APX nas raízes (51 mol de $H_2O_2 \cdot min^{-1}g^{-1} MS$) ocorreu no 0 mM L-1 Cr e 20 nM de EBL (Figura 6 a;

b). Já nas folhas a maior concentração de APX (40 mol de $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MS}$) ocorreu com 100 μM L-1Cr e 20 nm de EBL (Figura 6 c; d).

Rosário (2022) verificou que o fato da atividade enzimática da APX ter sido ligeiramente maior na raiz do que na folha de Paricá, possivelmente está relacionado à atuação da APX juntamente com a CAT, nos componentes de desintoxicação do H_2O_2 , em condições de estresse oxidativo.

Apesar de não ter ficado evidente a atividade enzimática da APX na tolerância da aplicação de diferentes dosagens de Cr em Paricá. Neste estudo a maior concentração de APX também ocorreu nas raízes em relação às folhas.

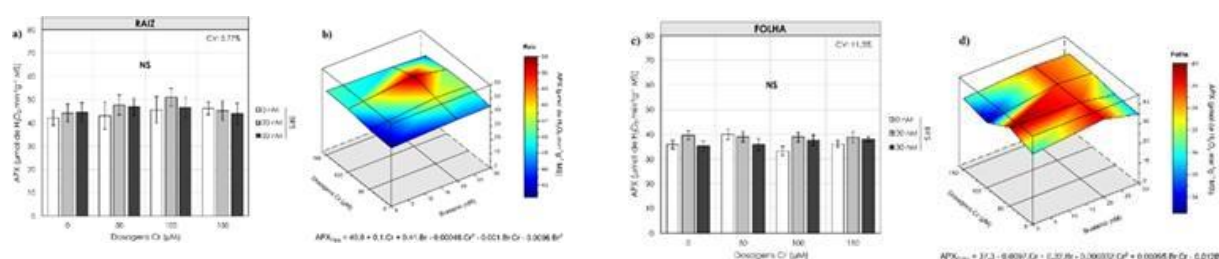


Figura 6 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) nas concentrações de APX na raiz e folha de plântulas de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

Para Pires (2012), em seu estudo com o Cádmio, a não detecção de danos provocados pelas EROs pode ser resultado de um mecanismo compensatório pela CAT e talvez, pela ação de outros componentes do sistema antioxidante, denotando uma estratégia de tolerância da espécie ao estresse.

3.3.3 Atividade de Catalase (CAT)

Com relação a atividade de CAT para a raiz de paricá, verificou-se que o efeito da variação de EBL entre os tratamentos com a dosagem controle de Cr, teve diferença significativa entre: 0 e 20, 0 e 30 e 20 e 30 nM de EBL. Já com 150 μM L⁻¹ de Cr observou-se diferença somente com 0 e 30 nM de EBL. Com a utilização de 50 e 100 μM L⁻¹ de Cr não houve diferença significativa com a aplicação de EBL (Figura 7 a; b). A atividade da CAT teve o maior aumento de 0,21 μmol de $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MS}$, sendo mais responsiva para a dosagem de 150 μM L⁻¹ Cr e 0 nM de EBL.

Ao analisar a atividade de CAT na folha, verificou-se que o efeito da variação de EBL entre 0 μM L⁻¹ de Cr teve diferença significativa entre os tratamentos com 0 e 20 e 0 e 30 nM de EBL. Com 50 μM L⁻¹ de Cr a diferença significativa foi entre os tratamentos com 0 e 20 e 0 e 30

nM de EBL. Na dosagem $100 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr houve diferença significativa entre os tratamentos com 0 e 20 e 0 e 30 nM de EBL e para $150 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr observou-se diferença significativa com a aplicação de todas as concentrações de EBL (Figura c; d).

Ainda sobre as dosagens de cromo nas folhas com 0 nM de EBL, houve diferença significativa entre todas as concentrações de Cr. Com 20 nM, houve diferença significativa entre as concentrações de 0 e 50, 0 e 150 e 50 e $100 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr. Para a aplicação de 30 nM de EBL, houve diferença significativa entre todas as concentrações de Cr. Os maiores índices de CAT (aproximadamente $0,7 \mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MS}$) ocorreram nas seguintes concentrações: $50 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 0 nM de EBL e $150 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 30 nM de EBL.

Na exposição do paricá ao cromo a atividade de CAT ocorreu com a translocação do metal das raízes para as folhas sendo maior neste órgão, tendo o mesmo comportamento com a SOD. A combinação entre estas duas enzimas foram fundamentais para o alívio dos efeitos do estresse oxidativo, uma vez que a SOD envolve a dismutação de $\text{O}_2^{\cdot -}$ em H_2O_2 e a CAT decompõe o peróxido de hidrogênio em H_2O e O_2 (NETO et al., 2018). O aumento da catalase é assumido como uma estratégia adaptativa contra o dano causado por estresse oxidativo mediante altas concentrações de metais pesados (RAZA et al, 2022).

Neste estudo a resposta da atividade de CAT com maior aumento nas folhas em relação as raízes foram equivalentes as pesquisas de Da Luz (2022), Rosário (2022) e Moraes (2011). As enzimas SOD e CAT tiveram efeitos significativos à medida que aumentou as concentrações de cromo, principalmente quando houve o incremento de EBL nas folhas. Podemos inferir que o maior aumento de Cr nas folhas de paricá pode caracterizá-la como uma espécie com potencial de hiperacumulação de metal pesado, sendo importante para fitorremediação.

Os metais pesados, como o cromo, não são destruídos pela degradação e, portanto, acumulam-se no meio ambiente. É possível perceber sintomas visuais da toxicidade do Cr em plantas quando elas apresentam crescimento atrofiado, sistema radicular pouco desenvolvido e folhas enroladas e descoloridas, além de supressão de raízes laterais (MOHANTY; PATRA, 2011).

Para que não sofram com o estresse proveniente de metais pesados, as plantas ativam seus sistemas antioxidantes, elevam a expressão das enzimas catalase, peroxidase e superóxido dismutase. Em nosso trabalho de pesquisa os resultados apontaram a SOD e a CAT formaram um sistema de defesa antioxidante eficiente para *S. amazonicum*, conferindo proteção da espécie contra o estresse oxidativo.

A utilização do BR é para estimular as defesas antioxidantes, como a produção de compostos como o ácido ascórbico, ou mesmo ativando as enzimas como Superóxido dismutase

(SOD), Ascorbato peroxidase (APX) e Catalase (CAT), que por sua vez inativam ROS (RIBOLD et al., 2019).

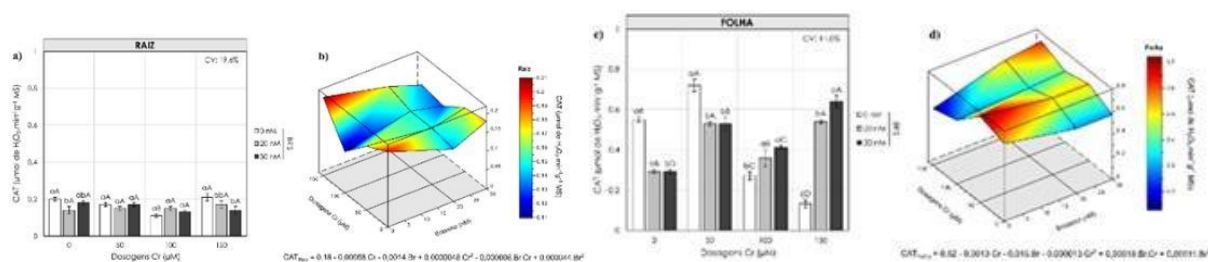


Figura 7 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) nas concentrações de CAT na raiz e folha de plântulas de paricá (*Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 µM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

O efeito do EBL de estimular as defesas antioxidantes foi observado na ativação da SOD e CAT de paricá contra o Cr. A ação dos efeitos dos brassinosteróides são diferentes dos hormônios não esteroides, por se propagarem facilmente pelas células, gerando respostas rápidas no metabolismo das plantas, aumentando a produção de proteínas e enzimas, como também agem em conjunto com outros hormônios vegetais. Muitos estudos têm mostrado sobre os diversos efeitos fisiológicos de brassinosteróides, conjuntamente com auxinas na expansão celular, agindo na resistência a fatores bióticos e abióticos, produção de etileno e efeitos sobre crescimento e desenvolvimento de plantas (FAGAN et al., 2015).

4. CONCLUSÃO

As diferentes dosagens de Cromo aplicadas no experimento talvez não tenham sido suficientes para causar efeitos deletérios para as estruturas essenciais ao desenvolvimento das plântulas, pois não houve interferências sobre a emergência, o crescimento, no comprimento da raiz, parte área e no número de folhas do vegetal, confirmando pela baixa porcentagem de plântulas anormais, em torno de 5%.

A SOD e CAT agiram contra o aumento das concentrações de Cr, quando houve o incremento de EBL nas folhas. O maior aumento de Cr nas folhas de paricá pode caracterizá-la como uma espécie com potencial para fitorremediação.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida, a instituição onde este trabalho foi realizado, a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao apoio da Universidade Federal do Pará (UFPA).

REFERÊNCIAS

- AMADO, S.; CHAVES FILHO, J. T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza Online**, v. 13, n. 4, p. 158-164, 2015.
- ABREU, Max Vinícius de Paula. **Influência de Diferentes Concentrações de Níquel (NI) sobre A Germinação e Crescimento Inicial de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2015.
- AMBROSINI, V. G.; SORIANI, H. H.; ROSA, T.R.; TIECHER, T.L.; GIROTTO, D. et al. **Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura**. 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1065884>, Acesso em: 25/07/2021.
- ARORA, P.; BHARDWAJ, R.; KANWAR, M. K. 24-epibrassinolide regulated diminution of Cr metal toxicity in *Brassica juncea* L. plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, p. 159-165, 2010.
- BERILLI, S. D. S.; ZOOCA, A. A. F.; REMBINSKI, J.; SALLA, P. H. H.; ALMEIDA, J. D. D.; MARTINELLI, L. Influência do acúmulo de cromo nos índices de compostos secundários em mudas de café conilon. **Coffee Science**, v.11, n. 4, 2016.
- BARBOSA, M. R.; DE SOUZA, L. M.; NASCIMENTO, K. R. P. ROS e o estresse oxidativo por seca em plantas. **Multidisciplinary Sciences Reports**, v. 3, n. 3, 2023.
- BAÚ, R. Z., RAMOS, M. A. de O., & RAMOS, V. A. A. (2022). PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO DO SOLO DA CIDADE DE BRUMADINHO - MG. **Ensaios USF**, 6(1). <https://doi.org/10.24933/eusf.v6i1.237>.
- COSTA, S.; GONÇALVES, V. M.; GOMES, V.; AZEVEDO, A. A. R.; ULIANA, M. Assessment of chromium bio-accumulation potential in sunflowers. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, 2021.
- DA LUZ, E. M. Z.; FORTES, A. M. T.; CORSATO, J. M.; RIBEIRO, M. I.; RODRIGUES, G. G.; PORTO, E. C. **Alterações fisiológicas e atividade antioxidante em plântulas de milho submetidas ao extrato aquoso de *Inga marginata* W.** 2022. Disponível em: editoracientifica.com.br/artigos/alteracoes-fisiologicas-e-atividade-antioxidante-em-plantulas-de-milho-submetidas-ao-extrato-aquoso-de-inga-marginata-w-alelopatia-de-inga-marginata-w-alteracoes-fisiologicas-e-atividade-antioxidante, Acesso em: 02/12/2023.
- DA SILVA, J.B.; ESPÍNDOLA, J. S.; ESPÍNDOLA, T. K. A. Brassinosteróides: caracterização e influência sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas. **Revista Campo Digital**, v. 16, 2021.
- DAS MERCES J. K. R.; NOGUEIRA, G. A. S.; BRITO, A. E. A.; NASCIMENTO, V.R; NETO, C. F. O. Metabolismo do Carbono em Mudas de Paricá *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke Submetidas a Doses Crescentes de Cádmio. III Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER – PDVAGRO), 2018.
- DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. DE. Emergência e crescimento inicial da canafístula em diferentes substratos e métodos de superação de

dormência. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 65-71, 2012.

FAGAN, E.B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; CHALFUN JUNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia Vegetal: Reguladores Vegetais**. São Paulo: Andrei, 2015. 300p.

FERREIRA, N. K. F.; LIMA, C. F.; AZEVEDO, E. B. M.; MARINHO, A. F.; ARAÚJO, F. O.; AZEVEDO, F. F. M., et al. Disponibilidade de metais pesados e sua correlação com a matéria orgânica do solo em áreas produtoras de hortaliças na Região Metropolitana de Belém/Pa/Availability of heavy metals and their correlation with a soil organic material in vegetable producing areas in the Metropolitan Region of Belém/Pa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 109022-109032, 2021.

FREITAS, D. A.; SOUSA, P. I.; COUTINHO, M. N.; ALVARENGA, A. C. Efeito dos metais pesados cobre e cromo no solo: germinação e desenvolvimento inicial de Myracrodruon urundeuva. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 1, p. 162-171, 2020.

GILBERTI, Livia Horta. **Potencial para o uso da espécie nativa, Baccharis dracunculifolia DC (asteraceae) na fitorremediação de áreas contaminadas por arsênio**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

HAVIR, E.; McHALE, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalases in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, p. 450-455, 1987.

KRANNER, I.; COLVILLE, L. Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, n. 1, p. 93-105, 2011.

LARRÉ, C. F.; MARINI, P.; LEIVAS MORAES, C; DO AMARANTE, L; MUNT DE MORAES, D. Influência do 24-epibrassinolídeo na tolerância ao estresse salino em plântulas de arroz. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 67-76, 2014.

MAIA NETO, Benedito et al. **24-Epibrassinolídeo como mitigador no estresse oxidativo na emergência de plântulas de paricá (Schizolobium amazonicum Herb) submetidas à diferentes concentrações de arsênio**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Aplicada a Agropecuária) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

MARQUES, Érica Alves. **Determinação do valor de prevenção para cromo em solos do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in plant science**, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MOHANTY, M.; PATRA, H. K. Attenuation of chromium toxicity by bioremediation technology. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 210**, p. 1-34, 2011.

MORAES, C. L. **Alterações bioquímicas, fisiológicas e ultraestruturais em sementes e plantas de tomate expostas ao chumbo**. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

MORAES, Rita de Cássia Pinheiro de. **Qualidade fisiológica de sementes, crescimento e partição de assimilados em plantas de rabanete submetidas a diferentes concentrações de metais.** Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

MOTA, Leandro Henrique de Sousa. **Crescimento e comportamento fisiológico de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, 2013.

MONTEIRO, G. G. T N, M.; NOGUEIRA, G. A. S.; BRITO, A. E. A.; NASCIMENTO, V. R.; NETO, C. F. O. Concentrações de Aminoácidos e Proteínas em Plantas de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) sob Doses Crescentes de Cádmio. **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER – PDVAGRO)**, 2018.

NASCIMENTO, M.S., PINA, N.P.V., SILVA, A.S.B., GOMES, VASCONCELOS, F., BRANDÃO, G.C. et al. In vitro antiplasmodial activity and identification, using tandem LC- MS, of alkaloids from *Aspidosperma excelsum*, a plant used to treat malaria in Amazonia. **Journal of Ethnopharmacology**, n. 228, p. 99 – 109. 2019 <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.09.012>.

NASCIMENTO, M.S., PINA, N.P.V., SILVA, A.S.B., GOMES, VASCONCELOS, F., BRANDÃO, G.C. et al. In vitro antiplasmodial activity and identification, using tandem LC- MS, of alkaloids from *Aspidosperma excelsum*, a plant used to treat malaria in Amazonia. **Journal of Ethnopharmacology**, n. 228, p. 99 – 109. 2019 <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.09.012>.

NETO, Cândido O. et al. Antioxidant enzymes activity in the *Elaeis guineensis* Jacq. submitted to drought. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 8, p. 245, 2018.

NOGUEIRA, G. A.; BRITO, A. E. A.; RESENDE, V. N.; ALBUQUERQUE, G. D. P.; DO AMATANTES, C. B.; DE OLIVEIRA, J. T.; SILVA, P. A.; DE OLIVEIRA NETO, C. F. Nitrogen and Carbon Metabolism Evaluation in Paricá Plants Subjected to Different Cadmium Concentrations. **Bioscience Journal**, v. 38, 2022.

PAIVA, Andressa Pinheiro. **Selênio como atenuador do efeito do cromo sobre a germinação, crescimento e metabolismo do carbono e nitrogênio em plântulas de *Schizolobium parayba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

PIRES, M. F. **Comportamento fisiológico, anatômico e citométrico de *Panicum aquaticum* Poir. expostos a diferentes metais pesados.** Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RAZA, A.; TABASSUM, J.; ZAHID, Z.; CHARAGH, S.; BASHIR, S.; BARMUKH, R.; KHAN, R. S. A.; JUNIOR, F. B.; ZHANG, C.; CHEN, H.; ZHUANG, W.; VARSHNEY, R. K. Advances in “omics” approaches for improving toxic metals/metalloids tolerance in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p.

REZANIA, S. TAIB, S. M.; DIN, M. F. M.; DAHALAN, F. A.; KAMYAB, H. Comprehensively review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. **Journal of hazardous materials**, v. 318, p. 587-599, 2016.

RIBOLD, L. B.,; GAZIOLA, S. A; AZEVEDO, R. A.; FREITAS, S. T.; CASTRO, P. R. de

C. 24-Epibrassinolide mechanisms regulating blossom-end rot development in tomato fruit. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 3, p. 812-823, 2019.

ROSÁRIO, Fábio Silva do. **Eficiência do sistema antioxidante em plantas jovens de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) submetidas à diferentes doses de níquel.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

SANTOS, Gabriela Alves dos. **Crescimento e respostas antioxidantes de macrófitas aquáticas submetidas ao arsênio.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SILVA, T.J.; HANSTED, F.; TONELLO, P.S.; GOVEIA, D. Fitorremediação de solos contaminados com metais: Panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 1, p. 18-34, 2019.

SILVA, André Lucas Januário. **24-Epibrassinolídeo atenua o estresse hídrico na fase de crescimento vegetativo e melhora o rendimento de plantas de soja.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo – Alagoas, 2021.

SILVEIRA, Joaquim AG et al. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**, v. 1, p. 161-18, 2010.

SOARES, Tássia Fernanda Santos Neri. **Brassinosteróides na superação do estresse causado por chumbo em sementes de *Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2019.

SHAHID M, POURRUT B, DUMAT C, NADEEM M, ASLAM M, PINELLI E. Heavy-metal-induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants. **Rev Environ Contam Toxicol**. 2014; 232:1-44. doi: 10.1007/978-3-319-06746-9_1. PMID: 24984833.

SHIMIZU, E. S. C.; PINHEIRO, H. A.; COSTA, M. A; FILHO, B. G. dos S. Aspectos fisiológicos da germinação e da qualidade de plântulas de *Schizolobium amazonicum* em resposta à escarificação das sementes em lixa e água quente. **Revista Árvore**, v. 35, p. 791-800, 2011.

VARDHAN, Kilaru Harsha; KUMAR, Ponnusamy Senthil; PANDA, Rames C. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. **Journal of Molecular Liquids**, v. 290, p. 111197, 2019.

3.3 CAPÍTULO III

Título: Efeitos anatômicos de diferentes dosagens de Cromo e 24-Epibrassinolídeo em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) e sua relação com a fitorremediação

Artigo será publicado: [Artigo a ser publicado]

Efeitos anatômicos de diferentes dosagens de Cromo e 24-Epibrassinolídeo em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) e sua relação com a fitorremediação

Anatomical effects of different dosages of Chromium and 24-Epibrassinolide on *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) and its relationship with phytoremediation

Alessandra dos Santos Matni Bastos

Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: aematnibastos@gmail.com

Thalisson Johann Michelin de Oliveira

Graduado em Agronomia

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: thalissonmichelon@gmail.com

Fernanda Ilkiu Borges de Souza

Doutora em Biologia Vegetal e Recursos Naturais

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: fernanda.ilkiu@embrapa.br

Anne Cristina Barbosa Alves

Graduanda em Engenharia Florestal

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: annecristinab@gmail.com

Lilian Tatiana Costa Barros

Graduanda em Engenharia Florestal

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: tatianalilian21@gmail.com

Catarina Miranda Nascimento

Graduada em Engenharia Florestal

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: mirandacaaa@gmail.com

Glauco André dos Santos Nogueira

Doutor em Ciências Florestais

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: glauand@yahoo.com.br

Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Doutor em Ciências Agrárias

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: Belém – PA, Brasil

E-mail: candidooliveiraneto@gmail.com

Resumo

O solo é um recurso importante para o ecossistema terrestre, mas tem sido degradado pela intensa exposição de metais pesados, merecendo atenção, pois sua elevada permanência e a alta toxicidade podem gerar problemas aos organismos vivos. Para ajudar no processo de descontaminação dos solos, surge a fitorremediação que é uma técnica que utiliza as plantas para aumentar a dispersão ou estabilizar a poluição no meio ambiente. O objetivo de nosso trabalho de pesquisa foi observar os efeitos anatômicos em paricá na raiz e folha nas superfícies adaxial e abaxial submetidas aos diferentes tratamentos com cromo e brassinosteróide. Para o estudo da anatomia radicular e foliar foram utilizadas amostras dos tratamentos com Cromo (Cr) (0, 50, 100 e 150 mM.L⁻¹) e 24-Epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM). A densidade estomática foi determinada nas regiões basal, mediana e apical de foliólulos para cada tratamento, foram realizadas 30 mensurações para cada. Os resultados são apresentados na forma de intervalos entre valor mínimo (média aritmética) valor máximo e $\pm$ desvio-padrão. Realizamos a análise anatômica dos foliólulos do ápice para a base, cortes nas faces epidérmicas (adaxial e abaxial). As espécies arbóreas podem ter grande valor para a recuperação de áreas contaminadas, por meio da fitorremediação, já que não fazem parte da cadeia alimentar, e devido aos problemas ambientais gerados pela contaminação por Cr. Como resultados da ação do Cr sobre a espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), houve significância estatística na quantificação de estômatos, e alterações pelas diferentes dosagens de Cr relacionadas a modificações anatômicas em relação à espessura da epiderme, endoderme e exoderme, as quais funcionam como barreiras apoplásticas, sendo considerado um mecanismo favorável a tolerância desta espécie ao Cr. As folhas das plântulas de paricá apresentaram-se com epiderme adaxial espessas, e estômatos abundantes e pequenos

Palavras-chave: Metal pesado, Paricá, Poluição.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural e importante componente do ecossistema da terra, pois ele serve como barreira natural à contaminação de águas subterrâneas, além de plantio e desenvolvimento animal. Atualmente, está sendo degradado pela exposição a diversos contaminantes (SCHOTTZ et al., 2023). Como a presença de metais pesados que podem poluir os solos, merecendo atenção, pois a sua elevada permanência e a alta toxicidade podem gerar problemas aos organismos vivos (FERREIRA et al., 2021).

Em relação a função desempenhada nos sistemas biológicos, os metais pesados classificam-se em essenciais e não essenciais (OLIVEIRA, 2022). Até o momento o Cr é considerado tóxico e não essencial à nutrição mineral de plantas, mas existem trabalhos que destacam efeitos positivos no crescimento de vegetais, aplicando uma quantidade mínima do

elemento de forma solúvel em solo (DE OLIVEIRA SOUSA; DOS SANTOS, 2018).

O cromo em plantas altera a produção de pigmentos e aumenta a produção de metabólitos, como glutatona e ácido ascórbico (CAMPOS, 2018). Os efeitos da toxicidade do Cr podem ocasionar clorose, retardo de crescimento, murchamento da parte superior e danos às raízes, afeta as atividades de muitas enzimas e, portanto, produz espécies reativas de oxigênio (SURAJ; EKTA; MANISH, 2021). Índices elevados de metais pesados no solo podem causar a inibição de processos metabólicos e fisiológicos essenciais no estágio inicial de desenvolvimento das plantas, ocasionando danos tanto na parte radicular quanto na parte aérea (CASTRO, 2023).

Visando a mitigação de possíveis efeitos tóxicos de Cr para o paricá, o brassinosteróide (BRs) surge como regulador de crescimento de plantas que desempenham uma variedade de funções fisiológicas, que também conferem resistência às plantas contra vários estresses bióticos e abióticos, sendo 24-epibrassinolide (EBR) um dos mais biologicamente ativos (MAIA NETO, 2022). Os brassinosteróides (BRs) representam um grupo de moléculas sinalizadoras de plantas com um esqueleto esteroide que desempenham um papel essencial na adaptação das plantas a diferentes estresses ambientais, incluindo a seca (AVALBAEV et al., 2024).

Segundo Sasso (2020) espécies arbóreas podem ter grande valor para a recuperação de áreas contaminadas, por meio da fitorremediação, já que não fazem parte da cadeia alimentar, e devido aos problemas ambientais gerados pela contaminação por Cr, elemento tóxico para as plantas. Contudo, o uso de espécies vegetais com potencial para remediar esses danos ambientais requer a compreensão de mecanismos de defesa desenvolvidos pelas plantas, especialmente arbóreas, que retiram, estocam e sobrevivem adequadamente aos metais pesados presentes nos solos contaminados (CASTRO, 2023).

A caracterização anatômica constitui-se como uma ferramenta que, associada com parâmetros morfofisiológicos, pode auxiliar a seleção de espécies para fitorremediação de ambientes contaminados por metais pesados, pois permite identificar mecanismos de tolerância por meio de alterações histológicas (VECCHIA et al. 2005).

Assim, estudos como os apresentados nesta pesquisa, onde a espécie florestal *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Paricá) pode ser utilizada como fitorremediadora para ambientes contaminados por Cr são de suma importância para os solos, pois estas plantas não fazem parte da cadeia alimentar e pela urgência em buscar soluções para os problemas ambientais gerados pelo Cromo (Cr) ao meio ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As plantas são organismos que interagem com o meio ambiente, regulando o seu crescimento e desenvolvimento para sobreviver às variações que, geralmente, são desfavoráveis

ou estressantes (DEBONO; SOUZA, 2019). Os órgãos vegetais, compostos pela raiz, caule e folha, são os componentes fundamentais que formam as plantas terrestres vasculares. Têm origem evolutiva e se especializaram na exploração dos recursos ambientais (HARRISON, 2017 apud SCHMILDT, OLIVEIRA, DOUSSEAU-ARANTES, 2023).

O estudo anatômico analisa como os fatores ambientais impactam nas características fenotípicas das plantas, que é definida pela relação entre as particularidades da estrutura interna das plantas e o ambiente que as rodeia. Buscando entender os mecanismos adaptativos que possibilitam a sobrevivência das plantas diante das variações ambientais a que estão expostas. Dos órgãos vegetais as folhas se destacam devido as suas características plásticas, sendo capaz de refletir com maior facilidade as variações do ambiente. Essa particularidade explica a ênfase nas investigações de anatomia ecológica voltadas para as estruturas foliares. No entanto, as propriedades do caule, principalmente durante o crescimento secundário, e da raiz também podem oferecer informações ecológicas significativas (FURLAN et al., 2021).

O estresse em plantas pode ocorrer em vários níveis de organização, desde o molecular ao morfológico e anatômico (BARROS et al., 2019). Várias características anatômicas inclusive são classificadas como típicas de espécies tolerantes à determinados ambientes com condições estressantes (SIMIONE et al., 2017). A presença de uma cutícula espessa e de tricomas nas folhas são atributos de tolerância nas plantas que vivem em ambientes com limitação hídrica (MELO, 2020).

Os estômatos são importantes estruturas anatômicas presentes principalmente nas folhas das plantas, sendo responsáveis pela regulação das trocas gasosas. Essas estruturas são utilizadas na ciência para identificar as mudanças climáticas sofridas pela planta (SANTOS et al. 2022).

Os movimentos dos estômatos regulam a entrada de CO₂ atmosférico para a fotossíntese e a saída de água via transpiração, sendo importantes na regulação da eficiência do uso da água (razão entre a assimilação de CO₂ e a perda de água via transpiração). Desta forma, é responsável pela eficiência do processo fotossintético e consequentemente da produção vegetal (PACHECO; LAZZARINI; ALVARENGA, 2023).

O cromo (Cr) desencadeia estresse oxidativo nas plantas, levando à peroxidação lipídica e resultando em danos às membranas celulares. Este estresse degrada pigmentos responsáveis pela fotossíntese, o que pode comprometer a integridade dos cloroplastos e prejudicar o processo fotossintético. Além disso, o cromo pode também diminuir a quantidade de CO₂ interna, a condutância estomática e a eficiência no uso da água (COSMO et al., 2023).

2 METODOLOGIA

2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO E ORIGEM DAS SEMENTES

O experimento foi realizado na sala de crescimento de vegetais, localizada no laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS) no Instituto de Ciências Agrárias (ICA), UFRA/Campus-Belém. As sementes de *Schizolobium parhyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), foram doadas pelo laboratório de sementes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Oriental), com coordenadas 1° 26' 12,56685" S, 48° 26' 53,99356" W, localizada em Belém, Pará, Brasil.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para o experimento a areia foi lavada, autoclavada e seca em estufa a 65°. Utilizou-se 4,5 Kg de areia acondicionado em vasos de polietileno de 5L. Antes do semeio aplicou-se três (03) concentrações de cromo na forma de Dicromato de Potássio ($K_2Cr_2O_7$), 50 mg. L⁻¹, 100 mg. L⁻¹ e 150 mg. L⁻¹ e controle (água deionizada) nas respectivas unidades experimentais, com volume equivalente a 80% da capacidade de campo (MAIA NETO, 2022).

As plântulas emergiram após o processo de escarificação manual com lixa de 80 mm, na lateral do terço superior da semente, parte oposta a micrópila, sem atingir os cotilédones, devido à natureza dura e impermeável do tegumento (BRASIL, 2009).

O experimento com brassinosteróides foi dividido em uma (01) concentração controle (água) e duas (02) com 24-epibrassinolídeo (20 nM e 30 nM), onde permaneceram imersas por 24 horas para quebra de dormência e absorção do hormônio (MAIA NETO, 2022).

As sementes foram plantadas a 4 cm da superfície e cobertas por areia. Os vasos foram enumerados de acordo com os tratamentos. Devido a pequena quantidade de sementes disponíveis, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3 x 4, com 12 tratamentos, com as chamadas plantas controle (sem cromo e brassinosteróides) e 5 repetições, totalizando 60 unidades experimentais contendo 12 sementes por repetição (NETO, 2022). Estas foram selecionadas manualmente, pelos critérios de cor, tamanho e espessura, totalizando 720 unidades, que foram mantidas em temperatura constante de 28°C, umidade relativa do ar (UR) de 90% e fotoperíodo de 12h (ROSÁRIO, 2022).

As plântulas foram cultivadas em sala de crescimento por 18 dias, sendo irrigadas quando necessário repondo a água perdida pela evapotranspiração e monitoradas de acordo com as regras e instruções para análise de sementes.

2.3 ANÁLISES ANATÔMICAS

Para o estudo da anatomia radicular e foliar foram utilizadas amostras dos tratamentos com Cromo (Cr) (0, 50, 100 e 150 mM.L⁻¹) e 24-Epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM). Realizou-se a análise anatômica de pelo menos cinco foliólulos de 12 plantas das regiões basal, mediana e apical, considerando as sub-regiões margem, limbo e nervura central, nas faces epidérmicas adaxial e abaxial.

A dissociação das epidermes das faces abaxial e adaxial foi obtida através da solução de Jeffrey (JOHANSEN, 1940), fixado por aproximadamente 24 horas. Após dissociado, o material foi lavado com água destilada e corado seguindo técnicas usuais em anatomia foliar.

Para cada tratamento, foram realizados cortes à mão livre na raiz e folha, conforme os métodos usuais de anatomia vegetal, com secções histológicas transversais, com o auxílio de lâminas de aço. O material foi corado com Safrablau - mistura de Azul de Astra e Safranina (BUKATSCH, 1972; KRAUS et al, 1998). Quando o material atingiu uma coloração suficiente, retirou-se da lâmina e colocou-se em outra lâmina de vidro com glicerina 50% (PURVIS et al, 1964) para melhor preservação do material botânico montando-se entre a lâmina e a lamínula.

Para a determinação do índice estomático, os cortes foram analisados e fotografados em microscópio óptico da marca Lumen de ocular e objetiva com 10 e 40 vezes de aumento. As células estomáticas e totais da epiderme foram contadas em 10 campos aleatórios.

Nos folíolos, nas regiões basal, mediana e apical, para cada tratamento com Cr, realizou-se 30 mensurações para a determinação da densidade estomática segundo Zoulias et al. (2020), onde a Densidade Estomática = estômatos totais/mm². Para o cálculo estatístico foram considerados o número de estômatos totais visualizados no campo do microscópio. Os resultados são apresentados na forma de intervalos entre valor mínimo (média aritmética) valor máximo e $\pm$ desvio-padrão.

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise estatística das variáveis e geração dos gráficos foi realizada através do software R-Studio, versão 1.4.1717 (R Project for Statistical Computing, RRID: SCR_001905) (RStudio, 2021).

Para identificar diferenças estatísticas entre as dosagens de cromo foi utilizado a package ExpDes.pt e a função “fat2.dic”, o qual já realiza análise de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e foi realizado o teste de homoscedasticidade pelo teste de Levene, igualmente fazendo a ANOVA e posteriormente teste Post-Hoc de Tukey, para todas as análises foi

considerado o nível de significância de 5%. E para a matriz de Correlação de Pearson foi utilizada a *package ggcorrplot* com o nível de significância de 5%.

Outra análise efetuada foi a regressão, os dados obtidos foram submetidos no programa “Statistical Analysis System” (SAS INSTITUTE, 2000), e o modelo da equação de regressão $Y(X_1, X_2) = B_0 + B_1X_1 + B_2X_1^2 + B_3X_2 + B_4X_2^2 + B_5X_1 \cdot X_2$ foi gerado pelo procedimento PROC RS REG. Realizou-se o teste F e para os casos de significância ($p < 0,05$) da interação entre os níveis de cromo e doses de brassinosteróides, efetuou-se a análise de regressão polinomial (superfície de resposta). Os gráficos foram gerados pelo programa SCILAB versão 2023.1.0.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AS RAÍZES DE *SCHIZOLOBIUM PARAHYBA* VAR. *AMAZONICUM* (HUBER EX DUCKE) BARNEBY (PARICÁ)

A quantificação e localização de estômatos, tricomas, parênquimas, epiderme e presença de lignina, são importantes na verificação da relação entre a disposição dessas estruturas e a incidência de vários tipos de estresse, as diferenças nessas estruturas, podem ser utilizadas em pesquisas de fitopatologia, melhoramento genético e nutrição mineral foliar, além de contribuir para a sustentabilidade no processo produtivo (LOURENÇO et al., 2011). A presença de uma cutícula espessa e de tricomas nas folhas são atributos de tolerância nas plantas que vivem em ambientes com limitação hídrica (MELO, 2020).

As raízes de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) são compostas por células de paredes delgadas, a exoderma é formada por células de paredes espessadas e endoderme unisseriada (Figura 1). Os metais pesados levam a diferentes alterações anatômicas no diâmetro da raiz, células epidérmicas, células parenquimatosas, periciclo e tecidos condutores (YADAV et al., 2021). O desenvolvimento de barreiras apoplásticas são comuns entre espécies com características favoráveis a tolerância (VACULÍK et al., 2012).

Notou-se espessamento da epiderme e endoderme, pois estas estruturas atuam como filtros no processo de absorção, considerando o transporte através do apoplasto ou simplasto do córtex para o xilema e parte aérea, assim o espessamento contribui para evitar a translocação de metais pesados e diminuindo os efeitos tóxicos no sistema fotossintético. O aumento da espessura da epiderme, exoderme e endoderme é considerado modificação importante para a sobrevivência das plantas a fatores de estresse, sendo o primeiro mecanismo para evitar o estresse. A epiderme é a primeira linha de defesa, oferece resistência aos metais e a endoderme a segunda, restringe a entrada no tecido vascular (DUARTE et al., 2020).

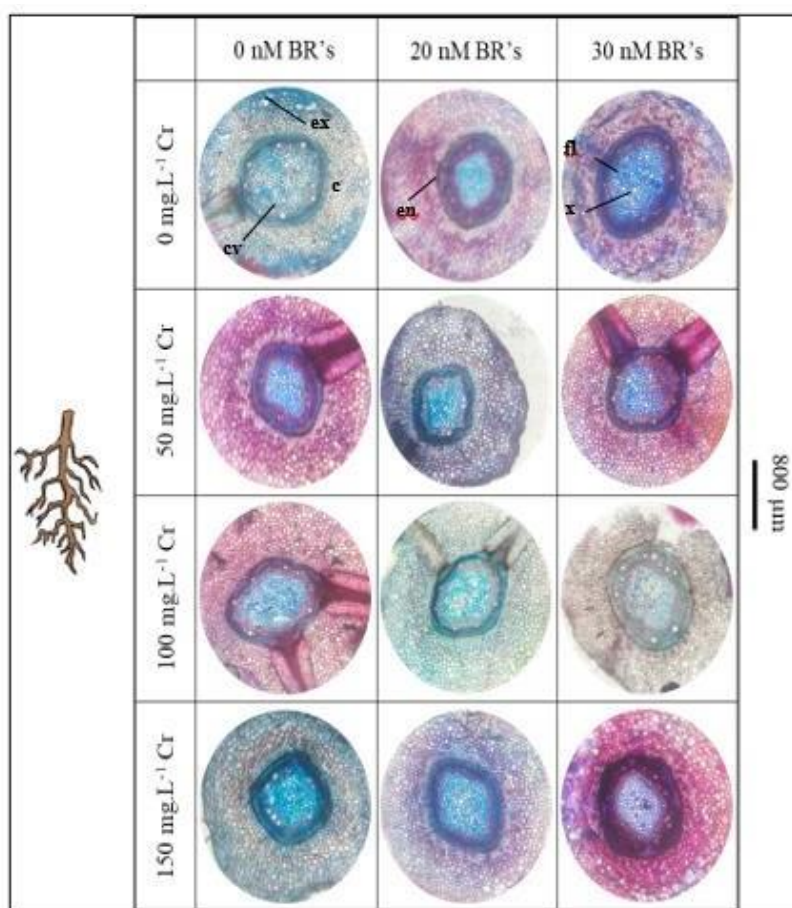


Figura 1. Secções transversais em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) expostas à quatro concentrações de cromo (0, 50, 100 e 150 mg. L⁻¹) e três valores de 24-Epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM). Legenda: c: côrtex; cv: cilindro vascular; ex: exoderme; en: endoderme; fl: metafloema; x: metaxilema.

2.1 QUANTIFICAÇÃO DE TRICOMAS

Os dados de quantificação de tricomas mostraram significância estatística pelo teste de Tukey. Ao analisarmos a atuação do EBL em paricá com a dosagem controle de Cr verificamos que o efeito da variação do hormônio entre os tratamentos, apontou diferença significativa para 0 e 20, como também para 0 e 30 nM de EBL. No controle de Cr a diferença de quantidade de tricomas não foi significativa entre 20 e 30 nM. Com a aplicação de 50 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr a diferença foi significativa entre todas as dosagens de EBL (0, 20 e 30 nM). Com a concentração de 100 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr a diferença significativa ocorreu entre 0 e 20 e 0 e 30 nM de EBL. Com a dosagem de 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr a diferença foi significativa entre todas as dosagens de EBL. A maior quantidade de tricomas ocorreu com o tratamento de 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 30 nM de EBL, com valor médio de 6,17 (Figura 2 a; b).

Analisando as dosagens de cromo com 0 de EBL observou-se que houve diferença significativa no efeito da variação entre 0 e 50 $\mu\text{M L}^{-1}$, 0 e 100 $\mu\text{M L}^{-1}$, 0 e 150 $\mu\text{M L}^{-1}$, 50 e 100 $\mu\text{M L}^{-1}$, 50 e 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ e 100 e 150 $\mu\text{M L}^{-1}$. Com 20 nM de EBL houve diferença significativa

entre todas as concentrações de cromo. Entretanto, já com 30 nM houve diferença entre as dosagens de 0 e 150 $\mu\text{M L}^{-1}$, 50 e 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ e 100 e 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ (Figura 2 a; b).

O EBL de 30 nM teve um efeito positivo quando aplicado juntamente com a dosagem de 150 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Cr, pois são hormônios que atuam em diversos processos fisiológicos e de desenvolvimento das plantas, como divisão celular, germinação de sementes, diferenciação vascular e desenvolvimento de órgãos. Eles promovem crescimento, aumentam a tolerância ao estresse e agem em conjunto com outros hormônios vegetais, gerando respostas rápidas no metabolismo das plantas (AVALBAEV et al., 2024).

Os metais após a absorção pela raiz seguem para a parte aérea pelo xilema, a maior parte atinge o vaso através da raiz via simplasto. A passagem apoplástica pode ocorrer na ponta da raiz. Dentro do xilema, os metais estão presentes como íons hidratados ou como metal-quelato complexos. Depois de atingir o apoplasto da folha, os metais são diferencialmente capturados pelas folhas e move-se, célula-a-célula, através plasmodesma. O armazenamento parece ocorrer, preferencialmente, nos tricomas (SILVA; SANTOS; GUILHERME, 2015).

O aumento dos tricomas glandulares em *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby, podem estar relacionados à função de acumulação de Cr em decorrência do aumento, em número, destas estruturas epidérmicas na superfície foliar das plantas tratadas com este metal, assim como ocorreu com o Cádmio (Cd) no estudo realizado por Souza et al., (2009) em macrófitas aquáticas.

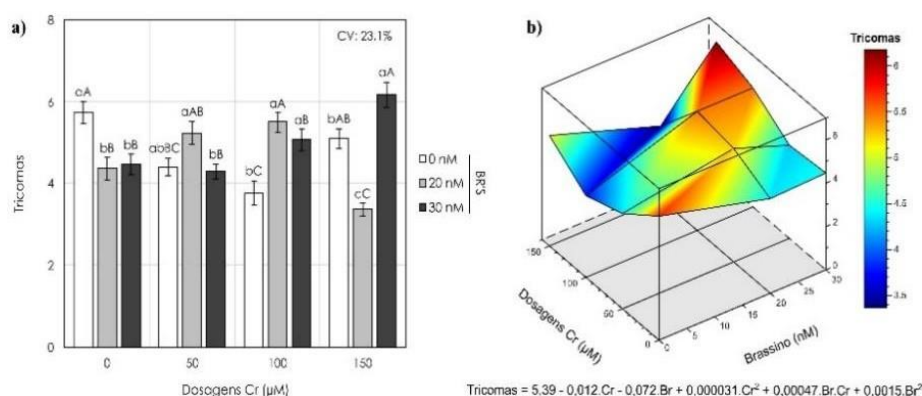


Figura 2 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) na quantificação de tricomas e incidência de plântulas anormais de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

3.3 QUANTIFICAÇÃO DE ESTÔMATOS

Os dados de quantificação de estômatos paracíticos mostraram significância estatística

pelo teste de Tukey. Ao analisarmos a atuação do EBL em Paricá com a dosagem controle de Cr verificamos que o efeito da variação do hormônio entre os tratamentos, apontou diferença significativa entre 0 e 30 nM de EBL e 20 e 30 nM de EBL. Com a aplicação de $50 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr a diferença foi significativa entre 0 e 20 nM de EBL e 20 e 30 nM de EBL. Com a concentração de $100 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr a diferença significativa ocorreu entre 0 e 20 e 20 e 30 nM de EBL. Com a dosagem de $150 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr a diferença foi significativo entre 0 e 20 e 0 e 30 nM de EBL. A maior quantidade de estômatos ocorreu com o tratamento de $150 \mu\text{M L}^{-1}$ de Cr e 30 nM de EBL, com valor médio de 18,10 (Figura 3 c; d).

Analisando as dosagens de cromo com 0 de EBL observou-se que houve diferença significativa no efeito da variação entre 0 e $50 \mu\text{M L}^{-1}$, 0 e $100 \mu\text{M L}^{-1}$, 50 e $150 \mu\text{M L}^{-1}$ e 100 e $150 \mu\text{M L}^{-1}$. Com 20 nM de EBL houve diferença significativa entre todas as concentrações de cromo. Porém, já com 30 nM houve diferença entre as dosagens de 0 e $50 \mu\text{M L}^{-1}$, 0 e $150 \mu\text{M L}^{-1}$, 50 e $100 \mu\text{M L}^{-1}$ e 100 e $150 \mu\text{M L}^{-1}$ (Figura 3 c; d).

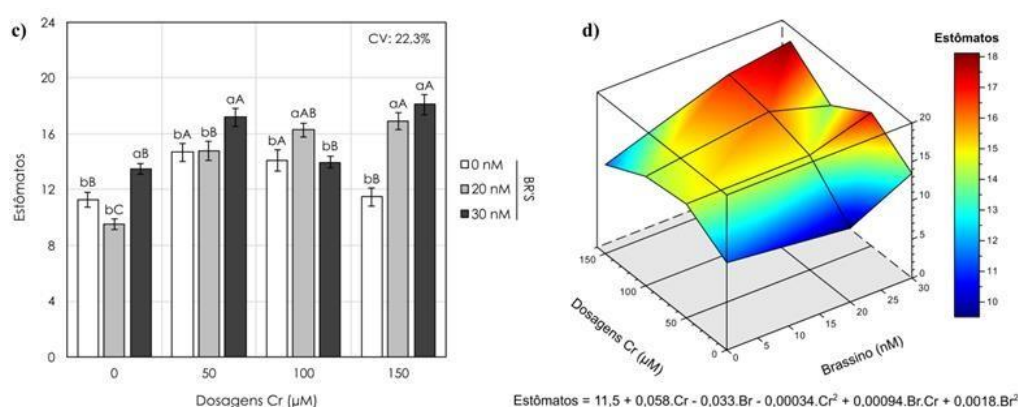


Figura 3 - Influência do 24-epibrassinolídeo (0, 20 e 30 nM) na quantificação de estômatos de plântulas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) sob estresse por cromo (0, 50, 100 e 150 μM). Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos EBL ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey; letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos com cromo ($p < 0,05$) com base no teste de Tukey. A ausência de letras significa que os tratamentos não se diferenciaram. Média $\pm$ Desvio padrão. NS: Não significativo.

Após a contagem as lâminas analisadas, apresentaram estômatos abundantes e pequenos (Figura 4). As características anatômicas das folhas, como densidade estomática e espessura da lâmina, são sensíveis aos metais pesados, indicando plasticidade frente a mudanças ambientais e estresse. Tratamentos com metais pesados causam alterações morfológicas e anatômicas, resultando em folhas pequenas e espessas, com epiderme adaxial também espessa e estômatos abundantes e pequenos (DUARTE et al., 2020).

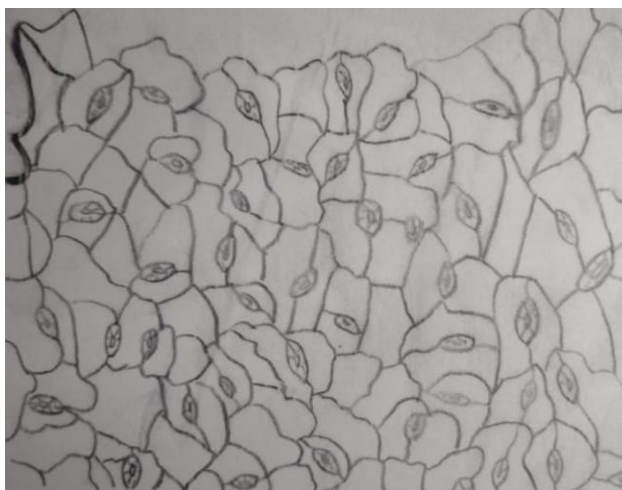


Figura 4 – Corte transversal de folhas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), face adaxial, evidenciando estômatos paracíticos, abundantes e pequenos.

Os tratamentos com metais pesados alteram a abertura dos estômatos, promovendo a diminuição da condutância quando comparados com o tratamento controle. Provavelmente, este fato seja devido ao aumento no potencial osmótico das folhas (CASTRO, 2023).

Após as análises da quantificação de estômatos, verificamos que o Cr pode ter afetado a regulação estomática de paricá, e que também ocorreu inibição no crescimento da raiz prejudicando a absorção de água e levando ao fechamento dos estômatos. Um outro metal o Cd sobre a espécie *Heteranthera reniformis* também afetou a regulação dos estômatos por aumentar o potencial osmótico e influenciar as células-guarda. O crescimento das raízes é inibido, prejudicando a absorção de água e levando ao fechamento dos estômatos. Em concentrações altas, ocorre declínio metabólico, resultando na perda de pressão de turgescência nas folhas e no fechamento estomático de forma passiva pela pressão hídrica (SANTOS et al., 2016).

Uma importante função da epiderme foliar é a realização de trocas gasosas, portanto, modificações na espessura da epiderme podem afetar a resistência à difusão de CO₂, logo, alterações na espessura deste tecido podem afetar também a transpiração (DUARTE et al., 2020).

O cromo (Cr) desencadeia estresse oxidativo nas plantas, levando à peroxidação lipídica e resultando em danos às membranas celulares. Este estresse degrada pigmentos responsáveis pela fotossíntese, o que pode comprometer a integridade dos cloroplastos e prejudicar o processo fotossintético. Além disso, o cromo pode também diminuir a quantidade de CO₂ interna, a condutância estomática e a eficiência no uso da água (COSMO et al., 2023).

Neste trabalho de pesquisa houve significância estatística na quantificação de estômatos, pela ação de Cr sobre paricá, Dutra et al., (2020) afirma que o estresse provocado pelo cromo afeta a absorção de CO₂ pelas plantas, pois causa o fechamento dos estômatos, reduzindo a

transpiração sem afetar a disponibilidade de CO₂. A presença de Cr inibe a Rubisco, afetando a produção de clorofila e a atividade enzimática. No entanto, as variáveis fotossintéticas se mantiveram inalteradas estatisticamente, o que mostra que, nas concentrações e período testado, o cromo não afetou a fotossíntese da espécie.

4. Considerações Finais

A raiz de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), sofreu alterações pelas diferentes dosagens de Cr em relação à espessura da epiderme, endoderme e exoderme, as quais funcionam como barreiras apoplásticas, sendo considerado um mecanismo favorável a tolerância desta espécie ao metal pesado. As folhas das plântulas de paricá apresentaram-se espessas, com epiderme adaxial também espessa e estômatos abundantes e pequenos.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida, a instituição onde este trabalho foi realizado, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e ao apoio da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e Universidade Federal do Pará (UFPA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVALBAEV, A.; FEDYAEV, V.; LUBYANOVA A, YULDASHEV R, ALLAGULOVA C. 24-Epibrassinolide Reduces Drought-Induced Oxidative Stress by Modulating the Antioxidant System and Respiration in Wheat Seedlings. **Plants (Basel)**. 2024 Jan 5;13(2):148. doi: 10.3390/plants13020148. PMID: 38256702; PMCID: PMC10818601.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

BUKATSCH, F. Bemerkungen zur doppelfärbung astrablau-safranin. **Microkosmos**, n. 61, p. 255, 1972.

CAMPOS, C. Q. **Efeitos da salinidade no acúmulo de metais pesados e nas características anatômicas, fisiológicas e bioquímicas em plantas do manguezal**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

CASTRO, A. C. D. J. D. **Toxicidade comparada de metais pesados sobre características fisiológicas de sementes e plantas jovens de *Hymenaea courbaril* L.** Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2023.

- COSMO, B. M. N. et al. **Influência dos metais na fotossíntese**. 2023. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/ensino/departamentos/cienciasdaproducaoagricola/laboratorio/dematologia-labmato/revistaagronomiabrasileira/rab2023047.pdf>, Acesso em: 05/05/2024.
- DEBONO, M.W.; SOUZA, G. M. Plants as electronic plastic interfaces: A mesological approach. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 146, p. 123-133, 2019.
- DUARTE, A. C. O; LIRA, M. F. P.; OLIVEIRA, C.; ALVES, E. T.; CATRO, E. M. (2020). Anatomia e trocas gasosas de *Heteranthera reniformis* Ruiz & Pav. em resposta ao Cromo. **Scientia Vitae**, v. 10, n. 31.
- FERREIRA, N. K. F.; LIMA, C. F.; AZEVEDO, E. B. M.; MARINHO, A. F.; ARAÚJO, F. O.; AZEVEDO, F. F. M., et al., (2021). Availability of heavy metals and their correlation with a soil organic material in vegetable producing areas in the Metropolitan Region of Belém/Pa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 109022-109032.
- FURLAN, C. M. et al. Laboratório de Fisiologia Vegetal Scarlet Santos Monteiro Laboratório de Sistemática Elton John de Lório.
- FRACHIA, C. D. L. **Tolerância e potencial fitorremediador de *Inga uruguensis* e *Inga fagifolia* em solo contaminado por chumbo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022.
- GIRI, S.; SINGH, A. K. (2019). Heavy metals in eggs and chicken and the associated human health risk assessment in the mining areas of Singhbhum copper belt, India. **Archives of environmental & occupational health**, 74(4), 161-170.
- JOHANSEN, D. A. et al. Microtécnica vegetal. **Microtécnica vegetal**, Primeira edição, 1940.
- KRAUS, J.E.; SOUSA, H.C.; REZENDE, M.H.; CASTRO N.M.; VECCHI, C.; LUQUE, R. Astra blue and basic fuchsin double staining of plant materials. **Biotechnic Histochemistry**, n. 73, p. 235-243, 1998.
- LOURENÇO, H. A. O; VASCONCELOS FILHO, S. C.; VASCONCELOS, J. M.; CAMPOS, H. D. Anatomia foliar de diferentes cultivares de soja e sua relação com incidência e severidade de doenças. **Global Science and Technology**, 4(3).2011.
- MAIA NETO, Benedito et al. **24-Epibrassinolídeo como mitigador no estresse oxidativo na emergência de plântulas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) submetidas à diferentes concentrações de arsênio**. 2022. Dissertação Mestrado. UFRA-Campus Belém.
- MELO, Adglecianne de Sousa. **Ajustes anatômicos foliares de *Calotropis procera* (Apocynaceae) em resposta ao déficit hídrico e salinidade**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- MIRANDA, T. G. et al. Toxic effects of Cr, Cu, Se, Cd, Hg and Pb ions on the environment and human health: a review: Efeitos tóxicos dos íons Cr, Cu, Se, Cd, Hg e Pb ao ambiente e à saúde humana: uma revisão. **Concilium**, v. 23, n. 16, p. 307-326, 2023.

OLIVEIRA, T. C. R. **Fitorremediação de solos contaminados com metais pesados utilizando culturas energéticas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) Universidade do Minho, 2022.

PACHECO, F., LAZZARINI, L. E., & ALVARENGA, I. (2021). **Metabolismo relacionado com a fisiologia dos estômatos**. Enciclopédia Biosfera, 18(36). Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5264>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PORTELA, Juliana Gomes et al. Selênio como atenuador do estresse oxidativo induzido por metais tóxicos em plantas: revisão. **Tecnologia e inovação na agricultura: aplicação, produtividade e sustentabilidade em pesquisa-VOLUME 2**, v. 2, n. 1, p. 74-84, 2023.

PURVIS, M.; COLLIER, D.; WALLS, D. **Laboratory techniques in botany**. London: Butterworths, 1964.

ROSÁRIO, F. S. **Eficiência do sistema antioxidante em plantas jovens de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) submetidas à diferentes doses de níquel**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

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

SANTOS, M. de F.; RUAS, N. R.; FERREIRA, A. N.; FERRANTE, M.; GAVILANES, M. L.; CARVALHO, E. E. N. Stomatal analysis in leaves of *Siparuna guianensis* Aubl. (Siparunaceae). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. e17111124722, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.24722. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/24722>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: user's guide**, version 8.0. Cary: SAS Institute 2000.

SASSO, V. M. **Potencial fitorremediador para cromo de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos**. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

SILVA, Edevaldo; SANTOS, Pedro; DE FÁTIMA GUILHERME, Maria. Chumbo nas plantas: uma breve revisão sobre seus efeitos, mecanismos toxicológicos e remediação. **Agrarian Academy**, v. 2, n. 03, 2015.

SOUZA, V. L. et al. Efeitos do cádmio na anatomia e na fotossíntese de duas macrófitas aquáticas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 343-354, 2009.

SCHOTTZ, B. D. S.; MARQUES, M. E. S.; GONZALEZ, W. D. A.; TAVARES, S. D. L. (2023). Fitorremediação em solo contaminado pelo metal chumbo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 10.; CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS, 9., 2023, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia

Geotécnica, 2023. v. 1, p. 24-29. REGEO/Geossintéticos 2023.

SCHMILDT, E. R.; OLIVEIRA, V. de S.; DOUSSEAU-ARANTES, S. Modelagem da área foliar individual. **Brazilian Journals Editora**, v. 1, 2023.

VACULÍK, M. *et al.* Root anatomy and element distribution vary between two *Salix caprea* isolates with different Cd accumulation capacities. **Environmental Pollution**, Barking. 2012; 163: 117-126.

VARMA, Suraj et al. Heavy metals stress and defense strategies in plants: An overview. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 10, n. 1, p. 608-614, 2021.

VARDHAN, K. H.; KUMAR, P. S.; PANDA, R. C. (2019). A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. **Journal of Molecular Liquids**, v. 290, p. 111197.

YADAV, V. et al. Modificações estruturais de órgãos e tecidos vegetais por metais e metalóides no meio ambiente: uma revisão. **Fisiologia e Bioquímica Vegetal**, v. 159, p. 100-112, 2021.

Zoulas, N., Brown, J., Rowe, J., & Casson, S.A., (2020). HY5 is not integral to light mediated stomatal development in Arabidopsis. **Plos One**, 15 (1), 1-13. 10.1371/journal.pone.0222480.

4 DISCUSSÃO INTEGRADORA

Foi possível observar ao longo dos capítulos desenvolvidos que as doses de Cromo aplicadas no experimento não influenciaram no crescimento (VE, IVE, TME e o CVE) de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) e que o tegumento das sementes, agiram como uma barreira de entrada impedindo o estresse metálico antes da germinação. O 24-Epibrassinolídeo (EBL) é um hormônio que estimula o crescimento de plantas que ajuda a superar estresses.

Tanto para a CAT, quanto para a SOD, houve translocação do cromo das raízes para as folhas sendo maior neste órgão. A combinação entre estas duas enzimas foram fundamentais para o alívio dos efeitos do estresse oxidativo.

As alterações anatômicas na raiz ocorreram na espessura da epiderme, endoderme e exoderme, as quais funcionam como barreiras apoplásticas, sendo consideradas como mecanismo favorável a tolerância desta espécie ao Cr. As folhas de paricá apresentaram-se espessas, com epiderme adaxial espessa e estômatos abundantes e pequenos.

O cromo não causou danos, bem como não se verificou a efetiva atenuação pelo EBL ao paricá, pois a porcentagem de plantas anormais foi em torno de 5%. As maiores dosagens de Cr aplicadas não interferiram no crescimento e desenvolvimento de paricá, mostrando uma certa tolerância ao metal. Contudo, ainda são necessários mais estudos utilizando dosagens maiores que comprovem até que limite de cromo ou outros tipos de metais pesados o paricá pode ser

considerado como fitorremediador.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi possível observar que *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) sob as dosagens de cromo aplicadas não interferiram no comprimento da raiz, parte área e número de folhas de paricá, o 24-Epibrassinolídeo (EBL) pode ter favorecido o desenvolvimento da espécie, pois este hormônio pode estimular o crescimento, bem como aumentar a capacidade da planta de superar estresses. Para os parâmetros VE, IVE, TME e o CVE, o Cr não influenciou na emergência e no crescimento, devido talvez ao tegumento das sementes que agem como uma barreira.

Na exposição do paricá ao cromo a atividade de CAT ocorreu com a translocação do metal das raízes para as folhas sendo maior neste órgão, tendo o mesmo comportamento com a SOD. A combinação entre estas duas enzimas foram fundamentais para o alívio dos efeitos do estresse oxidativo. O efeito do EBL de estimular as defesas antioxidantes foi observado na ativação da SOD e CAT de paricá contra o Cr.

O paricá sofreu alterações pelas diferentes dosagens de Cr relacionadas à espessura da epiderme, endoderme e exoderme, as quais funcionam como barreiras apoplásticas, sendo considerado um mecanismo favorável a tolerância desta espécie ao Cr. As folhas das plântulas de paricá apresentaram-se espessas, com epiderme adaxial espessa e estômatos abundantes e pequenos.