

Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano¹

RAFAEL COSTA PAIVA

Mestrando em Agronomia, UFC/PPGAF (Fitotecnia), Fortaleza, Ceará, Brasil.

Student in the agronomy department at the University.

Researcher in the area of plant production and vegetable breeding

LILIANE CORREA MACHADO

Doutoranda em Produção Vegetal, UENF/POSGPVE (Nutrição Mineral de Plantas),

Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

Student in the plant production department at the University.

Researcher in the area of plant production and mineral plant nutrition.

JOSILENE DO CARMO MESCOUTO DE SOUSA

Mestrado em Ciências Florestais, UFRA/PPGCF (Ecofisiologia de espécie arbóreas e ecologia), Belém, Pará, Brasil.

Student in the Forest science at the University

Researcher in the area of forest science and mineral plant nutrition.

VICTÓRIA CAROLLINE DO MORAES

Graduanda da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, Brasil.

Student in the agronomy course at the University.

Researcher in the area of plant production and food technology.

SUSANA SILVA CONCEIÇÃO

Doutorado em Ciências Florestais, UFRA/PPGCF (Ecofisiologia de espécie arbóreas e ecologia), Belém, Pará, Brasil.

Student in the Forest science at the University

Researcher in the area of forest science and mineral plant nutrition

GLAUCO ANDRÉ DOS SANTOS NOGUEIRA

Doutorado em Ciências Florestais, UFRA/PPGCF (Ecofisiologia de espécie arbóreas e ecologia), Belém, Pará, Brasil.

Student in the Forest science at the University

Researcher in the area of forest science and mineral plant nutrition.

JOB TEIXEIRA DE OLIVEIRA

Docente da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS/CPCS), Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil. Professor in the agronomy department at the

University. Researcher in the area of plant production, geostatistics and soils.

RICARDO SHIGUERU OKUMURA

Docente da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA/PgAGRO/ PPGPAA), Parauapebas, Pará, Brasil.

Student in the agronomy area at the University

Researcher in the area of plant production and soils.

¹ Influence of cadmium on early development of African mahogany plants

Rafael Costa Paiva, Liliâne Correa Machado, Josilene do Carmo Mescouto de Sousa, Victória Caroline do Moraes, Susana Silva Conceição, Glauco André dos Santos Nogueira, Job Teixeira de Oliveira, Ricardo Shigueru Okumura, Priscilla Andrade Silva, Cândido Ferreira de Oliveira Neto– **Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano**

PRISCILLA ANDRADE SILVA

Docente da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Parauapebas, Pará, Brasil. Student in the agronomy area at the University. Researcher in the area of plant production and food technology.

CÂNDIDO FERREIRA DE OLIVEIRA NETO

Docente da Universidade Federal Rural da Amazônia UFRA/PPGCF (Ecofisiologia de espécie arbóreas e ecologia), Belém, Pará, Brasil.

Student in the Forest science and plant production at the University.

Researcher in the area of forest science, mineral plant nutrition and plant production.

Abstract

*Mahogany - Brazilian as it is known is a very valuable wood in Brazil and in Tropical America and has been studied in the line of abiotic stress, because it shows tolerance behavior. The aim of this study was to verify the influence of cadmium metal on the initial development of the species (*Khaya grandifoliola*). The experiment was conducted in a greenhouse at the Plant Physiology Laboratory of the Federal Rural University of the Amazon, Belém-PA. Initially, the mahogany seedlings were acclimated to be subsequently conducted to cadmium treatments. The application of this toxic element was in the form of cadmium chloride monohydrate ($CdCl_2 \cdot H_2O$) under nutrient solution. For this, a completely randomized design (DIC) was followed, in a 5 x 7 factorial scheme, composed of five Cd concentrations (0; 10; 20; 30 and 40 mg L⁻¹) and seven replications, totaling 35 experimental units. For comparative effect analysis, data were subjected to analysis of variance, followed by regression analysis by the Sisvar program 5.4. Means were compared using the Tukey test at a level of 5% probability. The results showed cadmium accumulation in leaves and roots at 228.5% and 743.75%, respectively. There was a promotion of damage to the integrity of the cell membrane of this plant, evidenced by the leakage of electrolytes that showed 61.3% in the leaves and 91.9% in the roots. The efficiency of water use provided balance, mainly in the aerial part, saving this resource in the stress condition. Therefore, the species showed characteristics of tolerance to cadmium metal, evidenced by the high concentrations of cadmium in the roots.*

Rafael Costa Paiva, Liliane Correa Machado, Josilene do Carmo Mescouto de Sousa, Victória Caroline do Moraes, Susana Silva Conceição, Glauco André dos Santos Nogueira, Job Teixeira de Oliveira, Ricardo Shigueru Okumura, Priscilla Andrade Silva, Cândido Ferreira de Oliveira Neto– **Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano**

Keywords: Abiotic stress. Membrane integrity. Heavy metal Tolerance. *Khaya grandifoliola*.

Resumo:

*Mogno africano como é conhecido é uma madeira muito valiosa no Brasil e na América Tropical e vem sendo estudada na linha de estresse abiótico, porque apresenta comportamento de tolerância. O objetivo desse estudo foi verificar a influência do metal cádmio no desenvolvimento inicial da espécie (*Khaya grandifoliola*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA. Inicialmente as mudas de mogno foram aclimatadas para posteriormente serem conduzidas aos tratamentos de cádmio. A aplicação desse elemento tóxico foram na forma de cloreto de cádmio monohidratado ($CdCl_2 \cdot H_2O$) sob solução nutritiva. Para isso, foi obedecido um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5×7 , composto de cinco concentrações de Cd (0; 10; 20; 30 e 40 $mg L^{-1}$) e sete repetições, totalizando 35 unidades experimentais. Para análise de efeito comparativo, os dados foram submetidos à análise de variância, seguida da análise de regressão pelo programa Sisvar 5.4. Médias foram comparadas pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. Os resultados mostraram acúmulo de cádmio em folhas e raízes respectivamente à 228,5% e 743,75%. Houve promoção de dano a integridade da membrana celular desse vegetal, comprovado pelo vazamento de eletrólitos que apresentaram 61,3% nas folhas e 91,9% nas raízes. A eficiência do uso da água proporcionou equilíbrio, principalmente na parte aérea economizando esse recurso na condição de estresse. Portanto, a espécie apresentou características de tolerância ao metal cádmio, evidenciado pelas altas concentrações de cádmio nas raízes.*

Palavra- chaves: Estresse Abiótico. Integridade de membrana. Metal pesado. Tolerância. *Khaya grandifoliola*.

INTRODUÇÃO

A espécie (*Khaya grandifoliola*) conhecida popularmente como mogno africano pertencente a família *Meliaceae*. sua zona de abrangência natural se estende na América tropical do México até o Brasil. é uma das espécies madeireiras mais valiosa do território brasileiro. E classificada como uma espécie pioneira ou secundária tardia que se regenera em clareiras abertas a partir de grandes distúrbios na floresta, necessitando de solos férteis e profundos para o seu crescimento satisfatório (COSTA et al., 2013). A importância econômica da espécie está em fabricação de mobiliários de luxo, painéis, lambris, adornos, molduras e assoalhos (PINHEIRO, 2000).

Os vegetais quando submetidos a diferentes condições de estresses abióticos podem responder de diversas maneiras a partir de mecanismos de defesa químicos e físicos. Dentre os fatores abióticos, os metais pesados influenciam o crescimento e o desenvolvimento vegetal, para isso leva-se em consideração o metal em estudo, a concentração desse metal, e a condição genética do vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O acúmulo de metais pesados em solos é um aspecto de grande preocupação quanto à segurança ambiental, podendo ser potencialmente poluente nos organismos do solo, através da disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos e da possibilidade de transferência para a cadeia alimentar, por meio das próprias plantas, ou pela contaminação das águas de superfície e subsuperfície (SOARES et al., 2005).

Neste contexto, o cádmio (Cd) é um exemplo de um metal pesado presente em diversas concentrações nos solos, classificado como um elemento não essencial, podendo atuar nas plantas como um potente inibidor de enzima, causando desta maneira diversos danos celulares mesmo em baixas concentrações. A exposição das plantas a esse elemento-traço resulta na degeneração das mitocôndrias e membranas celulares e mitose, além de interferir no processo de absorção de água podendo danificar o aparelho fotossintético (GILL; TUTEJA, 2010; NEVES et al., 2016).

Considerando a importância do mogno na Amazônia e os impactos que a contaminação por metais pesados pode acarretar para

a cultura, este trabalho objetivou verificar a influência do cádmio no desenvolvimento inicial de plantas jovens de mogno africano (*Khaya grandifoliola*).

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e condições de cultivo

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Laboratório de Fisiologia Vegetal, pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, Belém-Pa, com coordenadas geográficas de 01° 27' 21" S, 48° 30' 16" W e altitude média de 10 metros, sendo as análises das variáveis realizadas no Laboratório de Estudo da Biodiversidade de Plantas Superiores (EBPS) e Museu Paraense Emílio Goeldi para análise da determinação de concentrações de cádmio em folhas e raízes.

Para o presente trabalho foram utilizadas mudas de mogno africano (*Khaya grandifoliola*), provenientes do viveiro comercial São Francisco, localizado no município de Castanhal-PA, apresentando idade de aproximadamente 90 dias, as mudas encontravam-se em bom estado fitossanitário e homogêneas. As mesmas foram transportadas em papéis umedecidos, evitando-se a perda de umidade, e em seguida alocadas em vasos plásticos de polietileno, permanecendo em casa de vegetação por um período de 35 dias (DAS) de aclimação.

Transplântio e solução nutritiva

Após a aclimação, foi realizado o transplântio para vasos de Leonard com capacidade de 4,6 L adaptados e envolvidos com papel alumínio (para minimizar a interferência da radiação solar no crescimento radicular), contendo areia lavada esterilizada. Na borda de cada vaso foram adicionados papel e.v.a em forma de círculos, sendo acoplados às mudas de forma a não as danificar, evitando com este método a proliferação de algas. Os vasos de Leonard continham solução de Sarruge (1975), com $\frac{1}{4}$ de força iônica com pH mantido entre $5,8 \pm 0,5$ utilizando-se soluções de NaOH ou HCl 1N, quando necessário, sendo trocadas as soluções semanalmente.

Exposição das plantas ao $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Após o 16° DAS de aclimação das mudas de mogno africano em solução nutritiva, deu-se início a aplicação das concentrações de cádmio na forma de cloreto de cádmio monohidratado ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Para aplicação, o mesmo foi adicionado junto a solução nutritiva nas concentrações de 0 (controle) mg L^{-1} ; 10 mg L^{-1} ; 20 mg L^{-1} ; 30 mg L^{-1} e 40 mg L^{-1} , no qual, cada concentração correspondeu a um tratamento, sendo esses, renovados a cada sete dias.

Coleta e armazenamento do material

A coleta das plantas ocorreu ao 60° DAS (período de exposição das plantas ao metal pesado) às 04:30 h. Foram selecionadas ainda em casa de vegetação material *in vivo*, folhas primárias completamente expandidas de cada uma das repetições, no qual, parte desse material reservado para determinação de vazamento de eletrólitos (VE).

As plantas foram posteriormente lavadas com água destilada e separadas em folha, caule e raiz e envolvidas em papel alumínio sendo levadas para a secagem em estufa de ventilação de ar forçada a 65°C por 48 h, após a secagem, o material foi triturado em moinho até a obtenção de um pó fino sendo devidamente armazenado em tubos de falcon até sua utilização nos ensaios das análises bioquímicas. Parte do material seco foi levado para análise da determinação de concentrações de cádmio em folhas e raízes.

Concentração de cádmio (Cd)

Para a determinação das concentrações de cádmio em folhas e raízes de plantas jovens de mogno africano, foram encaminhadas as amostras das respectivas partes vegetais para o Laboratório de Análises Químicas do Solo, departamento pertencente ao Museu Paraense Emílio Goeldi. E assim, tais determinações foram tomadas como base por meio do comportamento da espécie em experimentos realizados por Fan et al. (2011), e os valores obtidos seguiram conforme as orientações do CONAMA nº 460/2013 referente a solos contaminados metais pesados (cádmio).

Avaliações bioquímicas

Uso Eficiente da Água

Avaliado através do medidor portátil IRGA (Infra-red Gas Analyzer / ADC equipments - mod. LCI 6400, Hoddesdon, UK) sendo medido em condições ambientais favoráveis, entre 9h00 e 11h00.

Vazamento de eletrólitos (VE)

O VE foi determinado de acordo com Blum e Ebercon (1981), com modificações. Foram pesados, separadamente, 100 mg de parte aérea e material radicular, realizando-se uma tripla lavagem com água desionizada, o material vegetal foi transferido para tubos de ensaio, aos quais foram adicionados 10 mL de água desionizada. Os frascos fechados foram deixados em repouso sob temperatura ambiente (25 °C) por um período de 6 horas, sob agitação a cada 20 minutos.

Após esse período, com o auxílio de um condutivímetro, foi mensurada a condutividade elétrica da solução determinando a primeira leitura (L1). Em seguida, os tubos foram novamente fechados e aquecidos em “banho-maria” a 100 °C, por 1 hora. Após resfriamento dos tubos de ensaio à temperatura ambiente, a condutividade elétrica do extrato foi novamente medida obtendo-se a segunda leitura (L2).

Para a determinação do VE, calcula-se de acordo com a equação abaixo:

$$VE (\%) = (L1 / L2) \times 100$$

em que: VE = vazamento de eletrólitos, L1 = primeira leitura do condutivímetro e L2 = segunda leitura do condutivímetro

Fator de Bioacumulação e Fator de Translocação

As medidas do fator de bioacumulação (BF) e do fator de translocação (TF) são definidas como a concentração do elemento na planta em relação à concentração do elemento no solo e concentração do elemento na parte aérea em relação ao concentração do elemento nas raízes, respectivamente. Como o experimento foi realizado em solução nutritiva, são utilizadas para os cálculos as concentrações dos elementos presentes na solução, de acordo com as fórmulas abaixo:

$$BF = [Cd] / [Cd] \text{ solução}$$

$$TF = [Cd] \text{ parte aérea } / [Cd] \text{ raiz}$$

Onde [Cd] planta é a [Cd] parte aérea + [Cd] raízes, que representam a concentração do elemento na parte aérea e raízes, respectivamente ($\mu\text{g.g}^{-1}$), enquanto [Cd] solução é a concentração do elemento em solução nutritiva (mg L^{-1}) (SHAH et al., 2008; MARCHIOL et al., 2004).

Delineamento experimental e análise estatística

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5 x 7, sendo cinco concentrações de cloreto de cádmio monohidratado aplicado na forma de $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [0 mg L^{-1} (controle); 10 mg L^{-1} ; 20 mg L^{-1} ; 30 mg L^{-1} e 40 mg L^{-1}] composto de sete repetições, totalizando em 35 unidades experimentais (uma planta/vaso). As sete repetições de cada tratamento foram submetidas ao mesmo tipo de aclimação durante todo o período de avaliação.

Para análise de efeito comparativo os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida da análise de regressão (dados quantitativos) pelo programa Sisvar versão 5.4 e as médias comparadas pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSÃO

Concentração de cádmio (Cd)

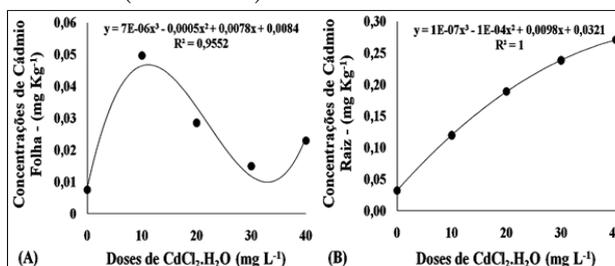
Os resultados apresentados para as concentrações de cádmio nos órgãos foliar e radicular de mogno africano seguiram tendências diferentes, podendo ser observado que nas folhas as maiores concentrações de cádmio ocorrem na dosagem 10 mg L^{-1} . e nas raízes na maior dose de cádmio 40 mg L^{-1} , o comportamento de cádmio nas raízes foram acumulativos, tendo uma concentração acima de $0,25 \text{ mg Kg}^{-1}$, evidenciando que as raízes mantiveram o cádmio nesse órgão. Esses resultados nos permitem afirmar que o processo de translocação de cádmio para a parte aérea foi de baixa eficiência, tendendo mostrar que essa espécie é tolerante a esse metal pesado. Contudo, o cádmio se translocou para parte aérea não ultrapassando valores acima de $0,05 \text{ mg Kg}^{-1}$. como observado na figura 1. Em termos de percentagem o

acúmulo de cádmio em folhas e raízes respectivamente foram 228,5% e 743,75%.

A capacidade de retenção de Cd nas diferentes partes da planta está relacionada ao complexo sistema que envolve adsorção, quelação e compartimentalização, limitando a translocação de Cd da raiz para a parte aérea (NOCITO et al., 2011). As raízes servem de barreira contra a translocação do Cd para a parte aérea, pela imobilização de íons tóxicos na parede celular, fato evidenciado nesse trabalho (SINGH et al., 2008).

Em estruturas foliares, os íons metálicos podem ser incorporados dentro de proteínas ou translocados através do floema, juntamente com os fotoassimiladores, causando assim uma série de fitotoxicidades mesmo em baixas concentrações como o cádmio (AZEVEDO et al., 2012; GALLEGO et al., 2012). A distribuição de cádmio na planta, também está intimamente associada com as fitoquelatinas, onde o complexo de cádmio formado junto às fitoquelatinas pode apresentar uma forma móvel para o transporte do metal pesado das raízes para a parte aérea, através de estruturas como peptídeos ricos em aminoácidos doadores de elétrons.

Figura 1 - Concentrações de Cádmio na folha (A) e na raiz (B) de plantas jovens de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) submetidas à diferentes concentrações de cloreto de cádmio ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).



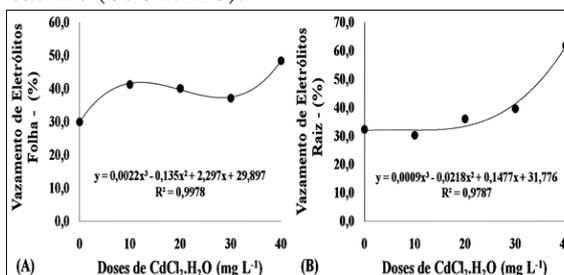
Vazamento de eletrólitos

Evidenciou-se que os níveis crescentes de cloreto de cádmio ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) promoveram aumentos graduais no vazamento de eletrólitos nos tecidos vegetais de plantas jovens de *Khaya grandifoliola* em comparação as plantas controles (Figura 2). Observou-se nos tecidos

foliares um aumento significativo ($p < 0,05$), no tratamento com maior concentração de cádmio 40 mg L^{-1} de $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, correspondendo a um aumento de 61,3 % quando comparado ao tratamento controle. Nas raízes, observou-se um comportamento semelhante aos tecidos foliares, com uma vantagem para esse órgão em relação a essa variável, em virtude de o cádmio ter se acumulado muito mais nesse órgão, em termos percentuais esse aumento representou 91,9 %, quando comparado ao tratamento controle.

Aumentos no percentual de vazamento de eletrólitos está relacionado possivelmente pelo desbalanceamento iônico promovido pela dosagem de cloreto de cádmio. Este mecanismo é um sinalizador de dano na permeabilidade das membranas celulares, onde o seu aumento está em função do acúmulo de íons de Cd^{2+} no mecanismo celular vegetal, o qual em altas concentrações torna-se tóxico e passa a competir por sítios de ligação da membrana com o Ca^{2+} , contribuindo para a sua desestabilização e comprometimento nos componentes citoplasmáticos (SOUZA et al., 2011; FILEK et al., 2012). A integridade das membranas também podem ser afetadas através do aumento dos níveis de radicais antioxidantes devido a presença de concentrações tóxicas de Cd, o qual está associado à peroxidação de lipídios da membrana, inferindo-se que a ação do metal pesado internaliza na célula radicular atravessando a plasmalema por canais iônicos similares aos de Ca^{2+} causando bloqueios internos nos canais de potássio, comprometendo a permeabilidade, fluidez e conformação estrutural de enzimas ligadas a membrana (GILL e TUTEJA, 2010).

Figura 2 - Vazamento de Eletrólitos na folha (A) e na raiz (B) de plantas jovens de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) submetidas à diferentes concentrações de cloreto de cádmio ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).



Uso Eficiente da Água

A eficiência do uso da água (EUA) em plantas de *Khaya grandifoliola* submetidas a doses de cloreto de cádmio mostrou que quanto maior a dose aplicada, maiores os resultados obtidos (Tabela 1). Apresentando como resultados médios 6,01; 5,86; 5,69; 4,95 e 3,93 para tratamentos com 40, 30, 20, 10 e 0 doses de CdCl_2 mg L^{-1} , respectivamente. Quando comparado ao valor médio da EUA do tratamento controle com outros, foi observado um aumento de 26% para T10; 45% para T20, 49% para T30 e 53% para T40. Segundo Zhao (2004), o uso da água instantâneo ou intrínseco é definido em termos fisiológicos como a razão estabelecida entre a taxa de fixação de carbono e a taxa de transpiração (A/E). Assim, a maior EUA observada foi no tratamento com 40 mg L^{-1} , o que pode ser atribuído principalmente ao seu baixo índice de transpiração, já que sua taxa de assimilação de CO_2 não foi superior às demais.

A eficiência de uso da água (EUA) de determinada espécie é expressa pela sua efetividade de fixar carbono enquanto transpira. O sistema foliar do mogno africano não acumulou tanto o cádmio em suas estruturas vacuolares, e essa condição possivelmente não afetou o sistema fotossintético e transpiratório. O aumento da eficiência de uso da água é fundamental para diminuir o desperdício desse recurso (MAHOUACHI, 2009), e isso pôde ser observado nesse estudo, onde as plantas de mogno aumentaram sua eficiência de água principalmente quando ocorria aumento de cádmio.

Tabela 1. Valores médios da eficiência do uso da água (EiUA), em plantas de *Khaya grandifoliola* submetidas a diferentes dosagens de cloreto de cádmio.

Dosagens de CdCl_2 (mg L^{-1})	0	10	20	30	40
EiUA [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$ ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{S}^{-1}$)]	3,93 c	4,95 b	5,69 ab	5,86 ab	6,01 a

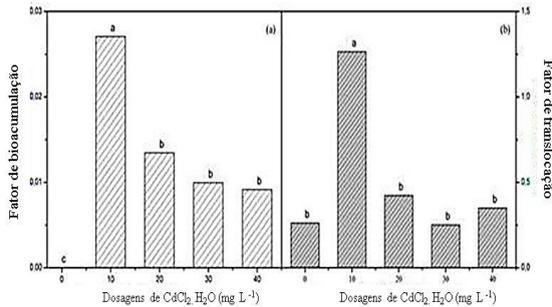
As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fator de Bioacumulação e Fator de Translocação

Os resultados mostraram que *Khaya grandifoliola* apresentou comportamento semelhante entre TF e BT em diferentes concentrações de Cd (Figura 2). O TF foi maior apenas no tratamento com dosagem de 10 mg L^{-1} , para os demais tratamentos com dosagens de 20, 30 e 40

mg L⁻¹, esse fator foi baixo, ou seja, houve restrição na translocação do metal à parte aérea da planta.

Figura 3 - Valores médios do Fator de Bioacumulação (a) e Fator de Translocação (b), em plantas de *Khaya grandifoliola* submetidas a diferentes dosagens de cloreto de cádmio



Para minimizar os efeitos adversos da exposição aos oligoelementos, as plantas desenvolvem mecanismos de tolerância a esses elementos. Os mecanismos responsáveis pela tolerância das plantas aos metais incluem a exclusão e o acúmulo, na qual se evita a absorção por exclusão, que impede a entrada de íons no citosol (BAKER, 1987). A imobilização do Cd na parede celular das raízes é a primeira barreira importante ao estresse promovida pelo Cd (NISHIZONO et al., 1989) há uma restrição na translocação para a parte aérea (BAKER, 1987). A imobilização nas células radiculares juntamente com os baixos valores de FT associados ao BF <1 podem caracterizar o mecanismo de exclusão, visando minimizar a toxicidade do Cd (BAKER, 1987; LEHMANN e REBELE, 2004).

CONCLUSÃO

A espécie (*Khaya grandifoliola*) apresentou características de tolerância ao cádmio, em virtude de concentrar esse metal em grande quantidade no seu sistema radicular.

O desbalanceamento iônico nas membranas celulares ocasionou um maior extravasamento de eletrólitos no sistema radicular das

Rafael Costa Paiva, Liliane Correa Machado, Josilene do Carmo Mescouto de Sousa, Victória Caroline do Moraes, Susana Silva Conceição, Glauco André dos Santos Nogueira, Job Teixeira de Oliveira, Ricardo Shigueru Okumura, Priscilla Andrade Silva, Cândido Ferreira de Oliveira Neto– **Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano**

plantas de mogno africano, quando comparado a parte aérea em virtude de haver um maior acúmulo de cádmio nesse órgão.

Contudo, podemos concluir que mesmo com dano em membranas celulares no sistema radicular, a planta reagiu a esse estresse em virtude de apresentar um uso eficiente de água mais precisamente na parte foliar mesmo em altas concentrações de cádmio, levando a considerarmos mais uma característica da espécie em seu grau de tolerância a esse tipo de estresse.

O fator de bioacumulação e translocação indicou que concentrações de cádmio no valor de 10 mg L⁻¹ de ClCd₂ mg L⁻¹ apresentaram os melhores valores para essa espécie, indicando que a medida que aumentasse as concentrações de cádmio consequentemente esses valores são diminuídos.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, R. A., GRATÃO, P. L., MONTEIRO, C. C., CARVALHO, R. F. (2012) What is new in the research on cadmium-induced stress in plants? **Food Energy Security**, v. 1, p. 133 - 140. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.10>.
- BLUM, A., EBERCON, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. **Crop Science**, v. 21, p. 43 - 47. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100010013x>.
- BAKER, A. J. M. (1987). Metal tolerance. **New Phytologist**, Cambridge, v. 106, n. 1, p. 93 - 111. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb04685.x>.
- COSTA, M. S. da., FEITOSA, C. T. L., CRUZ, S. S. da., RIBEIRO S. B., MORAIS, A. B. F., OLIVEIRA, M. G. de. (2013). Crescimento do mogno em sistema silvipastoril. **Revista Agroecossistemas**, v. 5, p. 53 - 57. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v5i2.1799>.
- FAN, W., XU, Z., WANG, WX. (2011). Metal pollution in a contaminated bay: Relationship between metal geochemical fractionation in sediments and accumulation in a polychaete. **Environmental Pollution**, v. 191 p. 50 - 57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.04.014>.
- FILEK, M., WALAS, S., MROWIEC, H., RUDOLPHY-SKO, R. S. K. A. E., SIEPRA, W. S. K. A. A., BIESAGA K. C. J. (2012). Membrane permeability and micro- and macroelement accumulation in spring wheat cultivars during the short-term effect of salinity- and PEG-induced water stress. **Acta Physiology Plant**, v. 34, p. 985 - 995. DOI: [10.1007/s11738-011-0895-5](https://doi.org/10.1007/s11738-011-0895-5).
- GILL, S. S., TUTEJA, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909 - 930. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.

Rafael Costa Paiva, Liliane Correa Machado, Josilene do Carmo Mescouto de Sousa, Victória Caroline do Moraes, Susana Silva Conceição, Glauco André dos Santos Nogueira, Job Teixeira de Oliveira, Ricardo Shiguera Okumura, Priscilla Andrade Silva, Cândido Ferreira de Oliveira Neto– **Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano**

- GALLEGO, S. M., WOJCIK, M., VANGRONSVELD, J., TUKIENDORF, A. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. **Environmental and Experimental Botany**, v. 83, p. 33 - 46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.04.006>.
- LEHMANN, C., REBELE, F. (2004). Assessing the potential for cadmium phytoremediation with *Calamagrostis epigejos*: a pot experiment. **International Journal of Phytoremediation**, London, v. 6, n. 2, p. 169 - 183. DOI: <https://doi.org/10.1080/16226510490454849>.
- MARCHIOL, L., ASSOLARI, S., SACCO, P., ZERBI, G. (2004). Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. **Environmental Pollution, Barking**, v. 132, n. 1, p. 21 - 27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.04.001>.
- MAHOUACHI, J. (2009). Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual oil moisture depletion. *Scientia Horticulturae*, v. 120, p.466 - 469. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.12.002>.
- NISHIZONO, H., KUBOTA, K., SUZUKI, S., ISHII, F. (1989). Accumulation of heavy metals in cell walls of *Polygonum cuspidatum* roots from metalliferous habitats. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 30, n. 4, p. 595 - 598. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077780>.
- NOCTO, F. F., LANCILLI, C., DENDENA, B., LUCCHINI, B., SACCHI, G. (2008). Cadmium retention in rice roots is influenced by cadmium availability chelation and translocation. **Plant, Cell and Environment**, v. 34, p. 994 - 1008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02299.x>.
- NEVES, P. A. P. F. G., PAULA, M. T., AMARANTE, C. B., CARNEIRO, B. S., FAIAL, K. C. F., MENDES, L. C. S. (2016). BOTERO, W. G.; SERRÃO, C. R. G.; DANTAS FILHO, H. A. Determinação de metais em espécies florestais da amazônia. **Revista Virtual de Química**, v. 8, p. 87 - 97. ISSN: 1984-6835.
- PINHEIRO, A. L. (2000). Resistência do mogno (*Swietenia macrophylla* King) à *Hypsipyla grandella* (Zeller). Folha Florestal. **Informativo Técnico**. Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, n. 97.
- SOARES, C. R. F. S. S., SIQUEIRA, J. S., CARVALHO, de J. G., MOREIRA, F. M. S. (2005). Fitoxidez de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 29, p. 175 - 183. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000200001>.
- SHAH, F. R., AHMAD, N., MASOOD, K. R., ZAHID, D. M. (2008). The influence of Cd and Cr on the biomass production of Shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) seedlings. *Pak. J. Bot.*, 40 (4): 1341 - 1348. ISSN: 2070-3368.
- SINGH, S., NAFEEES, A. K., RAHAT, N., NASER, A. A. (2008). Photosynthetic Traits and activities of antioxidant enzymes in blackgram (*Vignamungo*L. Hepper) under cadmium stress. *Am. J. Plant Physiol.*, v. 35, p. 25 - 32. ISSN: 1557-4539.
- SOUZA, V. L., HAWKESFORD, M. J., BARRACLOUGH, P. (2011). Morphophysiological responses and programmed cell death induced by cadmium in *Genipa americana* L. (Rubiaceae). **Biomaterials**, v. 24, p. 59 - 71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9374-5>.

Rafael Costa Paiva, Liliane Correa Machado, Josilene do Carmo Mescouto de Sousa, Victória Carolline do Moraes, Susana Silva Conceição, Glauco André dos Santos Nogueira, Job Teixeira de Oliveira, Ricardo Shiguero Okumura, Priscilla Andrade Silva, Cândido Ferreira de Oliveira Neto– **Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano**

TAIZ, L., ZEIGER, E. (2013). Fisiologia Vegetal. 5ª.ed. Porto Alegre: **Artmed**. 918 p. ISBN: 978-8536327952.

ZHAO, B., KONDO, M., MAEDA, M., OZAKI, Y., ZHANG, J. (2004). Water-use efficiency and carbon isotope discrimination in two cultivars of upland rice during different developmental stages under three water regimes. **Plant and Soil**. The Hague, v. 261, p. 61 - 75. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000035562.79099.55>.