



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATOLICA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO EM ECOLOGIA E PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

Elitânia Gomes Xavier

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL DAS ESPÉCIES *HANDROANTHUS*
AVELLANEDAE (Lorentz ex Griseb.) Mattos E *HANDROANTHUS*
SERRATIFOLIUS (Vahl.) S. Grose (BIGNONIACEAE-LAMIALES) EM
DIFERENTES DOSAGENS DE NÍQUEL.**

Goiânia
2014

Elitânia Gomes Xavier

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL DAS ESPÉCIES *HANDROANTHUS*
AVELLANEDAE (Lorentz ex Griseb.) Mattos E *HANDROANTHUS*
SERRATIFOLIUS (Vahl.) S. Grose (BIGNONIACEAE-LAMIALES) EM
DIFERENTES DOSAGENS DE NÍQUEL.**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Ecologia e Produção
Sustentável da Pontifícia Universidade
Católica de Goiás como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre

Orientador: Prof. Dr. Jales Teixeira Chaves Filho

Goiânia
2014

Elitânia Gomes Xavier

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL DAS ESPÉCIES *HANDROANTHUS*
AVELLANEDAE (Lorentz ex Griseb.) Mattos E *HANDROANTHUS*
SERRATIFOLIUS (Vahl.) S. Grose (BIGNONIACEAE-LAMIALES) EM
DIFERENTES DOSAGENS DE NÍQUEL.**

APROVADO EM: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jales Teixeira Chaves Filho
Orientador

Prof. Dr^a. Maira Barbieri
Avaliadora

Prof. Dr. Antônio Pasqualetto
Avaliador

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação ao meu melhor presente, o Emanuel que multiplicou o valor desse mestrado, e ao meu amado Dalles Rodrigo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, por suas bênçãos e pela direção do melhor caminho, mesmo que essa jornada não tenha sido a mais fácil.

A Pontifícia Universidade Católica de Goiás e a parceria com a Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior que me proporcionaram uma bolsa de estudos, permitindo a conclusão desse curso.

A coordenação, ao secretário e aos professores do Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável, pelo auxílio, pela troca de conhecimento e apoio, alguns se tornaram meus amigos, meu eterno agradecimento.

Ao meu orientador o prof. Dr. Jales Teixeira Chaves Filho, grande homem, com um coração enorme e uma sabedoria de vanguarda. Muito obrigada, pelo carinho, a amizade, a disposição, por responder os e-mails, por comparecer aos encontros, treinar os estagiários, no preparo do experimento, mas, principalmente agradeço por responder as mensagens de celular, isso é impar em um orientador.

Aos meus pais, Ermínio e Maria Aparecida pelo apoio, pelo orgulho, o carinho e por dizerem sempre: "Vai lá e faz! Eliane e Elvislaine, vocês fizeram a diferença, esse título é de vocês também. E aos familiares que me abrigaram e se coloraram a disposição pra me auxiliar a qualquer momento.

Amigos são irmãos que escolhemos, obrigada Luciene e Altamiro. Outros surgem como anjos e nos arrebatam o coração como a Jussara e a Steffânia que me ajudaram muito nessa caminhada. Aos meus estagiários queridos: o Fausto, a Pâmela e a Jennifer, muito obrigada, eu não sei o que seria de mim sem vocês.

Ao meu esposo, que desde o primeiro instante me apoiou nesta jornada. Estava ao meu lado ao fazer a inscrição, a matrícula, acompanhou cada disciplina, cada trabalho, conheceu os professores, ajudou na coleta de dados firme e forte. Muito obrigada Dalles Rodrigo por partilhar esse mestrado. Muito obrigada pelo presente maravilhoso no meio do caminho, nosso lindo filho, o Emanuel Xavier Silva. Obrigada por terem transformado a minha jornada e ter feito tudo ficar mais emocionante.

Há quem me julgue perdido, porque ando a ouvir estrelas [...]

Eu vos direi "Amei para entendê-las
Pois só quem ama pode ter ouvidos
Capaz de ouvir e entender as estrelas.

Via láctea - Olavo Bilac

RESUMO

Essa pesquisa lançou-se a busca evidências estatísticas que demonstrem que as *Handroanthus avellanae* e *Handroanthus serratifolius* são capazes de sobreviver, tolerar e se desenvolver em diferentes dosagens de níquel no solo. Estas espécies possuem potencial ornamental, paisagístico, madeireiro e medicinal podem gerar renda e ao mesmo tempo descontaminar o solo. O experimento (Figura 3a) foi realizado com cinco tratamentos aplicando as seguintes dosagens de Ni: 0,0mg.L⁻¹, 20,0mg.L⁻¹, 40,0mg.L⁻¹, 60,0mg.L⁻¹, e 80mg.L⁻¹ e 100,0mg.L⁻¹, cada tratamento teve sete repetições. As diferentes soluções contendo níquel foram obtidas pela diluição de uma solução estoque padronizada (100,0mg.L⁻¹) utilizando (NiNO₃)₂. A análise de crescimento é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em períodos determinados, para se quantificar o seu desenvolvimento (MAGALHÃES, 1979). Permite conhecer as diferenças funcionais e estruturais entre plantas e estimar o acúmulo de fitomassa, de forma a identificar respostas aos tratamentos (BENINCASA, 2003). Para análise dos dados foram realizados testes estatísticos, utilizando o teste de ANOVA. As diferentes concentrações do metal pesado níquel não afetaram de forma significativa o crescimento e desenvolvimento das espécies *Handroanthus avellanae* e *Handroanthus serratifolius* em relação aos parâmetros da altura, diâmetro, área foliar, peso seco da parte aérea, peso seco das raízes e nos cortes anatômicos. Concluiu-se que as plantas pesquisadas podem ser tolerantes a presença do metal pesado Ni durante o período de crescimento inicial. A estrutura anatômica igualmente não foi alterada pela aplicação de níquel, permanecendo sem danos celulares e tissulares. As espécies avaliadas possuem potencial para uso em áreas contaminadas por níquel, vez que a concentração suportada é maior do que preconiza a legislação brasileira para este metal pesado.

Palavras chave: Metais pesados, Fitorremediação, Cerrado, Níquel, Handroanthus.

ABSTRACT

This research seeks for statistic evidences which show that *Handroanthus serratifolius* and *Handroanthus avellanedae* are able to survive, endure and develop in different nickel dosages in the soil. These species have ornamental, landscaping, timber and medicinal potential, they can provide income while decontaminate the soil. The experiment (Figure 3a) was carried out with five by applying the following dosages of Ni: 0.0 mg.L⁻¹, 20.0 mg L⁻¹, 40.0 mg L⁻¹, 60.0 mg L⁻¹ and 80mg.L⁻¹ and 100.0 mg l⁻¹, each treatment had seven repetitons. The different solutions containing nickel were obtained by dilution of a stock standard solution (100.0 mg l⁻¹) using (NiNO₃)₂. The growth analysis is a method that describes the morphophysiological conditions of the plant at certain times, to quantify its development (Magalhães, 1979). It allows to know the functional and structural differences among the plants and to estimate the biomass formation, to identify responses to treatments (BENINCASA, 2003). For data analysis, statistical tests were performed using ANOVA. Different concentrations of the heavy metal nickel did not affect significantly the growth and development of the *Handroanthus avellanedae* and *Handroanthus serratifolius* species regarding the height, diameter, leaf area, dry weight of the air part, dry weight of roots and anatomical cuts parameters. It was concluded that the surveyed plants can tolerate the presence of the heavy metal Ni during the initial growth period. The anatomical structure also was not altered by the application of nickel, remaining without cell and tissue damages. These species have potential for use in contaminated areas by nickel, once the concentration supported is higher than Brazilian law calls for this heavy metal.

Keywords: Heavy metals, Phytoremediation, Cerrado, Nickel, Handroanthus.

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo;

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;

DIN - *Deutsches Institut für Normung* (Instituto alemão de normatização);

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

FIEMIG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais;

IARC - Agência Internacional de pesquisa sobre o Câncer;

ISO - *International Organization for Standardization*;

USEPA – *US Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1. REFERENCIAL TEÓRICO	14
1.1. CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL E A REMEDIAÇÃO.....	14
1.1.1. Contaminação do meio ambiente	14
1.1.2. Metodologias remediativas	16
1.2. O POTENCIAL DO BIOMA CERRADO	21
1.2.1 O bioma Cerrado	21
1.2.2 As espécies estudadas: <i>Handroanthus avellanadae</i> e <i>Handroanthus serratifolius</i>	25
1.3. O NÍQUEL: CARACTERIZAÇÃO DE ESSENCIAL A TÓXICO.....	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1. MATERIAL VEGETAL.....	33
2.2. MONTAGEM DOS EXPERIMENTOS.....	35
2.3. COLETA DE DADOS	36
2.4. ANÁLISE DE DADOS	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1. ALTURA.....	41
3.2. DIÂMETRO	48
3.3. ÁREA FOLIAR	54
3.4. PESO SECO DA PARTE AÉREA.....	59
3.5. PESO SECO DA RAIZ.....	64
3.6. CORTES ANATÔMICOS	68
CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

INTRODUÇÃO

A diversidade de atividades agrícolas, industriais, domésticas, hospitalares ou comerciais, gera muito resíduo para sustentar sete bilhões de pessoas (DOMINGUES, 2009). Os resíduos têm como destino, a incineração, a escavação e soterramento no solo, a extração com solventes, armazenamento, dentre outros, sendo que as principais metodologias de tratamento executadas atualmente são bastante dispendiosas (DINARDI, 2003).

A extração de minérios acontece de forma abrupta, os recursos naturais estão se exaurindo e a capacidade de resiliência do planeta não acompanha as demandas de consumo da atualidade. A poluição ambiental com metais pesados é crescente e têm sérios impactos, Baker et al., (1994) aborda que a mineração e a indústria metalúrgica são as atividades que mais contribuem para a poluição do solo, principalmente a de metais não ferrosos. Para esses autores, a extração, o transporte, a industrialização e o consumo de produtos contendo alguns metais produzem grandes quantidades de rejeitos, muitas vezes com elevados teores de Ni, Cr, Cu, Pb, Cd e Zn, que afetam severamente a vegetação, solos, ar e água.

Outra fonte de contaminação com metais pesados é a agricultura, que fornece fertilizantes, corretivos e defensivos químicos às lavouras, quando esses elementos são usados em excesso podem percolar para lençol freático ou ser lixiviado para outros locais seja nos solos ou água. A urbanização também é uma fonte preocupante de contaminação por metais pesados principalmente quando os rejeitos são dispostos de forma inadequada (BAKER et al., 1994; DOMINGUES, 2009).

Áreas contaminadas podem ser tratadas por meio da remediação, uma metodologia que visa impedir ou dificultar a disseminação de substâncias tóxicas no meio, principalmente quando esses prejuízos afetam interesses econômicos (TAVARES, 2009). A remediação é algo natural, em razão da energia e do magnetismo das moléculas, relacionadas à habilidade de ligação, inativação ou aumento da atividade enzimática, a capacidade de se atraírem, formar compostos, de se repelirem e/ou quebrar cadeias. No entanto ainda é considerada uma nova tecnologia, pois somente nos últimos anos estas técnicas estão sendo dominadas para tratar locais contaminados com o uso de agentes biológicos (BENTO *et al.*, 2003). Os tratamentos biológicos são eficientes, quando bem manejados, são

utilizados microorganismos que possuem inúmeras possibilidades e condições para metabolizar os compostos químicos (FIEMG, 2012).

Uma das metodologias de tratamento biológico é a fitorremediação. A fitorremediação utiliza os vegetais para tratar locais contaminados. As plantas e/ou algas interagem com o contaminante podendo assim imobilizá-lo, inativá-lo ou extraí-lo do meio. Pesquisas voltadas para plantas com capacidade fitorremediadora são importantes para o processo de descontaminação de áreas de uma forma ecologicamente correta e financeiramente viável.

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, engloba um terço da biodiversidade brasileira e cinco por cento da flora e fauna mundial. De acordo com Mendonça et al., (1998) e Klink e Machado (2005) o Cerrado possui a mais rica flora dentre as savanas, com alto nível de endemismo. A quantidade de plantas vasculares é superior a existente na maioria das regiões. Quarenta e quatro por cento da flora é endêmica, muitas plantas não sobrevivem e proliferam em condições diferentes das quais nasceram. Esse bioma possui plantas que convivem com metais, numa diversidade de habitat's, de fitofisionomias e centenas de espécies. Entretanto possui pouco reconhecimento de sua importância, os estudos são esparsos e falta uma legislação específica para o bioma (MENDONÇA et al., 1998; KLINK e MACHADO, 2005).

No processo evolutivo a flora de bioma Cerrado se adaptou as condições climáticas da região, em que há uma interação planta, clima, solo e minerais disponíveis. Saber como os vegetais interagem com metais pesados e os utilizam é abrir um leque para processos remediativos de descontaminação por meio da fitorremediação.

Para Baker et al., (1994) o uso de plantas acumuladoras ou hiperacumuladoras podem ser explorada para a remoção de metais pesados de solos contaminados. Plantas nativas convivem com altos teores de alguns metais e pesquisá-las é importante para tratamentos em processos fitorremediativos. Uma vez que tais plantas tenham condições de crescer sob cultivo intensivo havendo então a descontaminação do local em longo prazo. Baker et al., (1994) ressalta que a fitorremediação não promove apenas a atividade biológica e a manutenção da estrutura física do solo, é uma técnica de baixo custo, visualmente discreta e oferece a possibilidade de biorecuperação de metais, ao se utilizar plantas extrativas por

exemplo. Esses autores lembram que, é necessário longo prazo para a descontaminação do local e esta técnica precisa ser bem compreendida.

O níquel foi o último elemento inserido na lista de micronutrientes essenciais para o desenvolvimento de plantas, é constituinte da metaloenzima urease, participa do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), atua no metabolismo do nitrogênio, auxilia no aumento da atividade da uréase foliar, ajuda no crescimento, metabolismo, envelhecimento, está ligado diretamente na absorção de ferro (Fe) pelas plantas; e tem papel importante na resistência das plantas a doenças (MALAVOLTA et al., 2006; MALAVOLTA e MORAIS, 2007).

Os teores naturais de níquel nos solos, não causam preocupação, no entanto esses teores podem aumentar devido à interferência antrópica e a dispensa de fontes em potencial no solo. Segundo a literatura o níquel é um metal pesado que, em excesso tem efeito tóxico para os organismos vivos e pode afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

De acordo com Kristin, Kevin e Kim (2013) em seres humanos a toxicidade de Ni pode provocar sintomas, que vão desde dores de cabeça, vertigens, náuseas, insônias, dermatites até pneumonias. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o níquel metálico, suas ligas e compostos como cancerígenos para o ser humano. O níquel pode chegar até o ser humano pelo ar, principalmente para funcionários de indústrias que possuem o Ni na composição da matéria prima, em água ou solo contaminado, ou até mesmo utensílios banhados a níquel como panelas ou pilhas contendo Ni (KRISTIN, KEVIN e KIM, 2013).

Segundo Paiva et al., (2004) plantas que crescem em ambientes contaminados com Ni apresentam uma série de distúrbios nutricionais, sendo muitas vezes sintomas de toxicidade. Afeta, por exemplo, a absorção e o transporte de Fe na planta, o que diminui a pigmentação da folha que passa a apresentar sintomas de clorose (CAMPANHARO et al., 2010). E ainda, as alterações na clorofila e carotenóide se esvaem para o sistema fotossintético da planta, o que interfere na eficiência fotoquímica. A fitotoxicidade de Ni é resultado de sua ação no fotossistema, ocorrem distúrbios no ciclo de Calvin e inibição do transporte elétrico por causa das quantidades excessivas de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações de escuro (KRUPA et al., 1993; BERTON et al. 2006; e CAMPANHARO et al., 2010).

A legislação brasileira dispõe que a partir de 40mg.kg^{-1} de níquel no solo, este passa a ser considerado contaminado (BRASIL, 2009), Adriano (1986) aborda que

sintomas de toxicidade de Ni surgem em concentração maiores que 50mg.kg^{-1} na matéria seca das plantas com exceção das espécies acumuladoras e hiperacumuladoras. Dentre os principais sintomas que surgem estão a clorose e necrose de folhas, iniciando pelas folhas novas (MACEDO e MORRIL, 2008). Os sintomas de toxidez se desenvolvem de acordo com a absorção do metal e podem interferir no crescimento de plantas não tolerantes.

A dosagem e a necessidade da espécie definem a essencialidade ou a toxidez. Toda planta delinea um limite de segurança para seu ótimo de desenvolvimento. A capacidade de tolerar, de adaptar-se ao meio e usar mecanismos particulares de sobreviver resulta de uma cadeia de fatores que instigam a pesquisa científica para compreender as reações das plantas em relação aos metais pesados presentes no solo.

O objetivo desta pesquisa foi analisar as espécies *Handroanthus avellanae* e *Handroanthus serratifolius* e verificar se elas eram capazes de sobreviver, tolerar e se desenvolver em diferentes dosagens de níquel em condições de viveiro. Estas espécies possuem potencial ornamental, paisagístico, madeireiro e medicinal, e podem gerar renda por meio do reflorestamento de locais contaminados. Realizar uma avaliação do crescimento inicial das espécies *H. avellanae* e *H. serratifolius* em diferentes dosagens de níquel é importante para gerar dados em relação à interação planta-metal, para poder realizar pesquisas mais avançadas relacionadas à fitorremediação utilizando tais espécies.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL E A REMEDIAÇÃO

1.1.1. Contaminação do meio ambiente

De acordo com Dinardi (2003) os gastos anuais com a despoluição ambiental gira em torno de 25 a 30 bilhões de dólares. Vários países como a Rússia, Irã, Japão e a maior parte dos países europeus aplicam a descontaminação ambiental do solo e da água. Esta mesma autora afirma que este é um mercado estável nos Estados Unidos, movimentando em torno de sete a oito bilhões de dólares e tende a crescer no Brasil. A sociedade brasileira passa por transformações econômicas e sócio-ambientais a preocupação com a poluição aumenta a cada dia, crescem as exigências por uma produção limpa, econômica e eficiente (DINARDI, 2003).

As áreas contaminadas no Brasil não contam com uma legislação específica (CETESB, 1999). Existe um conjunto de artigos, leis e resoluções que se complementam para salientar a preocupação ambiental no Brasil, que se amparam quanto à necessidade de se preservar o meio ambiente. Bem como despoluir áreas prejudicadas por ações antrópicas. Brasil (1998) estabelece os princípios da política nacional do meio ambiente no capítulo VI, Art. 225, é colocado o princípio em que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo às presentes e futuras gerações (Brasil 1998 p.01)

A natureza é um bem essencial da presente e de futuras gerações. A responsabilidade de preservar é de toda a nação, é um dever defender o meio ambiente no Brasil. A Lei Federal 6.938/81, dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências (BRASIL, 1981), foi regulamentada pelo *Decreto 99.274/90*, que introduz alguns instrumentos de planejamento ambiental e determina a responsabilidade/penalidade para casos de poluição (CETESB, 1999): Em Brasil (1981) está descrito que:

Art. 2º – A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições de desenvolvimento

socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios: (...)
VIII – recuperação de áreas degradadas;

Art. 3º – Para os fins previstos nesta lei, entende-se: (...)
II – degradação da sua qualidade, a alteração adversa das características do meio ambiente.

Art. 4º – A Política Nacional do Meio Ambiente visará: (...)
VII – à implantação, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados (BRASIL, 1981 p.01).

A remediação dos problemas ambientais provocados pelo homem é uma obrigação de todo àquele que polui e de todos que pretendem usufruir dos recursos naturais do País (CETESB, 1999). Em conformidade com o Art. 14, IV, § 1, o responsável pela poluição tem a obrigação de reparar os danos causados por suas atividades, ao meio ambiente ou a terceiros, ou deve pagar indenização, o valor pago deve ser empregado em benefício do meio prejudicado (BRASIL, 1981).

Art. 14, IV, § 1º – Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade (BRASIL, 1981 p.05).

A Lei nº 9.605/98 é um complemento das penalidades para aqueles que poluem e contaminam o meio, prevê sanções penais e administrativas derivadas das leis de crimes ambientais, condutas e atividade lesivas ao meio ambiente (BRASIL, 1998). Na Seção III a lei prevê multas e penas de reclusão quando se trata da poluição e outros crimes ambientais, conforme o Art. 54

Art. 54 – Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora: Pena - reclusão, de um a quatro anos, e multa (BRASIL, 1998).

Devido à necessidade de se estipular parâmetros que definam melhor a qualidade dos solos no Brasil, foi criado a RESOLUÇÃO Nº 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009, Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, que:

Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas

substâncias em decorrência de atividades antrópicas (BRASIL, 2009 p. 81-84).

Nesta resolução há a busca de prevenção, formulação de critérios, definição de valores orientadores, diagnóstico e a necessidade de reestruturação de áreas contaminadas. Por meio do estabelecimento de procedimentos, critérios integrados e prevenção da contaminação do solo, subsolo e água subterrânea (BRASIL, 2009).

O CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente elabora várias diretrizes para verificar a qualidade dos solos, a contenção do processo de contaminação e busca facilitar o tratamento. Seja com o estabelecimento de valores de referência de qualidade; da necessidade de fazer amostragem dos diferentes tipos de solo; propor metodologias analíticas e auxiliar na interpretação estatística, ou seja, na fiscalização e aplicação de corretivos para àqueles que poluem (BRASIL, 2009).

Existem parâmetros que podem determinar a qualidade do meio ambiente como testes de: carbono orgânico, pH, capacidade de troca iônica, teor de argila, silte, areias e óxidos e alguns parâmetros regionais estabelecidas por órgãos Estaduais e Municipais. Além de se apoiar em metodologias da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA, *International Organization for Standardization* - ISO, *Deutsches Institut für Normung* - DIN, dentre outras entidades idôneas e capacitadas no mercado de pesquisas e certificação (BRASIL, 2009).

1.1.2. Metodologias remediativas

A remediação de uma área contaminada pode ser feita de três maneiras: no local que ocorreu a contaminação *com remoção (on site)* ou não do solo (*in situ*); *fora do local* onde ocorreu a contaminação recolhendo o material contaminado e tratando-o em um local específico (*ex situ*); ou aplicando as duas simultaneamente, quando o objetivo é remover a fonte e reduzir a contaminação a níveis aceitáveis. Antes de avaliar as técnicas remediativas deve-se verificar se há necessidade de ações imediatas, por medida de segurança, definir objetivos e metas, analisar a os tipos de contaminação e estabelecer medidas de segurança para o meio ambiente e a saúde humana (FIEMG, 2012 e CETESB, 2013).

Alguns métodos e técnicas de tratamento de solos contaminados podem ser térmicos: por combustão ou pirólise. Podem ser físico-químicos de forma seca com a

uma injeção de ar e/ou dessortação de reator, ou úmido onde há a lavagem do solo por meio de extração. Podem ser por processos especiais como a vitrificação e tratamentos de eletrocinéticos. Podem ser por isolamento em que há o confinamento do resíduo com aplicação de produtos ou não. E as biológicas: *landfarming*, reatores biológicos, compostagem, descontaminação no local, biorremediação, fitorremediação, dentre outras (FIEMG, 2012).

A biorremediação é uma metodologia de tratamento em que ocorre a injeção de agentes estimulantes, nutritivos (nitrogênio e potássio), oxigenados, biossurfactantes e a inoculação de consórcios microbianos enriquecidos (bioaumento), cujo objetivo é aumentar a eficiência e multiplicação de microrganismos (fungos e bactérias), que preferivelmente sejam do próprio local, para acelerar a degradação dos poluentes e desintoxicação local (BHUPATHIRAJU et al., 2002; BENTO et al., 2003; MARIANNO, 2006; e TAVARES, 2009).

Os solos e as águas possuem um elevado número de microrganismos adaptados e que se adaptam as fontes de energia e ao carbono disponível. Os microrganismos naturais podem ser estimulados para que possam degradar de forma controlada os contaminantes, criando um ambiente propício para seu desenvolvimento (FIEMG, 2012).

Para se implantar a biorremediação é necessária uma análise multidisciplinar do ambiente para se conhecer a biorremediação natural. Devem-se analisar as características intrínsecas de cada sítio, verificar as fontes e o objetivo do processo. Cada tipo de contaminação apresenta um risco e seu tratamento deve ser de acordo com a legislação vigente (TAVARES, 2009). Os ciclos da natureza seguem suas características e realizam tudo de forma bem minuciosa, entretanto o tempo que o homem dispõe, não acompanha o ciclo natural.

O benefício da biorremediação é a mineralização do poluente, a transformação dos compostos tóxicos em gás carbônico, água e biomassa. Ao monitorar o tratamento de poluentes com estratégias biológicas e naturais é mais econômico, pois há pouca a intervenção durante o processo de descontaminação e mais segurança que os tratamentos químicos (BHUPATHIRAJU et al., 2002; BENTO et al., 2003; MARIANNO, 2006; TAVARES, 2009).

Uma das metodologias da biorremediação é o uso de vegetais para auxiliar na descontaminação ambiental, denominado de fitorremediação. É uma técnica que utiliza os mecanismos de defesa e tolerância das plantas, por exclusão do

contaminante, para evitar ou diminuir sua entrada no vegetal, ou pela produção de proteína, denominadas de fitoquelatinas, que eliminam os metais, ou transformam o resíduo tóxico em vertentes menos intoxicante (POMPEU et al., 2008).

Paiva et al., (2004) analisaram o trabalho de Peterson que desde 1971 já vem afirmando que há evidências na literatura de que as plantas que crescem em solos contaminados por metais pesados não podem prevenir a absorção, mas acumulam estes metais em seus tecidos. Tavares (2009) discorre que o vegetal possui capacidade de adaptação a ambientes extremos e adversos a sua sobrevivência. Algumas espécies interagem de forma simbiótica com diversos organismos e promovem a troca de nutrientes e metais pesados. O que facilita a adaptação em solos salinos, ácidos, pobres e/ou ricos em nutrientes e contaminados.

Muitas plantas podem ser selecionadas por removerem substâncias tóxicas, quebrar moléculas, fazer interações, tornar nutrientes solúveis para assimilação e deposição nos tecidos vegetais. A raiz é uma parte da planta que apresenta técnicas que biotransformam moléculas, vantagem esta para a despoluição e recuperação de áreas (RASKIN'S, SMITH e SALT, 1997; COUTINHO e BARBOSA, 2007).

Dinard (2003) aborda que,

[...] as substâncias alvos da fitorremediação incluem metais (Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se), compostos inorgânicos (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}), elementos químicos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo (BTEX -), pesticidas e herbicidas (atrazine, bentazona, compostos clorados e nitroaromáticos), explosivos (TNT - trinitrotolueno, DNT - dinitrotolueno), solventes clorados (TCE - trichloroethylene, PCE - perchloroethylene) e resíduos orgânicos industriais (PCPs - pentaclorofenol, PAHs - hidrocarbonetos aromáticos e policíclicos), entre outros (DINARDI, 2003 p.).

Para Tavares (2009) os vegetais atuam de forma direta onde os compostos são absorvidos, acumulados e metabolizados nos tecidos depois que são mineralizados, ou indiretamente, quando os vegetais extraem contaminantes das águas subterrâneas reduzindo a fonte, ou a planta propicia o aumento da atividade microbiana que degrada o contaminante.

Sainger et al. (2011) analisaram as concentrações de metais pesados (Cr, Zn, Fe, Cu e Ni) em plantas com características hiperacumuladoras, em solos contaminados com efluentes industriais de galvanoplastia. Destacaram que a acumulação variou com a espécie, a planta, os tecidos e o metal. A espécie *Amaranthus viridis* destacou e concentrou mais de 1000mg.kg^{-1} de Fe. Oito

espécies de plantas se destacaram para o Zn e Fe, três para Cu e duas para Ni, que podem ser utilizadas na tecnologia de fitoextração. Estas espécies exibiram alta adaptabilidade aos metais e podem ser considerados como potenciais hiperacumuladoras. O potencial fitoremediativo destas plantas pode ser utilizado para remediar solos contaminados, embora a posterior investigação seja necessária.

Para que plantas fitorremediadoras sejam eficazes no tratamento de solos contaminados, de acordo com Halim, Conte e Piccolo (2003) vai depender da capacidade de absorção das plantas, que podem ser influenciadas tanto pelo húmus local ou húmus exógeno. Depois de alguns estudos esses autores sugerem que o solo que passa por alterações e recebe húmus exógeno pode acelerar a fitorremediação de metais pesados de águas contaminadas solo, enquanto que ao mesmo tempo impedem a mobilidade desses metais.

Dinard (2003), Gratão et al., (2005), Tavares (2009), dentre outros autores, apresentam os principais métodos da fitoremediação. Classificados dependendo da técnica a ser empregada, da natureza química ou da propriedade do poluente que pode ser compreendida em: fitoextração, fitoestabilização, fitoestimulação, fitovolatilização, fitodegradação, risofiltração, barreiras hidráulicas, capas vegetativas e açudes artificiais.

Na fitoextração os contaminantes são absorvidos pelas raízes, armazenados ou são transportados e acumulados na parte aérea da planta. Os principais metais extraíveis são o Cd, Ni, Cu, Zn, Pb, compostos inorgânicos (Se) e orgânicos. São utilizadas plantas hiperacumuladoras, que armazenam altas concentrações de metais específicos. As espécies *Brassica juncea*, *Aeolanthus biformifolius*, *Alyssum bertolonii*, *Thlaspi caerulescens*, são exemplos de plantas acumuladoras de Pb, Cu/Co, Ni e Zn respectivamente como aparece em Dinard (2003), Gratão et al., (2005), Tavares (2009), dentre outros autores.

Na fitoestabilização de acordo com Dinard (2003), Gratão et al., (2005), Tavares (2009), dentre outros autores, algumas plantas reduzem a mobilidade e a migração dos contaminantes do solo. Esses são incorporados à lignina da parede vegetal ou ao húmus, os metais são precipitados de formas insolúveis e armazenados na matriz. Os contaminantes permanecem no local, a vegetação e o solo podem necessitar de um longo período para estabilizar o local, para impedir o carreamento de metais e uma futura lixiviação ao longo do perfil do solo. As

espécies *Haumani astrum*, *Eragrostis*, *Ascolepis*, *Gladiolus* e *Alyssum* já são cultivadas para esse fim.

Segundo Dinard (2003), Gratão et al., (2005), Tavares (2009), dentre outros autores, a fitoestimulação é utilizada para conter contaminantes orgânicos, as raízes em crescimento promovem a proliferação de microrganismos de degradação na rizosfera, que usam o fornecimento de tecidos vegetais como fonte de energia, sombreamento e aumento da umidade do solo, favorecendo as condições ambientais para o desenvolvimento dos microrganismos. As *Pseudomonas* são organismos que associados a raízes auxiliam na promoção desta técnica. As plantas também podem excretar as próprias enzimas biodegradativas, uma vez que a comunidade microbiana é heterogênea e a distribuição de nutrientes é variável.

Na fitovolatilização a planta absorve contaminantes do solo ou água, converte-os em formas voláteis e liberam na atmosfera. A volatilização pode ocorrer por biodegradação na rizosfera ou absorção pela planta, passa pela atuação ou não dos processos metabólicos e são liberados na atmosfera na forma original ou transformados. A fitovolatilização ocorre com alguns íons dos elementos dos subgrupos II, V e VI da Tabela periódica, especificamente o, mercúrio, selênio e arsênio (DINARD, 2003; GRATÃO et al., 2005; TAVARES 2009; dentre outros autores).

Na fitodegradação os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas. Entre essas enzimas destacam-se as nitroredutases (degradação de nitroaromáticos), desalogenases (degradação de solventes clorados e pesticidas) e lacases (degradação de anilinas). *Populus sp.* e *Myriophyllum spicatum* são plantas utilizadas nestas técnica (DINARD, 2003; GRATÃO et al., 2005; TAVARES 2009; dentre outros autores).

A rizofiltração é uma metodologia em que as plantas terrestres vão absorver concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso através do seu sistema radicular. São preferíveis plantas com grande biomassa radicular, como *Helianthus annuus* e *Brassica juncea* (DINARD, 2003; GRATÃO et al., 2005; TAVARES 2009; dentre outros autores).

As barreiras hidráulicas é o uso de espécies de árvores de grande porte e raízes profundas (*Populus sp.*), removem grandes quantidades de água do subsolo ou dos lençóis aquáticos subterrâneos a qual é evaporada através das folhas. Os

contaminantes são metabolizados pelas enzimas vegetais, vaporizados junto com a água ou aprisionados nos tecidos vegetais (DINARD, 2003; GRATÃO et al., 2005; TAVARES 2009; dentre outros autores). As capas vegetativas são coberturas vegetais constituídas de capins ou árvores, feitas sobre aterros, usadas para minimizar a infiltração de água da chuva e conter a disseminação dos resíduos poluentes. As raízes auxiliam na aeração do solo e promove a biodegradação, evaporação e transpiração (DINARD, 2003; GRATÃO et al., 2005; TAVARES 2009; dentre outros autores).

Os açudes artificiais são ecossistemas formados por solos orgânicos, microrganismos, algas e plantas aquáticas vasculares, usados em conjunto para o tratamento dos efluentes. Por meio de ações combinadas de filtração, troca iônica, adsorção e precipitação. É o método mais antigo e mais usado para tratamento dos esgotos. Não é considerado fitorremediação, pois une várias técnicas ao mesmo tempo para efetuar o tratamento (DINARD, 2003; GRATÃO et al., 2005; TAVARES 2009; dentre outros autores).

As principais vantagens que a fitorremediação oferece são: os baixos custos; a área pode ser reutilizada; trabalha com vários contaminantes simultaneamente; é aceita pela sociedade; o monitoramento é mais fácil; aplica-se a áreas extensas; e melhora da qualidade do solo. As principais desvantagens são: resultados lentos; as plantas dependem da estação, clima, solo, e nutrientes; a alta toxidez elimina as plantas; não é eficiente em profundidade; a planta deve ter boa biomassa; não reduz 100% do poluente; pode produzir mais toxidez do que os originais; e há o bioacúmulo na cadeia trófica (TAVARES, 2009; CORSEUIL e MARINS, 1997).

1.2. O POTENCIAL DO BIOMA CERRADO

1.2.1 O bioma Cerrado

Com uma área aproximada de dois milhões de quilômetros quadrados o Cerrado cobre áreas de vários estados brasileiros como: Bahia, Distrito Federal, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia, São Paulo e Tocantins; e ocorre em áreas disjuntas ao norte, no Amapá, Amazonas, Pará e Roraima e ao sul, pequenas “ilhas” no Paraná (RIBEIRO e WALTER, 2008).

O bioma Cerrado é dividido em três unidades fisionômicas principais: a campestre (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre); a savânica (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e as formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão). A fitofisionomia savânica corresponde a 67% da área do Cerrado no Brasil (COUTINHO, 1978; RIBEIRO e WALTER, 2013).

Segundo Klink e Machado (2005) o clima é estacional, em que um período é chuvoso, que dura de outubro a março, seguido por um período seco, que vai de abril a setembro, com uma precipitação média anual de 1.500mm e temperaturas normalmente amenas, entre 22 °C e 27 °C.

De acordo com Brasil (2010) o Cerrado é considerado o berço das nascentes dos principais rios que abastecem o Brasil, devido à altitude, ao fato de estar localizado na região central do Brasil e fazer fronteira com diversos biomas e fitofisionomias. O que torna a região é importante na luta pela preservação e conservação das características naturais. Ainda de acordo Brasil (2010), das 12 regiões hidrográficas brasileiras, seis tem nascente no Cerrado: a região hidrográfica do Amazonas, do Tocantins/Araguaia, do Parnaíba, do São Francisco, do Paraná e do Paraguai.

Os solos de áreas de cerrado são considerados profundos, antigos, intemperizados e com elementos químicos que provocam a acidificação do solo (H^+ e Al^{3+}) (OLIVEIRA, 2005). Contém metais pesados como alumínio, cádmio, chumbo, níquel, zinco, cobre, bário e manganês que elevam essa toxicidade. Esses elementos por sua vez podem provocar deficiência na condução nutritiva de macronutrientes do solo até as plantas, que indisponibiliza a troca energética necessária para um bom desenvolvimento das plantas cultivadas.

De acordo com Lopes e Guilherme (2004) durante a formação dos solos do Cerrado nos processos de intemperismo, os minerais e a matéria orgânica foram reduzidos a partículas extremamente pequenas, o tempo e a química diminuem ainda mais estas partículas chamadas “colóides”. Esses colóides, por exemplo, de argila ou húmus possuem carga elétrica negativa que interage com cargas elétricas dos elementos químicos disponíveis no solo. Isto significa que “*elas podem atrair e reter íons com cargas positivas (+) como de Potássio, sódio, hidrogênio, cálcio e magnésio*”. A argila normalmente fica na superfície do solo e atrai cargas positivas que estão em locais mais profundos e as disponibilizam para a assimilação das

raízes das plantas. Este fenômeno é chamado troca ou adsorção iônica, podendo ser catiônica (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , etc) ou aniônica (NO_3^- , PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , etc) (LOPES e GUILHERME, 2004).

Conforme Haridasan (2008) um dos elementos mais abundantes no solo do Cerrado é o alumínio por causa do processo de laterização. O que predomina são os óxidos de alumínio e óxidos de ferro. Muitas plantas cultivadas são sensíveis à presença de Al^{3+} na solução do solo, ou, nos sítios de troca catiônica, sendo, portanto, considerado tóxico para o desenvolvimento de muitas plantas. Para efetuar a agricultura convencional é necessária uma correção do solo por meio de elementos com cargas contrárias. Para que haja essa a disponibilização nutricional na troca elétrica, é realizada a aplicação de calcário e fertilizante no solo, tornando-o ideal para fins agrícola.

A interação das plantas nativas do cerrado com metais pesados ainda são pouco estudadas, existindo um grande potencial a ser explorado. Muitas plantas podem realizar a extração de metais pesados do solo, imobilizar agentes contaminantes, e tolerar sítios com altas dosagens desses elementos. As pesquisas demonstram que são conhecidas 45 famílias de espécies acumuladoras de Alumínio, 32% das espécies pertencem a Rubiaceae. As outras famílias com potencial acumulador são: Anisophyllaceae, Celastraceae, Cornaceae, Diapensaceae, Geissolomataceae, Grossulariaceae, Melastomataceae, Pentaphragaceae, Polygalaceae, Proteaceae, Symplocaceae, Theaceae, Vochysiaceae, dentre outras (HARIDASAN, 2008).

Marques, Moreira e Siqueira. (2000) desenvolveu um experimento com mudas formadas em viveiro e transplantadas para vasos em casa de vegetação em solos com alto grau de contaminação por metais pesados (Zn, Cd, Pb e Cu) coletados em uma área de rejeito de mineração, diluído em diferentes proporções. Após um intervalo determinado, foi verificado que o crescimento em altura de todas as plantas foi influenciado pela toxicidade. Os autores verificaram que há diferença no comportamento das espécies em relação aos contaminantes. Oito espécies trabalhadas foram menos afetadas, com destaque a *Cedrela fissilis* que apresenta elevada tolerância ao excesso de metal pesado. Concluíram que a resposta da maioria das espécies à contaminação do solo refere-se à capacidade destas de acumular metais nas raízes ou de translocar essas substâncias para parte aérea.

A presença de Al no floema, tecidos de folhas e sementes comprovam que existe uma movimentação de Al em espécies de cerrado. O interessante é que algumas espécies parecem ser acumuladoras obrigatórias de Al e outras facultativas. Nos trabalhos de Haridasan (1988) e Watanabe et al., (2001) eles mostram que algumas plantas consideradas endêmicas do Cerrado são resistentes a presença de Al. . Esses autores citam o caso de *Miconia albicans* (Melastomataceae) e *Vochysia thyrsoidea* (Vochysiaceae) que são resistentes ao Al e apresentam sintomas de deficiência quando retiradas de ambientes ácidos e plantadas em solos alcalinos. Essas plantas além de não serem prejudicadas, há relatos de que o Al pode beneficiar diferentes espécies e estimula maior absorção de nutrientes e acelerar o crescimento desempenhando alguma função no processo metabólico destas plantas que ainda precisa ser estudada.

Lüttge et al., (1998) perceberam que a espécie hemiparasita, *Phthirusa ovata*, apresenta altas concentrações de alumínio nas folhas quando crescem sobre hospedeiras acumuladoras de Al. Quando as hospedeiras não são acumuladoras, a hemiparasita também não apresenta concentrações elevadas de Al. Entretanto, absorção de grandes quantidades de Al não prejudica a fotossíntese ou a transpiração nesta espécie hemiparasita. Levando a crer que há uma movimentação desse elemento no metabolismo da planta.

Paiva et al., (2004) fizeram uma experiência com *Handroanthus impetiginosa* (Ipê roxo) conduzidas em solução nutritiva e submetidas a doses crescentes e periódicas de cádmio (Cd). Esses autores concluíram que a *H. impetiginosa* é uma excelente bioacumuladora. O teor de Cd nas diferentes partes das mudas foi crescente, em função do aumento da dosagem do metal. Observou-se que a aplicação de Cd reduziu o teor de P, K, Ca e Mg na raiz e nas folhas das plantas, o teor de macronutrientes não foi afetado por causa do metal.

Paiva et al., (2004) perceberam que a presença de Cd no meio de crescimento provoca distúrbios nutricionais em muitas plantas. Essa é uma resposta muito variável entre as espécies. O que leva os autores a propor que haja uma avaliação mais detalhada sobre o comportamento das espécies em relação à presença e diferentes dosagens de Cd e outros metais pesados. Marques et al., (2000) também confirmam a necessidade de avaliação das espécies de plantas do cerrado quanto a sua capacidade de tolerância metais pesados.

Santana (2007) verificou a influência de depósito de lixo na fitossociologia das espécies arbóreas do Cerrado. Percebeu-se que a concentração de química nos tecidos foliares eram maiores próximas ao aterro. E que há uma interação diretamente proporcional, ao se aumentar esses elementos no substrato, solo e/ou água, também aumenta a concentração nas plantas analisadas. Concluiu-se que a presença do aterro sanitário não influencia na diversidade de plantas nativas, pois elas conseguem se adaptar e interagir com meio sobrevivendo no local.

Vilhalva (2009) estudou uma planta hiperacumuladora nativa do cerrado a, *Galianthe grandifolia* (Rubiaceae) que absorve cádmio e se mostrou promissora na absorção de outros metais pesados. É abundante em áreas de cerrado. Existem estudos de apenas duas plantas no mundo com o mesmo potencial desta planta para fitorremediação. Essa autora concluiu-se que a *G. grandifolia* absorve na parte área, 120 mg.kg^{-1} de cádmio por quilograma, na planta como todo foram 300 mg.kg^{-1} do metal por quilograma de matéria seca. Para comparar a planta mais potente e conhecida é a *Thlaspi caerulescens*, que acumula cerca 175 mg.kg^{-1} de cádmio na matéria seca da parte aérea (VILHALVA, 2009).

1.2.2 As espécies estudadas: *Handroanthus avellanedae* e *Handroanthus serratifolius*

As espécies pesquisadas pertencem ao reino Plantae, a divisão Magnoliophyta, a classe Magnoliopsida; a subclasse Asteridae, a ordem Lamiales, da família Bignoniaceae, cuja distribuição é pantropical, com cerca de 120 gêneros e 800 espécies. Grose (2007) realizou uma revisão taxonômica do gênero *Tabebuia*, sendo que atualmente este gênero foi desmembrado em *Tabebuia* e *Handroanthus* e as espécies *avellanedae* e *serratifolius* estão classificadas em *Handroanthus*.

A madeira destas espécies é caracterizada por terem madeira extremamente densa, pesada, dura, difícil de serrar, resistente, superfície pouco brilhante, rica em cristais verdes de lapachol, de grande durabilidade mesmo sob condições favoráveis ao apodrecimento (IBF, 2012). A madeira de *H. avellanedae* e *H. serratifolia* tem uso medicinal, contem grandes quantidades de lapachol e outros compostos similares que possuem ações bactericidas, antiinflamatória, analgésica, antibiótica e antineoplásica (ARAUJO, ALENCAR e ROLIN NETO, 2002; GROSE, 2007).

São espécies indicadas para o reflorestamento de áreas degradadas, plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas e de preservação permanente (LORENZI, 2000; FERREIRA et. al., 2004; SOUZA et al., 2005; IPEF, 2014). São plantas que resistem ao replante, e conseguem desenvolvem-se bem em campo aberto, e quando expostas ao sol, produzem grande quantidade de sementes aladas e férteis (REITZ et al., 1978 citado por SOUZA e OLIVEIRA, 2004).

São consideradas madeiras de lei, empregadas em marcenaria, construções pesadas e estruturas externas que exigem madeira de alta qualidade, tanto civis quanto navais. Usadas “para fazer vigas, postes, dormentes, pontes, tacos, tábuas para assoalho, bengalas, eixos de roda, engrenagem, etc.” (LORENZI, 2000; IBF, 2012). Ambas as espécies são plantas utilizadas principalmente para o paisagismo, na arborização de ruas e avenidas por causa de suas atrativas flores.

1.2.2.1 *Handroanthus avellanedae*

Handroanthus avellanedae (Lorentz ex Griseb.) Mattos recebe as sinonímias botânicas de: *Tecoma ipê* Mart. ex K. Shum.; *Tecoma avellanedae* (Lor. ex Griseb.) Speg.; *Tabebuia avellanedae* (Lor. ex Griseb.) Mattos; e *Tabebuia ipê* (Mart.) Stand (IBF, 2012). De acordo com o Instituto Brasileiro de Florestas - IBF (2012) e Lorenzi (2000) a espécie *H. avellandae* é popularmente conhecido pelos nomes: ipé-roxo, pau-d'arco-roxo, ipé-roxo-da-mata, ipé-preto, ipé-rosa, ipé-comum, ipé-cavatá, lapacho, peúva, piúva. Sua altura de 20-35m, com tronco de 60-80 cm de diâmetro.

Pode ter ocorrência dos estados do Maranhão até o Rio Grande do Sul (IBF, 2012). É uma planta caducifólia, heliófita, exigente quanto à luz solar. Apresenta dispersão ampla, de ocorrência esparsa, tanto na mata primária densa como nas formações secundárias (IBF, 2012).

Análises morfo-anatômicas de *H. avellanedae* efetuadas por Souza e Oliveira (2004) demonstram que as plântulas são fanerocotiledonares (cotilédones livres dos restos seminais) e epígeas (acima do nível do solo). As raízes são axiais e formam muitas ramificações. O hipocótilo e epicótilo são verdes e glabros. Os cotilédones são cordados orbiculares, com ápice premoroso. Dois eófilos simples e peciolados, de filotaxia oposta, glabros, ovados, de ápice agudo, base brevemente acuneada, e margem variando de serrada a duplicado-serrada (SOUZA e OLIVEIRA, 2004).

As folhas são digitadas, compostas, cinco-folioladas; folíolos quase glabros, de cinco a 13 cm de comprimento por três a quatro centímetros de largura (SOUZA e OLIVEIRA, 2004). Possui uma copa que atinge grandes alturas, sendo considerada uma das maiores árvores dependendo da região. Sua altura pode variar 20 a 35 metros, o tronco pode chegar à fase adulta de 60 a 80 centímetros de diâmetro, normalmente tem o tronco ereto, e é uma árvore de médio à grande porte (IBF, 2012; LORENZI, 2000).

As flores são roxas, rosa ou rosa escuro, em cachos bem fechados, daí seu nome mais comum Ipê roxo. É o primeiro dos Ipês a florir no ano, inicia a floração em Junho e pode durar até Agosto com a planta quase totalmente sem folhagem. Esta espécie se confunde bastante com outras também de flor roxa, como a *H. impetiginosa* e a *H. heptaphylla*, sendo considerado por alguns autores que a *H. avellanadae* e a *H. impetiginosa* seriam a mesma espécie (IBF, 2012).

Produz anualmente grande quantidade de sementes, disseminadas pelo vento. A Vagem é bipartida de 25 cm, marrom escuro, rugosa e sem pelos, que se abre liberando sementes com asa transparente. Os frutos maduram de agosto a novembro e a coleta pode ser efetuada a partir de agosto (LORENZI, 2000). A reprodução ocorre basicamente por meio de sementes.

A coleta dos frutos deve ser diretamente da árvore e pode ser efetuada quando os primeiros bagos iniciarem a abertura espontânea. Em seguida deixá-los ao sol para completar a abertura e liberação das sementes. A viabilidade das sementes em armazenamento é curta, geralmente não ultrapassa 90 dias. A emergência ocorre de seis a 12 dias e, geralmente é superior a 80%, desde que plantadas assim que colhidas. A germinação é fácil, o desenvolvimento das mudas e das plantas no campo é rápido, podendo atingir três metros e meio aos dois anos (IBF, 2012).

1.2.2.2 *Handroanthus serratifolius*

A espécie *Handroanthus Serratifolius* (Vahl.) S. Grose com sinónimas conhecidas como *Bignonia serratifolia Vahl* e *Tecoma serratifolia (Vahl) G.* É popularmente conhecido com ipê amarelo, ipê amarelo da mata, pau d'arco ipê-tabaco, ipeúva, pau-d'arco-amarelo (LORENZI, 2000). Ocorre no Brasil, Guiana Francesa, Guiana, Suriname, Venezuela, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia. É uma

espécie com característica das florestas pluviais densas, desde o nível do mar até altitudes de 1200m, ocorrendo também em campinas e nas formações secundárias, como capoeiras e capoeirões, e prefere solos bem-drenados situados nas encostas (LORENZI, 2000; FERREIRA et. al. 2004; GONÇALVES, 2013).

É uma arbórea caducifólia de médio a grande porte, atinge de cinco a 25m de altura, heliófita, de porte reto e esguio. O tronco é cilíndrico reto que pode medir 20-90cm de diâmetro e a copa 3-8m de diâmetro. A casca é grossa, de 10-15mm de espessura, pardo acinzentada, fissurada e desprende-se em pequenas placas (FERREIRA et. al., 2004; LORENZI, 2000; SILVA, 2011).

As folhas são opostas digitadas com cinco folíolos, bordas serrilhadas, serras que dão origem ao nome da espécie. Os folíolos são oblongos, ovais a lanceolados, com ápice acuminado e base arredondada a acuneada; apresentam consistência membranácea a subcoriácea; superfície glabra em ambas as faces ou com pêlos nas axilas das nervuras secundárias da face inferior (FERREIRA et al., 2004; LORENZI, 2000; GONÇALVES, 2013).

As flores são amarelas em cachos, hermafroditas, livres ou em tríades, dispostas em conjuntos umbeliformes nas pontas dos ramos. O cálice e a corola apresentam estrutura tubular com cinco lóbulos. O cálice de coloração esverdeada é ligeiramente pubescente. A corola amarelo dourada mede 6-8cm de comprimento. O florescimento ocorre do mês de julho a setembro, com a planta caduca (FERREIRA et al., 2004; LORENZI, 2000; GONÇALVES, 2013).

O fruto é uma vagem bipartida com cerca de 40 cm, marrom escura, rugosa sem pelos, que se abre liberando sementes com asa transparente, disseminadas pelo vento. A coleta de sementes pode ocorrer de agosto até o início de outubro. São sementes ortodoxas, ou seja, de acordo com Gonçalves (2013) aceitam dessecação, mas diminui significativamente a porcentagem de germinação.

A reprodução é sexuada, se propaga por meio de sementes. A germinação é fácil, mas o desenvolvimento é lento, na natureza o uso indiscriminado da madeira vem diminuindo as populações desta espécie (GONÇALVES, 2013).

1.3. O NÍQUEL: CARACTERIZAÇÃO DE ESSENCIAL A TÓXICO

O níquel (Ni) é o vigésimo segundo elemento químico mais abundante da terra, é um metal branco prateado, levemente duro classificado na escala de *Mohs* 3,5, de dureza, é maleável e ao mesmo tempo possui resistência mecânica e resistência à oxidação e corrosão, pode ser usado puro ou em ligas (MACEDO e MORRIL, 2008). O peso específico é de $8,5 \text{ g/cm}^3$, o sistema de cristalização é isométrico, o número atômico é 28 e o ponto de fusão é 1.453° (SILVA, 2010).

Destaca-se por seu potencial magnético e sua capacidade de fazer ligas metálicas em mais de três mil combinações de ligas oferecidas pelo níquel, que podem ser usadas: na indústria de galvanoplastia, na fabricação de baterias, em componentes eletrônicos, em aplicações voltadas para a construção civil, produtos de petróleo, pigmentos, catalisadores para hidrogenação de gorduras, material militar, moedas, aeronaves, dentre outros (BENVENUTI, 2012). O níquel também é usado para banhar e dar acabamento em peças metálicas (SILVA, 2010,).

O Brasil é o sétimo produtor mundial de Níquel contido no minério com 83.000 toneladas em 2011, com projeção de alcançar uma produção de 100.000 toneladas até 2016. A Rússia é a maior produtora, com 15,55% do volume total, seguido pela Indonésia e Filipinas com 12,7% cada e Canadá com 11,11%. No Brasil em 2008 os principais Estados produtores foram Goiás (83,5%) e Minas Gerais (16,5%). Já em 2011 os principais Estados produtores (pela arrecadação de CFEM 2011) foram a Bahia (68%), Goiás (22%) e MG (10%) (SILVA, 2010; IBRAM, 2012).

Em 2011 o estado de Goiás produziu 48.766 toneladas de produto mineral à base de níquel, arrecadou R\$ 6.128.104,72, 10,47% da arrecadação de recursos minerais. O estado arrecadou R\$ 1.628.064.760,31, 27,9% de participação e renda para o governo. Empregou em 2011 cerca de 2.600 colaboradores, sendo 19,38% da mão de obra empregada em mineradoras (DNPM, 2012).

O CONAMA estabelece alguns valores ideais para cada elemento químico até o ponto em que é considerado tóxico, seja para plantas, para os animais e a saúde humana (BRASIL, 2009). O valor de referência indica o limite de qualidade para um solo considerado limpo ou a qualidade natural das águas subterrâneas a ser utilizado em ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas (CETESB, 2001 e GUARRACHO, 2005).

De acordo com a resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, o Ni é uma substância registrada no CAS nº 7440-02-0, cuja referência para qualidade e prevenção no solo é de $30\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso seco. Para que uma área seja

considerada contaminada com Níquel, devem seguir os valores de referência, de alerta e de intervenção para solos (mg.kg^{-1}) (agrícola 'APMax', residencial e industrial) e para intervenção em águas subterrâneas ($\mu\text{g.L}^{-1}$). Os indícios investigativos para saber se o local está contaminado, fica em alerta em 40mg.kg^{-1} , A intervenção para conter a contaminação com esse elemento deve iniciar em solos de uso agrícola aos 70mg.kg^{-1} , residencial aos 100mg.kg^{-1} , industrial aos 130mg.kg^{-1} e intervenção de águas subterrâneas $20\mu\text{g.L}^{-1}$ (BRASIL, 2009).

O teor de Ni no solo é muito variável dependendo de fatores como a rocha de origem ou o tipo de resíduo lançado no ambiente. Os valores médios mundiais estão entre 20 e 40mg.kg^{-1} (CHAGAS 2000 citado por SILVA, 2010). Os estados de São Paulo e Minas Gerais possuem parâmetros locais já disciplinados. Em São Paulo o valor orientador de referência é 13mg.kg^{-1} (em que os solos com teor de Ni menor que 13mg.kg^{-1} não são considerados contaminados) e de alerta 30mg.kg^{-1} (os solos já sinalizam que estão contaminados), e em Minas Gerais 21,5 e 30 respectivamente (CETESB, 2001; Boletim Informativo SBCS, 2013).

De acordo com a WWF (2013), quando se fala em preservação ambiental uma preocupação atual é a poluição dos solos, ar e água, o homem tem usado os recursos naturais de forma indiscriminada e vem disseminando resíduos no meio. A maioria desses resíduos não é monitorada e ficam dispersos no ambiente causando contaminações. A natureza não consegue repor tudo o que dela é extraído, no entanto os resíduos aumentam a cada dia (WWF, 2013).

Problemas de contaminação de águas com níquel estão associados principalmente com a descarga de efluentes industriais (SILVA, 2010). O uso do níquel pela indústria provoca resíduo e apresenta potencial de poluição ao meio ambiente (BENVENUTI, 2012). Encontra-se entre os metais pesados mais comuns em solos. Estima-se que, em todo o mundo, anualmente são adicionadas aos solos 106 mil a 544 mil toneladas de Ni, com origem nas atividades metalúrgicas, na queima de combustíveis fósseis, na adição de lodo de esgoto e de compostos industriais (BERTON et al., 2006).

Os teores naturais de níquel nos solos, não causam preocupação, no entanto esses teores podem aumentar devido à interferência antrópica e à dispensa de fontes de metais em potencial. Segundo a literatura o níquel é um metal pesado que, em excesso tem efeito tóxico para os organismos vivos.

Em seres humanos o excesso de níquel de acordo com Menné (2003) citado por Soares (2008) em doses elevadas pode causar: irritação gastro intestinal como náuseas e diminuição do apetite; alterações neurológicas: dor de cabeça, vertigem; alterações musculares: fraqueza muscular; alterações cardíacas: palpitações; alergias: dermatite, rinite, asma e outras alergias. O níquel inibe a ação da enzima superóxido dismutase que participa no processo de metabolização dos radicais livres. A agência Internacional de pesquisa sobre o Câncer - IARC desenvolveu várias pesquisas que resultaram em informações que o excesso de que o níquel pode levar o paciente a ter consequências graves como necrose e carcinoma do fígado e câncer de pulmão.

Existem diversas formas de se contaminar com níquel, funcionários de indústrias cujo níquel é a matéria prima pode haver contaminações e sintomatologias alergênicas por causa do contato com o metal. Kristin, Kevin e Kin (2013) apontam que alguns estudos toxicológicos, mostram que doses orais de níquel podem provocar doenças cutâneas como, por exemplo, as dermatites. Estes autores examinaram a influencia e a lixiviação de níquel durante o cozimento de alimentos, quatro tipos de molhos de tomate comerciais, em panelas de aço inoxidável (três tipos de aço inoxidável). Depois de um processo de cozimento simulado, as amostras foram analisadas e foi percebido que houve aumento da concentração Ni no alimento de 26 vezes, em função do grau de aço inoxidável. Em períodos mais longos de cozimento as concentrações de Ni tenderam ao aumento. Os autores concluíram que panelas de aço inoxidável pode ser uma fonte esquecida de níquel, onde a contribuição depende do grau de aço inoxidável, tempo de cozimento e uso de utensílios de cozinha.

Nas plantas a sintomatologia da toxidez se apresenta como clorose e necrose de folhas, iniciando pelas folhas novas (MACEDO e MORRIL, 2008). Os sintomas de toxidez vão se desenvolvendo de acordo com a absorção desse metal e podem interferir no crescimento de plantas não adaptadas. O Ni pode influenciar no desenvolvimento da planta de acordo com a dosagem do local em que a planta está inserida, quando a planta é suscetível a esse metal ela pode apresentar vários sintomas de toxidade. A planta não tolerante pode ficar mais suscetível a *stress* hídrico, a ataque de pragas e doenças.

Segundo Paiva et al., (2003) plantas que crescem em ambientes contaminados com Ni apresentam uma série de distúrbios nutricionais. Afeta, por

exemplo, a absorção e o transporte de Fe na planta, o que diminui a pigmentação da folha que passa a apresentar sintomas de clorose (CAMPANHARO et al., 2010). E ainda, as alterações na clorofila e carotenóide se esvaem para o sistema fotossintético da planta, o que interfere na eficiência fotoquímica. A fitotoxicidade de Ni é resultado de sua ação no fotossistema, ocorrem distúrbios no ciclo de Calvin e inibição do transporte elétrico por causa das quantidades excessivas de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações de escuro (KRUPA et al., 1993; BERTON et al., 2006; e CAMPANHARO et al., 2010).

A deficiência de Ni raramente é observada em condições de campo, quando ocorre se confunde com outras deficiências nutricionais. Wood, Reilly e Nyczepir (2004) relatam que nos Estados Unidos ocorreram alguns distúrbios em plantas de *Carya illinoensis* que passaram por vários diagnósticos até descobrir que era deficiência de Ni. Apresentavam sintomas de “orelha de rato”, a ponta das folhas novas tinha manchas escuras e arredondadas. Após pulverização foliar de sulfato de níquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), realizada no outono, o Ni foi transportado para tecidos dormentes de ramos e gemas numa proporção suficiente para o crescimento normal. Na primavera seguinte, as folhas tratadas tinham aspecto normal (WOOD, REILLY e NYCZEPIR, 2004).

O níquel é constituinte da metaloenzima uréase. A uréase é a única enzima que necessita de Ni como cofator enzimático nas plantas superiores. Plantas deficientes em Ni acumulam uréia nas folhas, o que pode causar necrose no ápice. A uréase participa do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), atua no metabolismo do nitrogênio, auxilia no aumento da atividade da uréase foliar, ajuda no crescimento, metabolismo, envelhecimento, esta ligado diretamente na absorção de ferro (Fe) pelas plantas; e tem papel importante na resistência das plantas a doenças (MALAVOLTA et al., 2006; MALAVOLTA e MORAIS, 2007). Microrganismos fixadores de N_2 requerem Ni para a enzima hidrogenase, a qual reprocessa o N_2 gerado durante a fixação simbiótica (MALAVOLTA et al., 2006). Os microrganismos que possuem esta enzima dependente de níquel (como os rizóbios que nodulam a soja) são energeticamente mais eficientes (TAIZ e ZEIGER, 2004).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL VEGETAL

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o crescimento inicial das espécies *Handroanthus avellanedae* (Figura 1a) e *Handroanthus serratifolius* (Figura 1b) em diferentes concentrações do níquel, um metal pesado que dependendo da dosagem pode provocar toxidez em plantas influenciando no processo metabólico e crescimento das plantas.

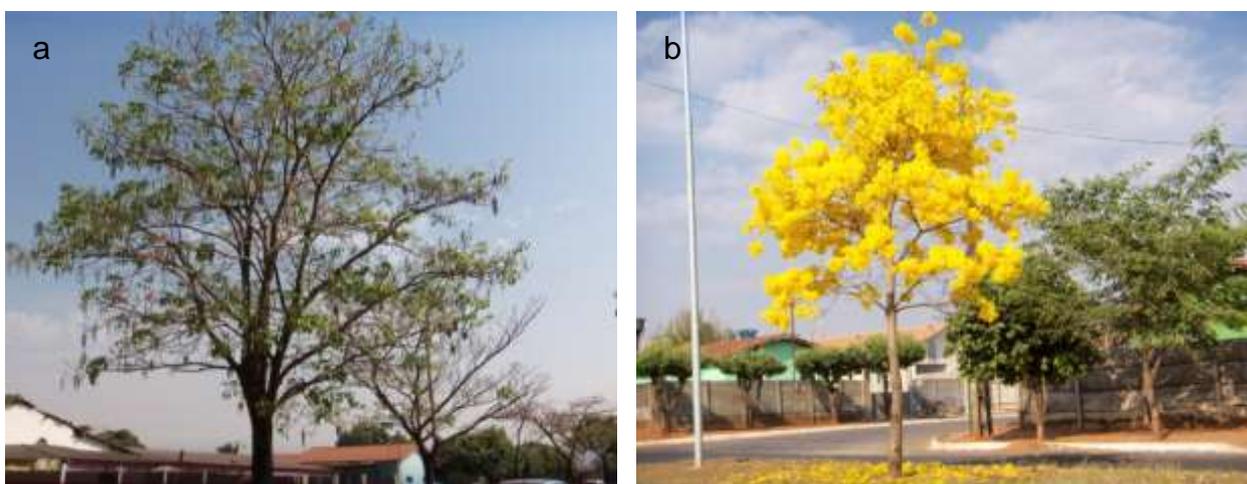


Figura 01: a árvore de *Handroanthus avellanedae* em fase de frutificação e rebrotamento das folhas; b- árvore de *Handroanthus serratifolia* caducifólia em floração.

Estas espécies possuem potencial ornamental, paisagístico, madeireiro e medicinal, e podem do gerar renda por meio do reflorestamento de locais contaminados. Realizar uma avaliação do crescimento inicial das espécies *H. avellanedae* e *H. serratifolius* em diferentes dosagens de níquel é importante para gerar dados em relação à interação planta-metal, para poder realizar pesquisas mais avançadas relacionadas capacidade de tolerância e resistência a metais pesados.

Para a produção de mudas foram coletadas sementes das duas espécies em Outubro de 2012 em plantas situadas em área urbana no município de Goiânia-Goiás (*Handroanthus serratifolius*) e no município de Goianésia-Goiás (*Handroanthus avellanedae*) (Figura 02a).

As sementes das espécies em estudo foram germinadas em condições controladas no Laboratório de Biologia Vegetal do Departamento de Biologia da

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, onde também foi executada toda a pesquisa experimental.

O processo germinativo das sementes ocorreu em recipientes de plástico (300 mL) contendo dois discos de papel de filtro e água destilada, sendo que após sete dias observou-se uma taxa de 95% de germinação (Figura 02b) em câmara termostática mantida à temperatura de 25° C.



Figura 02: a - Cápsula com sementes de *Handroanthus avellanedae* durante a coleta; b - Germinação das sementes de *Handroanthus serratifolius*.

As plântulas obtidas no processo foram transferidas após 10 dias para sacos plásticos para mudas com capacidade volumétrica de 300mL, contendo como substrato areia grossa e substrato orgânico (proporção de 1:1 em volume). Em cada saco plástico foram colocadas duas plântulas de cada uma das espécies estudadas.

Sementes de *Handroanthus avellanedae* também foram plantadas diretamente em sacos plásticos (300mL) contendo como substrato areia grossa e substrato orgânico (proporção de 2:1 em volume). Foram plantadas cerca de seis sementes, após a germinação foi realizado o desbaste deixando apenas duas plantas por saquinhos.

Os sacos plásticos com as plântulas foram mantidos no viveiro experimental do Laboratório de Biologia Vegetal durante todo o período experimental permanecendo sob sombrite (50% de interceptação de luz) e recebendo irrigação com água periodicamente e solução nutritiva de *Hoagland* completa a cada quinze dias para o fornecimento de nutrientes, propiciando o crescimento vegetativo das plantas.

Aos 137 dias após o transplante das plântulas foi realizada a montagem de dois experimentos utilizando as plantas de *H. avellanedae* e *H. serratifolius*. Aos 90 dias após o plantio foi realizado a montagem do experimento com *H. avellanedae*.

2.2. MONTAGEM DOS EXPERIMENTOS

O experimento (Figura 3a) foi realizado com cinco tratamentos aplicando as seguintes dosagens de Ni: 0,0mg.L⁻¹, 20,0mg.L⁻¹, 40,0mg.L⁻¹, 60,0mg.L⁻¹, e 80mg.L⁻¹. Um sexto tratamento foi inserido com a dosagem de Ni 100,0mg.L⁻¹ após a primeira aplicação de Ni, seguindo os mesmos padrões dos tratamentos já realizados. Cada tratamento teve sete repetições.

As diferentes soluções contendo níquel foram obtidas pela diluição de uma solução estoque padronizada (100,0mg.L⁻¹) utilizando (NiNO₃)₂. A solução de Níquel foi armazenada em um vasilhame com capacidade para 20L, branco, transparente e colocada em um saco preto para evitar a degradação provocada por penetração luminosa até o momento da utilização.

Foram montados três grupos experimentais, um com plantas de *H. avellanedae* com 90 dias após o plantio que receberam todos os tratamentos com as respectivas dosagens de Ni e dois grupos com plantas de *H. avellanedae* e *H. serratifolius* aos 137 dias após o transplante que receberam os mesmos tratamentos.

Foram selecionados 42 sacos plásticos para cada experimento, resultando em um total de 126 sacos plásticos com duas plantas cada, sendo trabalhado com 252 plantas do gênero *Handroanthus* que receberam a aplicação dos tratamentos que consistiram de diferentes concentrações de níquel em solução.

Cada unidade experimental foi considerada como sendo um saco plástico contendo duas plantas da espécie estudada (Figura 03b). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em função das condições homogêneas proporcionadas pelo ambiente experimental.

O período experimental considerado durou cerca de 320 dias. Período em que foram realizados todos os procedimentos desde a coleta das sementes até a coleta final de dados. Foram realizadas sete coletas de dados e a aplicação da

solução de níquel ocorreu em intervalos de 30 dias, sendo aplicado durante três meses.



Figura 03: a - Localização do experimento, onde plantas de *Handroanthus avellanadae* e *Handroanthus serratifolius* permaneceram crescendo no viveiro do Laboratório de Biologia Vegetal da PUC-GO sob diferentes dosagens de níquel. b - Plantas de *Handroanthus avellanadae* e *Handroanthus serratifolius* situadas em bancada demonstrando a distribuição inteiramente casualizada das unidades experimentais.

Regularmente foram combatidos os insetos praga e os caramujos (*Achatina fulica*) que porventura pudessem danificar as plantas e comprometer o experimento.

Outro experimento utilizando a espécie *Handroanthus serratifolius* também foi instalado, seguindo o mesmo procedimento metodológico anterior.

Em um terceiro experimento foram utilizadas plantas da espécie *Handroanthus avellanadae*, porém com idade diferente. (90 dias), onde foi seguido o mesmo procedimento metodológico dos experimentos anteriores.

2.3. COLETA DE DADOS

Os dados coletados são fundamentais para inferir o crescimento de uma planta. As plantas utilizadas são perenes e com potencial econômico, onde o indicado é principalmente estudos com método indireto, ou não destrutivo (BENINCASA, 2003). Consistindo na aplicação de análise dimensional (alometria), onde se estabeleceu parâmetros que expressavam o estado atual da planta. O experimento utilizou plantas em crescimento inicial e realizou também análise destrutiva para estabelecer relações alométricas de massa seca e cortes

anatômicos. Feitas por meio de amostragem, selecionando aleatoriamente a plantas do próprio experimento como sugere Benincasa (2003).

Os parâmetros elencados para inferir sobre a influência de diferentes concentrações de níquel sobre o crescimento vegetativo de *H. serratifolius* e *H. avellanae* foram: a altura, o diâmetro, a área foliar, o peso seco do caule, o peso seco da raiz e cortes anatômicos do caule e raiz. O crescimento de plantas pode ser mensurado de diversas maneiras: medidas lineares, superficiais, peso e número de unidades estruturais. São dados que podem fornecer informações importantes quanto à fenologia, e, em sua maioria, utilizadas para detectar diferenças entre os tratamentos aplicados no experimento (BENINCASA, 2003).

O crescimento quanto à altura das plantas dos experimentos, foram avaliados inicialmente aos 90 e 137 dias após o transplante. A coleta periódica dos dados ocorreu em intervalos médios de 20 dias, foram realizadas sete coletas.

Para o parâmetro altura foi definido que a medida seria da altura da base rente ao substrato até o início da inserção da gema apical, o aparelho utilizado para medir foi o escalímetro milimetrado na escala de 1:100 (Figura 04).



Figura 04: Avaliação do crescimento em altura das plantas, utilizando escalímetro milimetrado

O crescimento quanto ao diâmetro das plantas dos experimentos, foram avaliados inicialmente aos 90 e 137 dias. A coleta periódica dos dados ocorreu em intervalos médios de 20 dias, foram realizadas sete coletas. A coleta foi realizada utilizando um paquímetro milimetrado (Figura 05), onde o aparelho foi colocado na base da planta rente ao substrato com uma inclinação média de 45°, a leitura foi

realizada sem a retirada do paquímetro da planta para obter uma melhor precisão na coleta de dados.



Figura 05: Avaliação do crescimento em diâmetro das plantas, utilizando paquímetro

A avaliação do crescimento em relação à área foliar foi realizada em duas etapas, primeira, 60 dias após a primeira aplicação de Ni, e a segunda ao final do período experimental. A determinação da área foliar (Figura 6a) foi realizada através da metodologia dos contornos foliares e obtenção de equação da reta de acordo com a metodologia exposta por Benincasa (2003). Segundo tal método o contorno das folhas é projetado em papel sulfite e depois é feita a pesagem dos contornos em balança de precisão (Figura 6b). Segundo a mesma autora a massa dos contornos é relacionada com as medidas de comprimento e largura da folha, que posteriormente serão usadas para obter a estimativa da área foliar de acordo com a fórmula abaixo:

Fórmula:

$$Af = Pd \times \left(\frac{Ac}{Pc} \right)$$

AF = área foliar (cm²)

AC = área conhecida do papel (cm²)

PC = peso da área conhecida do papel (g)

PD = peso do desenho da folha (g)



Figura 06: a - Folha de uma planta de *H. serratifolius*. b - Pesagem do desenho de uma folha de *H. serratifolius* em balança digital de precisão (0,001g)

Para a coleta de dados de comprimento do caule e raiz, foram selecionados aleatoriamente 50 sacos plásticos, as plantas foram retiradas do substrato e lavadas. Em seguida foram cortadas na altura colo da planta para separar raiz da parte aérea e foram medidas com escalímetro com escada 1:100. Foram realizadas medidas de comprimento dos caules e das raízes. Essas plantas foram armazenadas separadamente dentro de sacos de papel, colocadas em estufa a 60°C por 48 horas. Depois que secaram e esfriaram, as plantas foram pesadas em balança de precisão (0,001g)

Os cortes anatômicos foram realizados para verificar diferenças estruturais que podem ser influenciados pelas diferentes concentrações de níquel nas plantas de *Handroanthus avellanedae* e *Handroanthus serratifolius*. Inicialmente procedeu-se a escolha e separação das plantas de forma aleatória, pois este é um método destrutivo. Posteriormente as plantas foram fragmentadas na região caulinar e região radicular para a realização dos cortes. Os Cortes anatômicos foram realizados à mão livre com o auxílio de lâmina de aço, sendo estes depositados em vidro de relógio contendo água.

Os cortes foram montados em lâminas de vidro para microscopia, sendo corados com safranina e azul de metileno para fornecer contraste na visualização em microscopia, segundo a metodologia descrita por Arduim e Arduin (1997).

A seguir, depois de corados, os tecidos foram cobertos com lamínula e observados em microscópio comum. Os tecidos foram submetidos ao registro

fotográfico por meio de máquina marca Canon acoplada em microscópio Axiostar plus da marca Zeiss.

2.4. ANÁLISE DE DADOS

A análise de crescimento é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em períodos determinados, para se quantificar o seu desenvolvimento (MAGALHÃES, 1979). Permite conhecer as diferenças funcionais e estruturais entre plantas e estimar o acúmulo de fitomassa, de forma a identificar respostas aos tratamentos (BENINCASA, 2003).

Para análise dos dados foram realizados testes estatísticos, utilizando o teste de ANOVA. Foram gerados gráficos e tabelas utilizando o Excel para a análise dos parâmetros de crescimento em altura, diâmetro, área foliar e peso seco.

As imagens com os cortes anatômicos foram observados e utilizados o método comparativo entre as imagens para visualizar diferenças estruturais nas células.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Benincasa e Leite (2004) o crescimento das plantas envolve desenvolvimento e mudanças nas relações internas de células, tecidos, órgãos ou da planta inteira. A análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta, seja na sua totalidade ou na forma que diferentes órgãos auxiliam no crescimento total Benincasa (2003).

Os dados analisados em relação à altura, diâmetro, área foliar, peso seco da parte aérea, peso seco da raiz e os cortes anatômicos demonstraram que houve crescimento das plantas durante o período experimental. As diferenças encontradas em relação às médias não foram significativas ao ponto de indicar que as dosagens de Ni aplicadas pudessem influenciar o crescimento total das amostras.

3.1. ALTURA

Os resultados demonstraram que a altura das plantas de *Handroanthus avellanedae* crescendo em condições de viveiro foi bastante similar em função das concentrações de níquel aplicadas nos diferentes tratamentos (Figura 07).

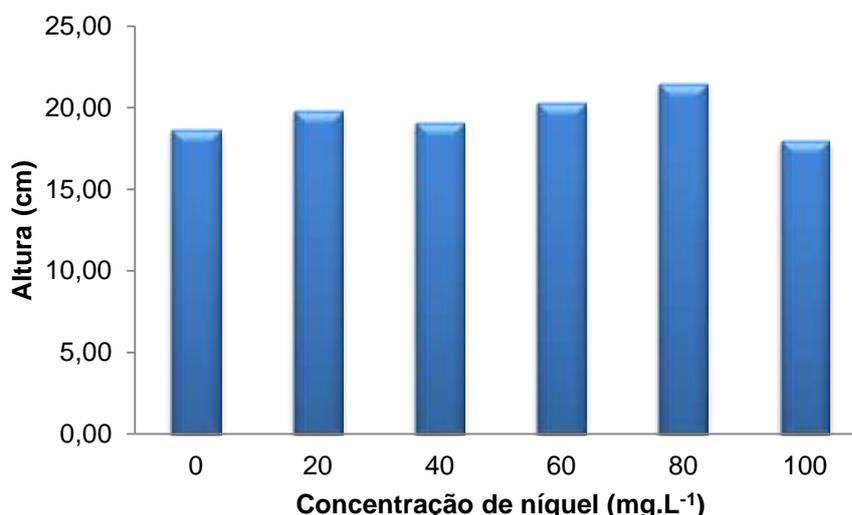


Figura 07 - Altura de plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

A altura é um parâmetro de crescimento que demonstra a capacidade que as plantas possuem em responder a influencia dos fatores bióticos e abióticos que norteiam o metabolismo e seu desenvolvimento. A altura representa a divisão celular

do ápice caulinar, que ocorre nos tecidos conhecidos como meristemas apicais, que são localizados nos ápices do caule e da raiz (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A maior média em altura (Figura 07) foi verificada para o tratamento em que as plantas receberam a concentração de 80mg.L^{-1} de níquel, apresentando valor de 21,51 cm, enquanto o menor valor foi apresentado pelo tratamento de 100mg.L^{-1} de níquel com 17,98 cm.

O excesso ou a limitação nutricional afeta o desenvolvimento da planta. O elemento níquel, apesar de ser um importante micronutriente pode causar fitotoxicidade em concentrações elevadas, promovendo uma redução do crescimento da planta exposta ou até mesmo a morte, dependendo da concentração e sensibilidade da planta (LARCHER 2000). Portanto as plantas de *H. avellanadae* utilizadas nos tratamentos demonstraram que conseguem sobreviver nas condições criadas em viveiro ao utilizar as diferentes concentrações propostas.

Apesar de haver uma diferença numérica entre os tratamentos, a análise estatística revelou não existir diferenças significativas quando se compara os valores obtidos no experimento, o que pode ser observado através do teste de Anova (Tabela 01).

Tabela 01 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro altura de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	56,08143	5	11,216	0,8901	0,4979	2,4772
Dentro dos grupos	453,6193	36	12,601			
Total	509,7007	41				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

Ao examinar as linhas de crescimento em altura (Figura 08) das plantas de *H. avellanadae*, pode-se observar que, houve crescimento das médias amostrais, evidenciando que mesmo utilizando diferentes dosagens, não houve diferença significativa quanto ao crescimento inicial em altura destas plantas.

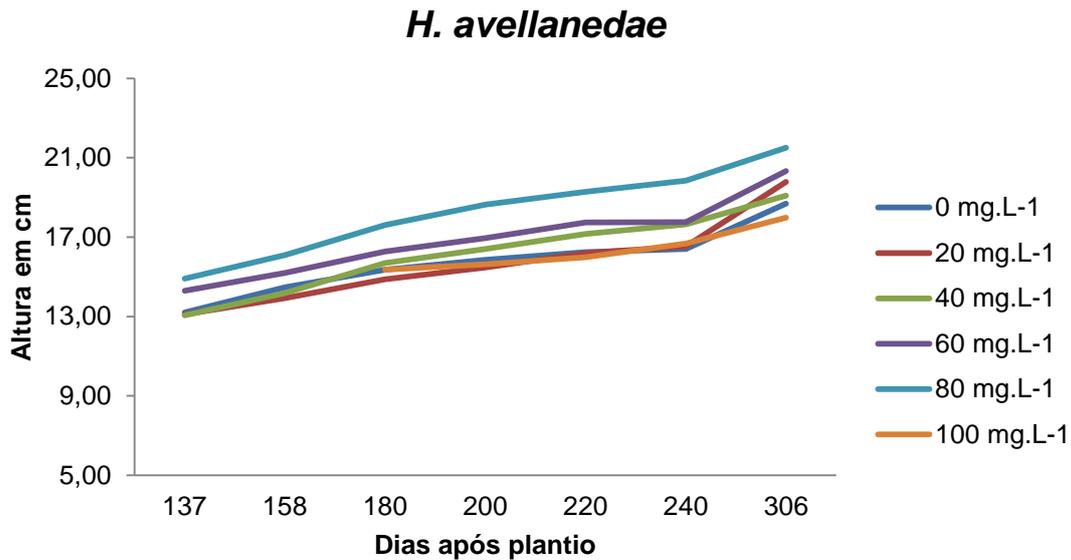


Figura 08 – Crescimento em altura de plantas de *Handroanthus avellanedae* durante o período experimental em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

Efeitos tóxicos de níquel podem produzir vários sintomas, muitos que podem passar despercebidos em fases iniciais, pois segundo a literatura os sintomas de toxidez de Ni não estão bem definidos para os estádios iniciais de toxicidade, porém nos estádios moderados ou mais avançados a clorose (branco ou amarelo-claro) é mais evidente, é um sintoma bem parecido com a deficiência de ferro (KRUPA et al., 1993; BERTOM et al., 2006; CAMPANHARO et al., 2010).

Podem-se incluir também modificações no desenvolvimento, insuficiência nutricional, desordens fisiológicas no processo fotossintético, alterações no transporte de fotoassimilados, da nutrição mineral e da água potencial das plantas, clorose, necrose, murcha, abscisão foliar e morte (KRUPA et al., 1993).

As plantas da espécie *Handroanthus serratifolius* crescendo nas mesmas condições que *H. avellanedae* receberam as mesmas dosagens de Ni e foi observado que os diferentes tratamentos não afetaram de forma significativa o crescimento em altura das plantas (Figura 09).

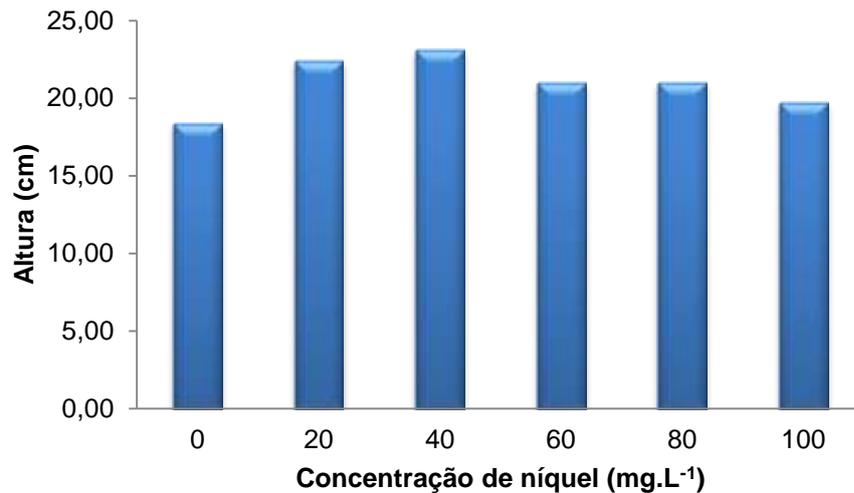


Figura 09 - Altura de plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

Neves et al., (2007) avaliaram o crescimento e a nutrição mineral de umbuzeiro em solução nutritiva sob a influência da adição de Ni. Observaram que em pequenas concentrações o Ni estimulou o crescimento de mudas de umbuzeiro, chegando a recomendar a adição de pequenas dosagens de Ni como estimulante de crescimento.

Sintomas de fitotoxicidade foram observados nas mudas de umbuzeiro em que a dosagem de Ni estava acima de 10mg.kg^{-1} , em que houve redução/paralisação do crescimento e clorose generalizada das folhas, seguida de necrose e abscisão foliar (NEVES et al., 2007).

Nas plantas analisadas não foram observados durante o período experimental sintomas de uma possível toxidez provocada pelas diferentes dosagens de Ni, iniciando por clorose ou necrose. Nas plantas de *H. avellanadae* e *H. serratifolia* foram aplicados dosagens de 20 a 100mg.L^{-1} , diferentemente das plantas do umbuzeiro estudadas pelos autores acima, as amostras em estudo demonstram uma maior tolerância ao Ni. E também não foram observadas redução ou paralisação do crescimento em altura nas plantas analisadas.

A análise estatística revelou que não existe diferença significativa em relação ao parâmetro altura quando se compara os valores obtidos no experimento, o que pode ser observado através do teste de Anova (Tabela 02).

Tabela 02 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro altura de plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	66,5196	5	13,3039	0,6394	0,6711	2,4772
Dentro dos grupos	749,0107	36	20,8059			
Total	815,5303	41				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

A maior média em altura (Figura 09) foi expressa para o tratamento em que as plantas receberam a concentração de 40mg.L^{-1} de níquel, apresentando o valor de 23,11cm, com uma diferença entre a altura final e a inicial de 8,06cm. O grupo controle apresentou a diferença entre a altura final e inicial de 3,81cm, atingindo 18,37 cm de altura. A menor altura registrada foi apresentada pelo grupo controle $0,0\text{mg.L}^{-1}$ de níquel com 18,37cm.

A menor diferença entre a altura final e a inicial pode ser observada na concentração de 100mg.L^{-1} , (Figura 09) as plantas de *H. serratifolia* cresceram nesse tratamento apenas 1,19cm em altura o que pode indicar que elas tenham sentido a dosagem de Ni. e ter reagido em forma de redução ou paralização do crescimento como indica. No entanto, a análise estatística não detectou nenhuma diferença entre os grupos.

A altura das plantas de *H. serratifolius* apresentou aumento ao observar as linhas de crescimento (Figura 10) em todas as concentrações aplicadas de 0 a 100mg.L^{-1} de níquel.

Assim, novos experimentos são necessários para detectar o nível de tolerância desta espécie, tomando como base a concentração de 100mg.L^{-1} , que aparentemente induziu a menor taxa de crescimento entre as plantas analisadas.

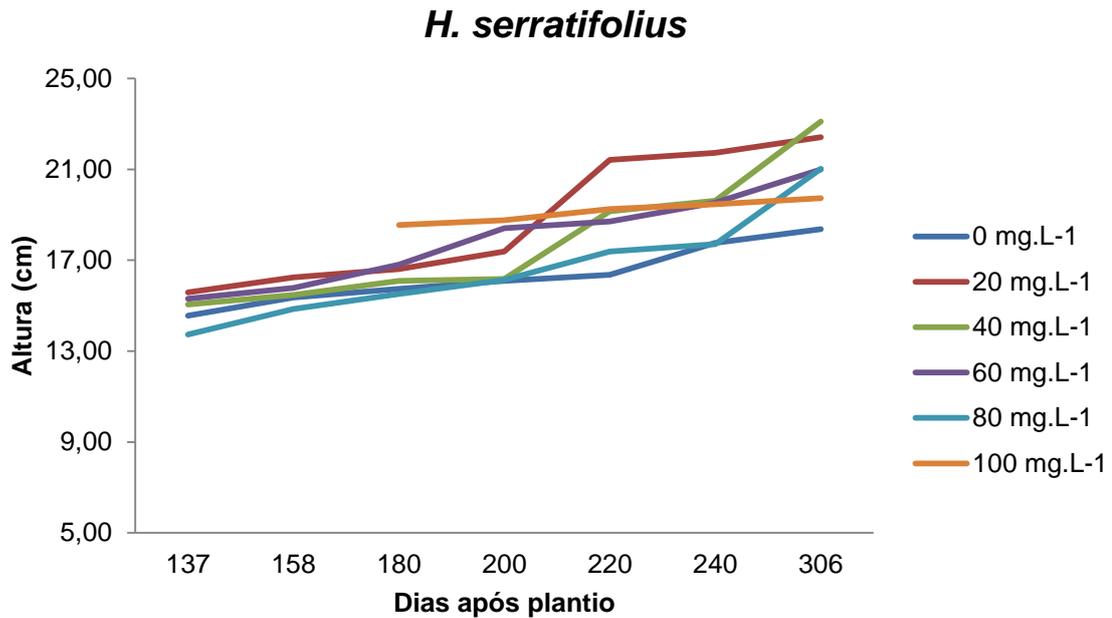


Figura 10 – Crescimento em altura das plantas de *Handroanthus serratifolius* durante o período experimental em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

Ao observar a altura das plantas de *Handroanthus avellanadae* crescendo em condições de viveiro aos 259 dias, pode-se notar a pequena variação entre as médias dos tratamentos aplicados. Inclusive, as concentrações de 80 e 100mg.L⁻¹ de níquel foram as que apresentaram maior média (15,81 e 16,23 cm, respectivamente) (Figura 11).

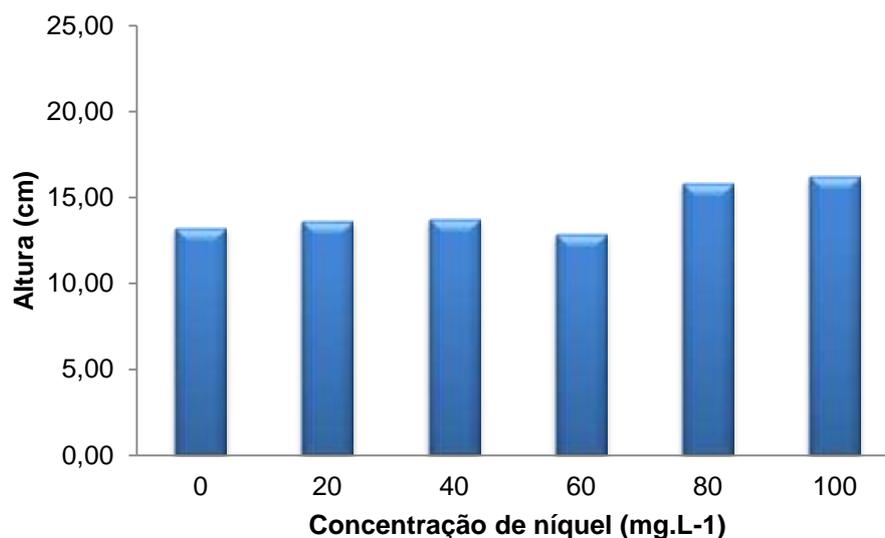


Figura 11 - Altura de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

A análise estatística revelou que não existem diferenças significativas entre os tratamentos, quando se compara os valores obtidos no experimento, o que pode ser observado através do teste de Anova (Tabela 03).

Tabela 03 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro altura de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	91,8836	5	18,3767	1,3696	0,2587	2,4772
Dentro dos grupos	483,0343	36	13,4176			
Total	574,9179	41				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

As concentrações de níquel utilizadas nos tratamentos não demonstraram diferença significativa no crescimento em altura das espécies pesquisadas. O resultado aponta que o crescimento em altura pode não ter sido afetado pelas concentrações de níquel até 100mg.L⁻¹. O que pode indicar tolerância das plantas de *H. avellanadae* e *H. serratifolia* as dosagens que foram submetidas.

A tolerância aos metais pode ser definida como a capacidade de uma planta em sobreviver em ambientes considerados tóxicos ou inibidores da maioria das outras plantas, que possui níveis elevados de um ou mais metal (FAGARO et al., 2004).

Paiva, et al., (2001) analisaram a influencia de Ni em mudas de aroeira - *Myracrodruon urundeuva* percebendo que este metal afeta o crescimento destas plantas. Esses autores mencionam Piccini Antón (1990) ao afirmar que há diferenças no grau de tolerância à toxidez de níquel entre as espécies vegetais e mesmo entre variedades e cultivares da mesma espécie.

Diversas plantas de *H. avellanadae* e *H. serratifolius* se destacaram das demais por obter uma altura média diferenciada como é o caso da amostra 77 que recebeu 20mg.L⁻¹ de Ni, é uma *H. serratifolia* que atingiu 30cm de altura ate o final do experimento. O que é possível inferir que há diferentes graus de tolerância entre as variedades e entre as plantas trabalhadas como afirma Piccini Antón (1990) citado por Paiva et al., (2001). E pode indicar que a concentração de níquel em

determinadas concentrações possa trazer efeitos benéficos em razão de se tratar de um elemento nutritivo.

As plantas de *H. avellanadae* (Figura 12) também cresceram em altura durante todo o período de coleta de dados que foram de 259 dias, não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados. O destaque foi o tratamento 80mg.L⁻¹ com uma diferença média final menos a inicial de 7,3cm de altura, o que não contrasta com o grupo controle que obteve diferença média de 6,44cm de altura.

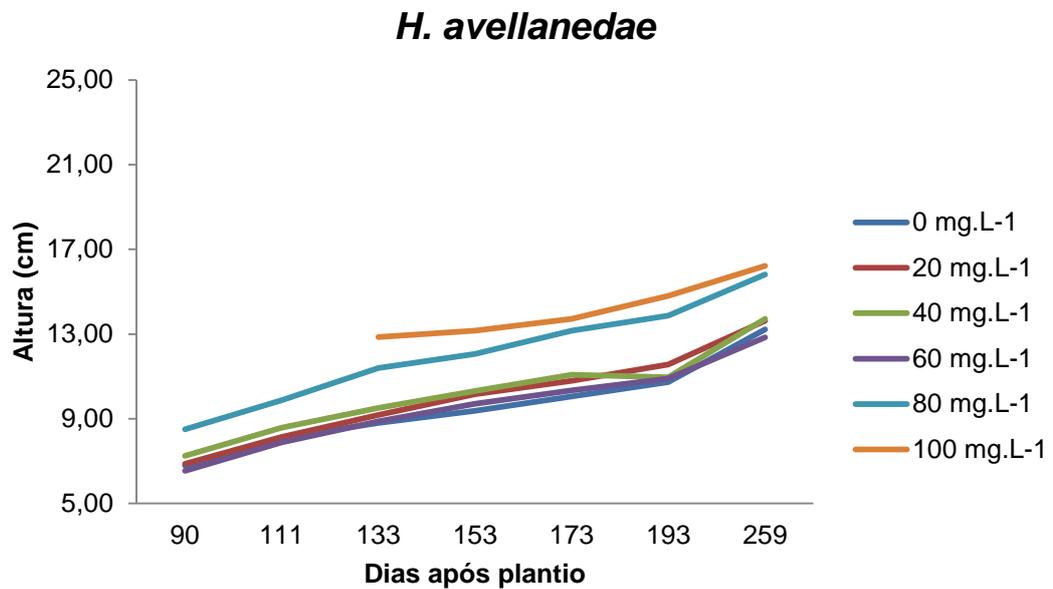


Figura 12 – Crescimento em altura das plantas de *Handroanthus avellanadae* (259 dias) durante o período experimental em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

3.2. DIÂMETRO

O diâmetro do eixo principal do caule reflete bem o crescimento da planta, estando diretamente correlacionado com a altura e com a capacidade de acumular massa, o que o torna um excelente indicador de crescimento (CLEMENT, 1995).

O diâmetro do caule das plantas de *Handroanthus avellanadae* crescendo em condições de viveiro não demonstrou contrastes significativos em relação às concentrações de níquel aplicadas nos diferentes tratamentos, variando de 4,75 mm (100mg.L⁻¹) até 6,11 mm (60mg.L⁻¹) (Figura 13).

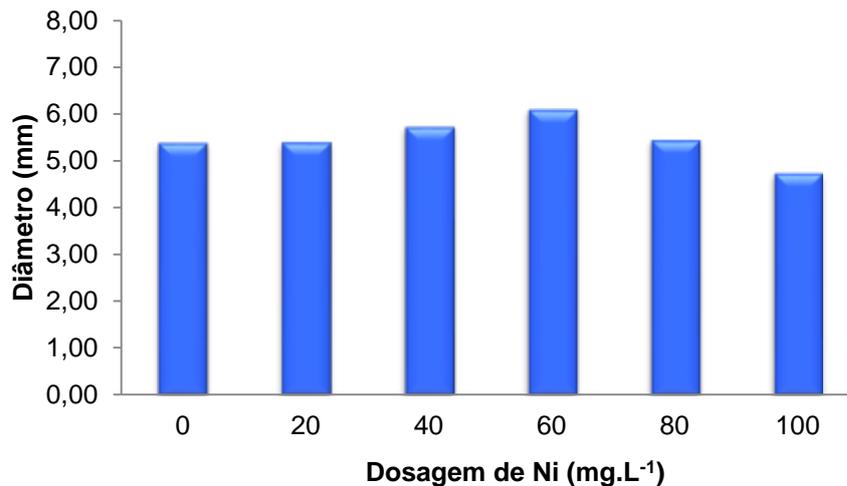


Figura 13 – Diâmetro das plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

O diâmetro é uma medida de crescimento que tem como origem a atividade cambial do caule através do crescimento secundário promovido pelo câmbio vascular, originando xilema e floema secundários e do felogênio, produzindo o tecido de revestimento secundário, o súber (CUTLER et al., 2011).

A atividade celular e conseqüentemente a cambial pode ser afetada pelo estresse promovido por metais pesados, pois como afirma Epstein e Bloom (2006), esses metais (no qual inclui o níquel) podem causar danos nas membranas celulares causando vazamentos e provocando a toxicidade.

De acordo com o teste de ANOVA (Tabela 04) não houve diferença estatística entre os valores obtidos para os tratamentos aplicados. Assim, é possível inferir que, segundo os dados do diâmetro do caule das plantas de *H. avellanedae* aos 306 dias essas amostras não foram afetadas pelas diferentes concentrações de níquel.

Tabela 04 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro altura de plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	9,1825	5	1,8365	0,8167	0,5458	2,4772
Dentro dos grupos	80,9493	36	2,2486			
Total	90,1319	41				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

Para Bloom (2004) são diversos os fatores que contribuem para o crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo que os elementos encontrados no solo que fazem parte da nutrição da planta merecem especial destaque.

As raízes das plantas ocupam grandes espaços na superfície do solo, agindo como “mineradoras” da crosta terrestre (EPSTAIN, 1999 citado por TAIZ e ZEINGER, 2013). Possui capacidade de absorver elementos da solução solo e translocar esses elementos para as diversas partes das plantas, para serem usados nas mais variadas funções biológicas do organismo vegetal (TAIZ E ZEINGER, 2013)

Na figura 14 são apresentados os valores de diâmetros ao longo do período experimental, pode-se observar que houve crescimento nesse parâmetro em todos os tratamentos, no entanto houve oscilações isso pode ter ocorrido devido a sensibilidade da base caulinar ao acúmulo e perda de água em determinados períodos. O tamanho do vacúolo na região próxima ao colo da planta são maiores e tendem a acumular mais água, mas dependendo do grau de maturação desse vacúolo a seiva vacuolar pode ser perder com facilidade (TAIZ e ZEINGER, 2013).

Estas observações podem corroborar com a ideia de que as plantas de *H. avellanadae* possuem tolerância as dosagens aplicadas de níquel.

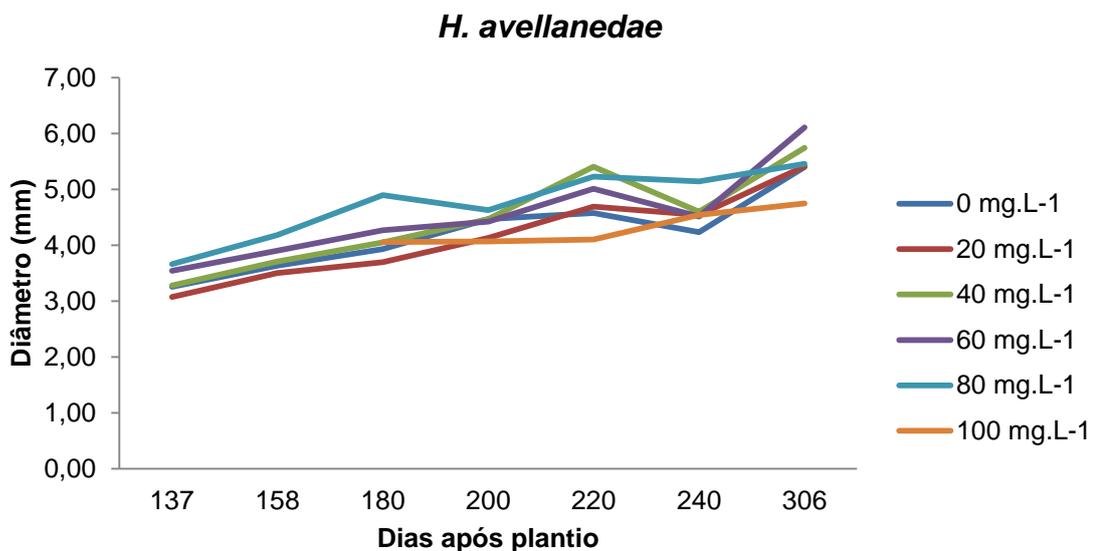


Figura 14 – Crescimento em diâmetro das plantas de *Handroanthus avellanadae* durante o período experimental em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

Os resultados demonstraram que o diâmetro médio do caule das plantas de *Handroanthus serratifolius* crescendo em condições de viveiro foi bastante similar nas concentrações de níquel aplicadas nos diferentes tratamentos (Figura 15).

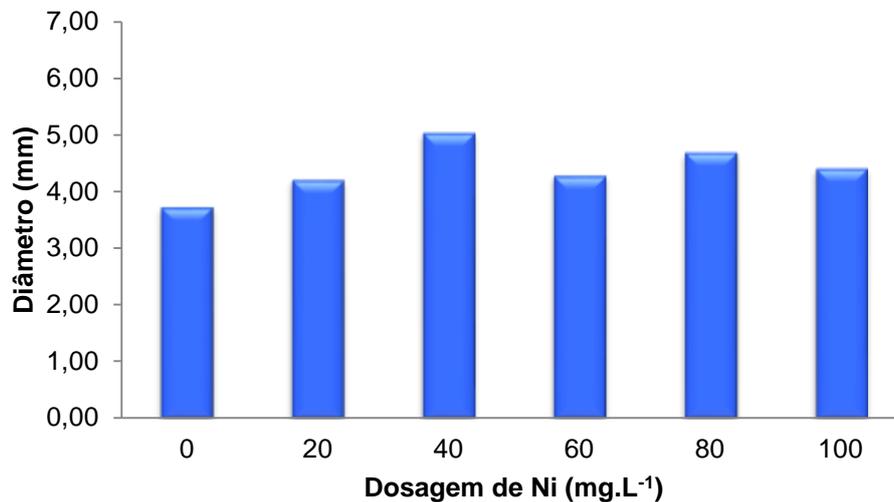


Figura 15 – Diâmetro das plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

O teste de ANOVA (Tabela 05) com demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento em diâmetro sem diferenças significativas mesmo em comparação entre os tratamentos.

Tabela 05 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro altura de plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3,4760	5	0,6952	0,7965	0,5594	2,4772
Dentro dos grupos	31,4216	36	0,8728			
Total	34,8976	41				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

A maior média do diâmetro do caule foi verificada para o tratamento em que as plantas receberam a concentração de 60mg.L⁻¹ de níquel, apresentando valor de

5,04mm, enquanto o menor valor foi apresentado pelo grupo controle que não recebeu tratamento de níquel com 3,73mm.

Ao observar a Figura 16, pode-se notar houve uma tendência de crescimento entre os tratamentos de 0;20;40;60 e 80mg.L⁻¹. No entanto houve oscilações aleatórias que apresentou tendência diferenciada, em que algumas concentrações tiveram inclinações da reta diferente dos outros tratamentos, podendo indicar o início de toxicidade ou algum sintoma de stress sem um fator totalmente claro. O que pode ter ocorrido também por erro de coleta de dados

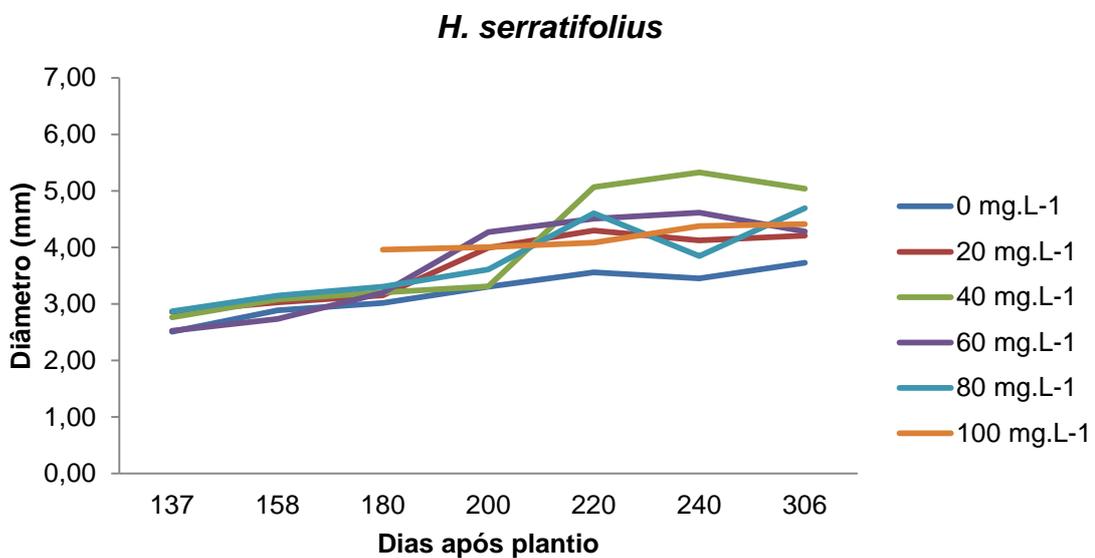


Figura 16 – Crescimento em altura das plantas de *Handroanthus serratifolius* durante o período experimental em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

Na espécie *Handroanthus avellanadae* crescendo em condições de viveiro aos 259 dias o diâmetro apresentou comportamento semelhante aos outros dois experimentos (Figura 17).

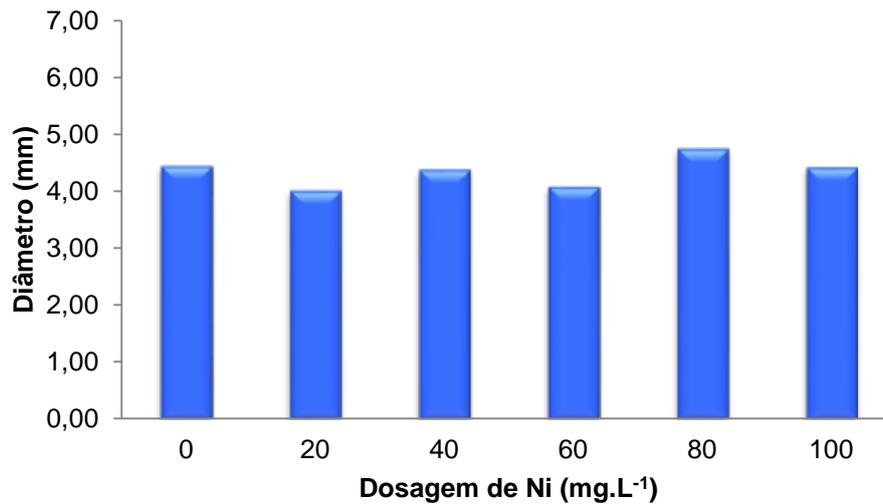


Figura 17 - Diâmetro de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

O teste de ANOVA (Tabela 06) demonstrou que não houve variação estatística significativa entre os tratamentos quando se utiliza as plantas de *H. avellanadae* com 259 dias de desenvolvimento. Mesmo estas plantas sendo mais jovens que as demais (306 dias) elas conseguiram tolerar as concentrações de Ní e mantiveram um desenvolvimento parecido.

Tabela 06 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro altura de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,5257	5	0,3051	0,4179	0,8332	2,4772
Dentro dos grupos	26,2884	36	0,7302			
Total	27,8141	41				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

Os resultados demonstraram que as plantas dos diferentes grupos tiveram a mesma tendência de crescimento em relação ao diâmetro e em condições de viveiro ao período experimental (Figura 18).

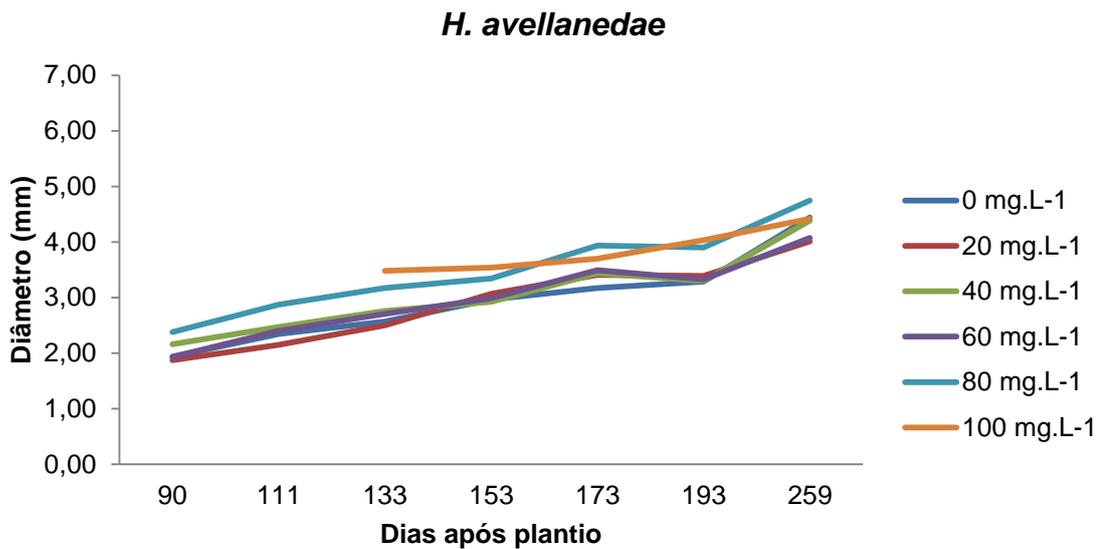


Figura 18 – Crescimento em diâmetro das plantas de *Handroanthus avellaneda* durante o período experimental em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

O diâmetro médio registrado aos 259 dias foram 4,44mm, 4,01mm, 4,38mm, 4,08mm, 4,75mm e 4,42mm para as respectivas concentrações 0, 20, 40, 60, 80 e 100mg.L⁻¹ de Ni.

A concentração de Ni pode influenciar no desenvolvimento da planta, bem como na sua fase vegetativa como reprodutiva. Piccini e Malavolta (1992) citado por Berton et al., (2006) avaliaram a toxidez de Ni em diferentes cultivares de feijão em solução nutritiva, a produção de feijão foi inversamente proporcional à concentração de Ni na solução. Na dose máxima de 4mg.L de Ni as cultivares não produziram sementes. Em outra observação os mesmos autores notaram queda na produtividade de arroz e feijão cultivados em vasos, quando a dose de Ni estava acima de 30mg.kg⁻¹.

Com base nos resultados obtidos, observa-se que as dosagens suportadas por *H. avellaneda* e *H. serratifolius* estão bem acima das concentrações consideradas danosas para duas espécies cultivadas, o feijão e o arroz.

3.3. ÁREA FOLIAR

Os resultados demonstraram que a área foliar das plantas de *Handroanthus avellaneda* crescendo em condições de viveiro foi bastante similar em função das concentrações de níquel aplicadas nos diferentes tratamentos (Figura 19).

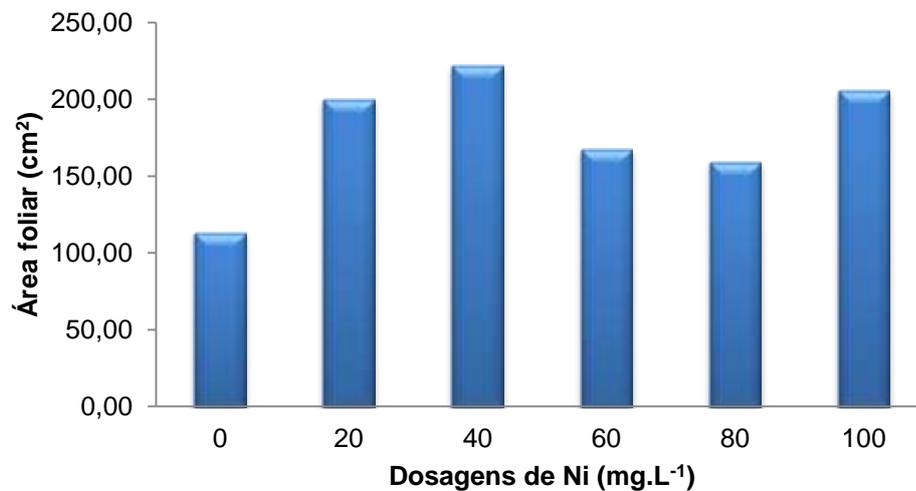


Figura 19 – Área foliar das plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

A área foliar de uma planta pode refletir seu desenvolvimento, indicar sintomas de deficiência nutricional, stress hídrico, sintomatologias de toxidez, intolerância a metais pesados, dentre outros. Como também vai incidir diretamente na sua capacidade de aproveitamento luminoso e indicando a área de fotossíntese da planta, como delibera Benincasa (2003), e gerar indicadores fundamentais para compreender as respostas as plantas a fatores bióticos e abióticos que ocorrem no meio ambiente.

A caracterização de sintomas de toxidez de níquel em feijoeiro cv. Pérola, foi realizada por Campanharo et al., (2010). As plantas de feijão tratadas com dosagens de 0,0 a 60mg.L⁻¹ de Ni não apresentaram sintomas de toxicidade. Já as plantas de que receberam 100mg.L⁻¹ de Ni mostraram 24 horas após a aplicação sintomas de toxicidade nas folhas caracterizada por clorose, em efeitos em tecidos jovens e maduros com predominância e maior intensidade em tecidos mais maduros.

O teste de ANOVA (Tabela 07) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento sem diferenças significativas mesmo sendo submetidas a diferentes dosagens de níquel.

Tabela 07 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro da área foliar de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	90716,259	5	18143,252	1,268	0,282	2,289
Dentro dos grupos	1716432,683	120	14303,606			
Total	1807148,942	125				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

A fitotoxicidade do níquel em plantas é resultado de sua ação no fotossistema, causando distúrbios no ciclo de Calvin e inibição do transporte elétrico por causa das quantidades excessivas de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações de escuro (KRUPA et al, 1993). A folha é a parte da planta em que os sintomas da toxidez de Ni surgem primeiro, com a clorose, necrose e abscisão foliar, devido à translocação desse Ni na planta e uma possível concentração nas folhas.

Ao analisar os resultados em relação à área foliar das plantas de *H. serratifolius* os dados mostraram os valores (Figura 20), 40,71; 108,71; 151,32; 169,72; 61,90 e 157,02 cm², respectivamente para as concentrações de 0; 20;40;60;80 e 100mg.L⁻¹.

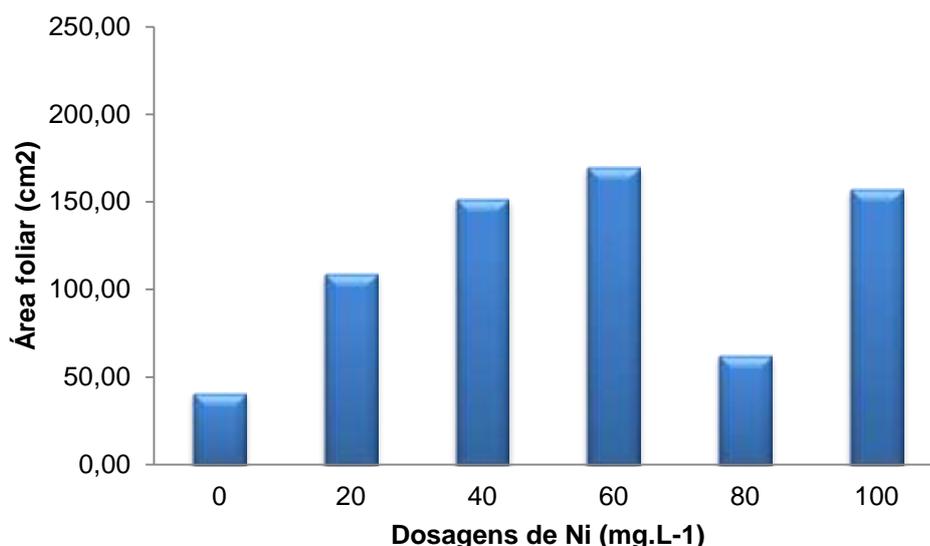


Figura 20 – Área foliar das plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

Pavan e Bingham (1982) relataram que os sintomas de toxidez de Ni em mudas de café foram caracterizados inicialmente por clorose e pontos necróticos nas folhas jovens e internódios. Em um estágio mais adiantado de toxidez, houve diminuição no tamanho das folhas e internódios, manchas necróticas nos pecíolos e caules, desfolha e fenecimento. A concentração de clorofila total diminuiu com o aumento de Ni na parte aérea das plantas associados à clorose foliar.

Paiva et al., (2001) perceberam que a sintomatologia visual de toxidez de níquel em *Myracrodruon urundeuva* foi observada principalmente nas doses 15 e 20mg.L⁻¹ de Ni²⁺. Caracterizada por uma coloração avermelhada inicialmente nas nervuras, evoluindo para todo o limbo das folhas mais velhas, com posterior necrose e desfolhamento. Houve diminuição do tamanho das folhas e no crescimento das plantas. O tratamento com dosagem de 20mg.L⁻¹ de Ni²⁺ foi letal para as plantas.

Não foram observados sintomas de uma possível toxidez que pudessem induzir que foram provocadas pelas concentrações de Ni, uma vez que houve desfolhamento nas amostras, mas estas ocorreram de forma aleatória em todos os tratamentos inclusive no grupo controle.

O teste de ANOVA (Tabela 08) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados em relação à área foliar das plantas de *H. serratifolius*.

Tabela 08 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro área foliar de plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	55090,558	5	11018,111	0,580	0,714	2,477
Dentro dos grupos	683255,020	36	18979,301			
Total	738345,578	41				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

Embora o teste estatístico tenha revelado a inexistência de diferenças entre os tratamentos, tal resultado deve ser analisado com cuidado. Os valores apresentados pelas concentrações de 0 e 80 mg.L⁻¹, são bem diferentes dos valores apresentados nas concentrações de 20, 40, 60 e 100mg.L⁻¹, aparentemente não se permite afirmar que o níquel tenha promovido maior área foliar e também que tenha

havido toxidez em razão das diferentes concentrações. Pode ser que esteja relacionada à variabilidade genética e fenotípica das plantas em estudo.

Os resultados demonstraram que a área foliar das plantas de *H. avellaneda* crescendo em condições de viveiro aos 259 dias foi bastante similar na submissão as concentrações de níquel aplicadas nos diferentes tratamentos (Figura 21).

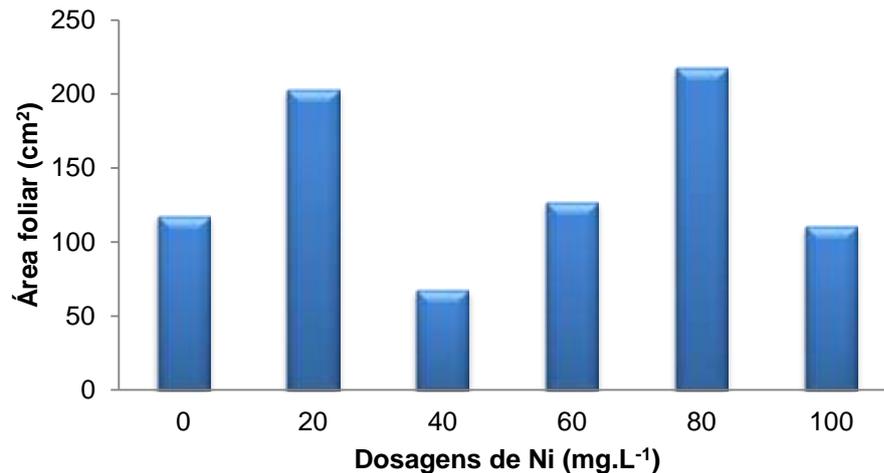


Figura 21 – Área foliar de plantas de *Handroanthus avellaneda* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

Yori et al., (2013) relataram que plantas de *Amaranthus paniculatus L.* que receberam dosagens de cloreto de níquel apresentaram uma boa capacidade de remoção de níquel do ambiente contaminado, chegando a extrair até 60% do total da solução, no entanto quando as dosagens eram altas a área foliar apresentou redução de crescimento.

O teste de ANOVA (Tabela 09) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento sem diferenças significativas mesmo sendo submetidas a diferentes dosagens de níquel.

Tabela 09 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro área foliar de plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	101188,583	5	20237,716	1,553	0,198	2,477
Dentro dos grupos	469014,185	36	13028,171			
Total	570202,769	41				

O Ni é um elemento essencial para o desenvolvimento de muitas plantas. Nos Estados Unidos plantas de pecã (*Carya illinoensis*) responderam positivamente as aplicações de Ni nas folhas, eliminando distúrbios caracterizados por sintomas de nanismo e “orelha de rato”, as pontas das folhas novas tinham manchas escuras e arredondadas. Após pulverização foliar de sulfato de níquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), o Ni foi transportado para tecidos dormentes de ramos e gemas numa proporção suficiente para o crescimento normal (WOOD, REILLY e NYCZEPIR, 2004).

Através da pulverização foliar de níquel na lavoura, pesquisadores conseguiram aumentar a produtividade em diversos campos, diminuindo consideravelmente o controle de doenças em lavouras de soja (SILVA, 2010).

Alovisi et al., (2011) realizaram experimentos no Mato Grosso do Sul, onde o objetivo foi avaliar a eficiência da aplicação de sulfato de níquel em folhas de soja. Foram aplicadas cinco dosagens de sulfato de níquel via foliar em condições de campo. Os teores foliares responderam positiva e linearmente as dosagens aplicadas. A maior dosagem fornecida praticamente quadruplicou o teor foliar de Ni. Estatisticamente a produção de grãos não foi influenciada pela aplicação de Ni. No entanto, houve um o incremento de duas sacas.hc⁻¹ o que pode dar uma renda extra ao produtor no valor final da produtividade.

3.4. PESO SECO DA PARTE AÉREA

Os resultados obtidos em relação ao peso seco da parte aérea de plantas de *H. avellanedae* mostram que mesmo obtendo valores numéricos diferentes, não há diferenças significativas entre os resultados (Figura 22).

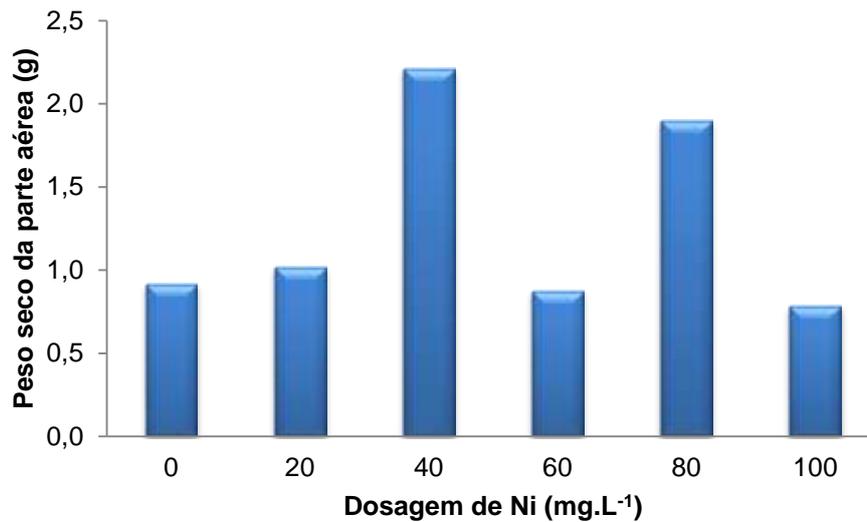


Figura 22 – Peso seco da parte aérea de plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

A parte aérea representa 90% de uma planta, é onde esta armazenada a água e minerais, além de ser o local que se pode demonstrar a capacidade de uma boa realização de fotossíntese. Benincasa (2003) relata que, dados referentes ao peso seco acumulado ao longo do desenvolvimento da planta resultam da atividade fotossintética e o restante é de minerais que são absorvidos pela planta.

Conforme Mitchell (1945) o teor normal de Ni na matéria seca de plantas pode variar entre 0,1 e 5mg kg⁻¹. Esse valor depende da espécie, da parte da planta amostrada, da época de amostragem, do teor de Ni no solo, da acidez do solo, entre outros fatores.

O peso seco da parte aérea relativo às dosagens de 0, 20, 40, 60, 80 e 100mg.L⁻¹ de Ni, foram em *H. avellanedae*, de 0,917, 1,017, 2,214, 0,874, 1,899 e 0,7899mg.Kg⁻¹. O teste de ANOVA (Tabela 10) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento sem diferenças significativas mesmo sendo submetidas a diferentes dosagens de níquel.

Tabela 10 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro peso seco da parte aérea de plantas de *Handroanthus avellaneda* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,1294	5	0,2259	0,9558	0,4812	3,1059
Dentro dos grupos	2,8359	12	0,2363	1.	2.	3.
	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Total	3,9653	17				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

A ausência de resposta aparente das plantas analisadas em relação às diferentes dosagens de níquel pode ser explicada por essas plantas terem tolerância a esse metal. Para que seja indicado que estas plantas possuam capacidade fitorremediadora é necessário quantificar a concentração de Ni que foi absorvida do solo e armazenada nos diferentes tecidos da planta. ADRIANO (1986) concluiu que a toxidez de Ni se expressa quando a concentração de Ni for maior que 50 mg.kg^{-1} na matéria seca das plantas.

Em plantas acumuladoras e hiperacumuladoras sintomas de toxidade se expressa em concentrações bem altas de Ni. Plantas hiperacumuladoras de níquel como a *Vellozia spp.*, acumula mais de 3.000 mg.kg^{-1} em suas folhas e *Sebertia acuminata*, com $11.700 \text{ mg.kg}^{-1}$ (BROOKS et al., 1990).

As espécies *Alyssum bertoloni* e *Dichapetalum gelonioides* podem apresentar teores de Ni de $13.400 \text{ mg kg}^{-1}$, $33.000 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000).

Os resultados demonstraram que o peso seco da parte aérea das plantas de *Handroanthus serratifolius* crescendo em condições de viveiro foi bastante similar nas concentrações de níquel aplicadas nos tratamentos (Figura 23).

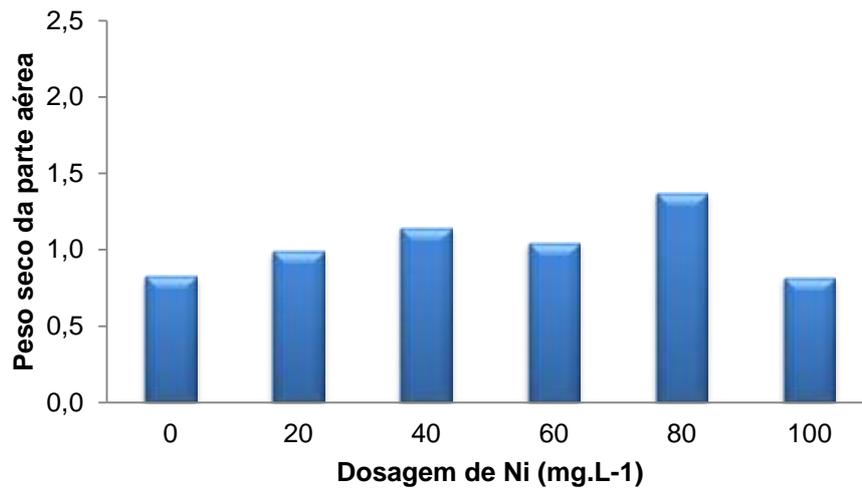


Figura 23 – Peso seco da parte aérea de plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

O teste de ANOVA (Tabela 11) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento sem diferenças significativas mesmo sendo submetidas a diferentes dosagens de níquel.

Tabela 11 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro do peso seco da parte aérea de plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,6552	5	0,1310	0,3907	0,8459	3,1059
Dentro dos grupos	4,0246	12	0,3354	10.	11.	12.
	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Total	4,6798	17				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

O peso seco da parte aérea relativo às dosagens de 0, 20, 40, 60, 80 e 100mg.L⁻¹ de Ni, foram em *H. serratifolius* 0,827, 0,993, 1,144, 1,042, 1,372 e 0,829g respectivamente.

De acordo com Yori et al., (2013) a translocação do metal das raízes para a parte aérea é um traço adequado para selecionar uma planta para fitorremediação, condição que foi indicada por (Neumann e Chanel, 1986). Para saber a quantidade de Ni é necessário realizar análises em diferentes partes da planta para quantificar a

concentração de Ni em cada parte, além de realizar análises de solo para saber o teor nutricional do substrato em uso.

Os resultados demonstraram que o peso seco da parte aérea de plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 259 dias, crescendo em condições de viveiro foi bastante similar na submissão as concentrações de níquel aplicadas nos diferentes tratamentos (Figura 24).

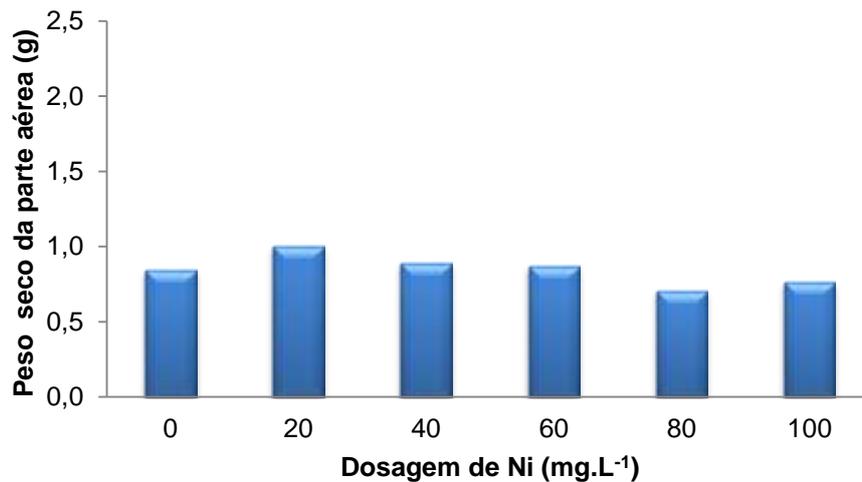


Figura 24 – Peso seco da parte aérea de plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

O teste de ANOVA (Tabela 12) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento sem diferenças significativas mesmo sendo submetidas a diferentes dosagens de níquel.

Tabela 12 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro peso seco da parte aérea de plantas de *Handroanthus avellanedae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,1616	5	0,0323	0,1558	0,9741	3,1059
Dentro dos grupos	2,4895	12	0,2075			
Total	2,6511	17				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

Paiva et al., (2004) observaram que a aplicação de doses de Ni afetou, de forma significativa o conteúdo de Cu, Fe, Mn, Zn e Ni na matéria seca de raízes, caule, folhas e matéria total de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). Levando a crer que a presença do Ni provoca distúrbios na planta e permitindo que haja a entrada significativa de outros metais pesados.

Yori et al., (2013) relataram que plantas de *Amaranthus paniculatus L.* que receberam dosagens de cloreto de níquel apresentaram uma boa capacidade de remoção de níquel do ambiente contaminado, chegando a extrair até 60% do total da solução, no entanto quando as dosagens eram altas a área foliar apresentou redução de crescimento.

3.5. PESO SECO DA RAIZ

Os resultados obtidos em relação ao peso seco da raiz de plantas de *H. avellanae* mostram que mesmo obtendo valores numéricos diferentes, não há diferenças significativas entre os resultados (Figura 25).

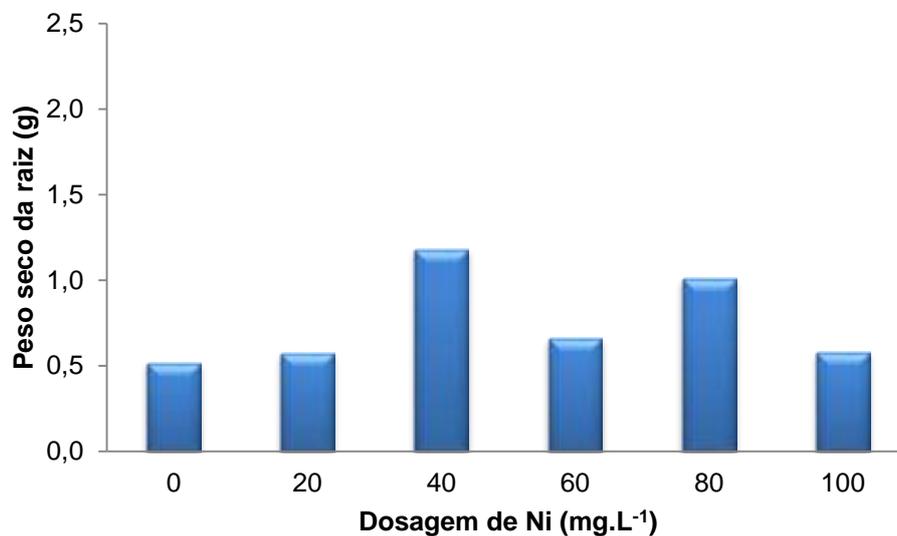


Figura 25 – Peso seco da raiz de plantas de *Handroanthus avellanae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

A raiz é o órgão da planta responsável pela absorção, fixação, condução e armazenamento. Controla a entrada da maior parte de água, minerais e metais pesados. Pode ser responsável pela resistência de plantas aos íons de metais

pesados, em que há uma mobilização desses metais na parede celular (PRASAD, 2005).

Saber o peso seco das raízes auxilia no conhecimento da capacidade de extração de águas e compostos do solo e conduzem até a planta apresenta. As raízes podem imobilizar ou extrair o níquel do solo e conduzi-lo até a parte aérea da planta, ou armazená-lo em seus vasos (WOOD, REILLY E NYCZEPIR, 2004; ANSELMO e JONES, 2005).

O teste de ANOVA (Tabela 13) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento sem diferenças significativas mesmo sendo submetidas a diferentes dosagens de níquel.

Tabela 13 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro peso seco da raiz de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GI</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,1294	5	0,2259	0,9558	0,4812	3,1059
Dentro dos grupos	2,8359	12	0,2363			
Total	3,9653	17				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

A tolerância a metais pesados esta baseada no seqüestro de íons desses metais em vacúolos, onde se ligam adequadamente a ácidos orgânicos, proteínas e peptídeos, e na presença de enzimas capazes de funcionar a níveis elevados de íons metálicos (PRASAD, 2005).

Mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*) absorvem quantidades crescentes de Ni, à medida que se aumentam as doses deste metal em solução nutritiva de acordo com Paiva et al., (2004). No entanto, o conteúdo de Ni mostra uma tendência de ser crescente até determinada dose, em que passa a se considerado tóxico, mas isso é muito variável dependendo da parte da planta analisada.

As raízes de plantas com capacidade fitorremediadora podem extrair metais pesados do solo e armazenar em seus tecidos. No entanto pode haver translocamento de metais para a parte aérea (WOOD, REILLY E NYCZEPIR, 2004), tanto da raiz para a parte aérea como de uma região da parte aérea para outra.

O Ni é absorvido pelas raízes na forma de cátion divalente (Ni^{2+}). De acordo com Caixeta et al., (2013) esse elemento apresenta capacidade intermediária de redistribuição na planta, sua mobilidade no solo é média sob condições de oxidação, elevada em ambiente ácido, muito baixa em ambiente neutro e redutor em alcalino.

Os resultados demonstraram que o peso seco da parte aérea das plantas de *H. serratifolius* crescendo em condições de viveiro foi bastante similar mesmo utilizando diferentes concentrações de níquel (Figura 26).

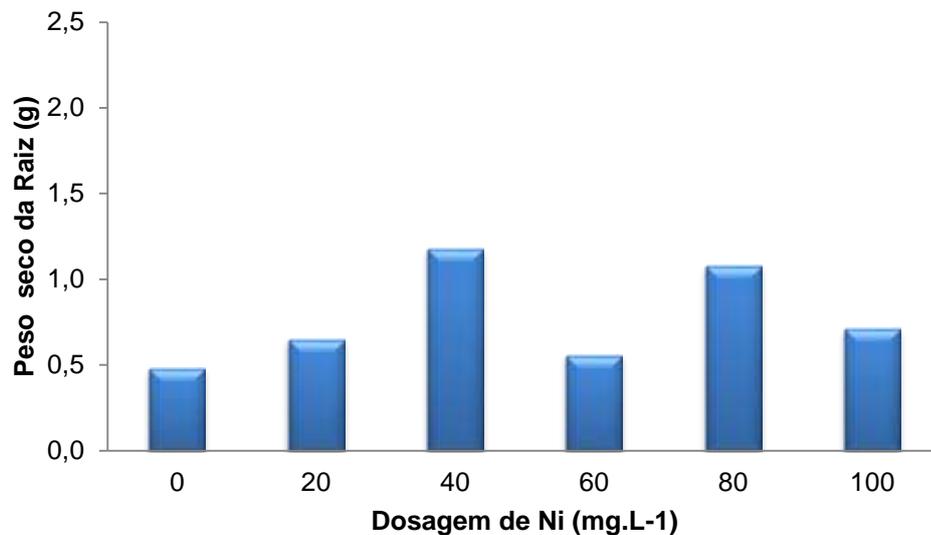


Figura 26 - Peso seco da parte aérea de plantas de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

O teste de Anova* (Tabela 14) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento sem diferenças significativas mesmo sendo submetidas a diferentes dosagens de níquel.

Tabela 14 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro do peso seco da raiz de *Handroanthus serratifolius* aos 306 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,2338	5	0,2468	0,8185	0,5593	3,1059
Dentro dos grupos	3,6177	12	0,3015			
Total	4,8515	17				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

Os resultados demonstraram que o peso seco das raízes de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 259 dias, crescendo em condições de viveiro foi bastante similar na submissão as concentrações de níquel aplicadas nos diferentes tratamentos (Figura 27).

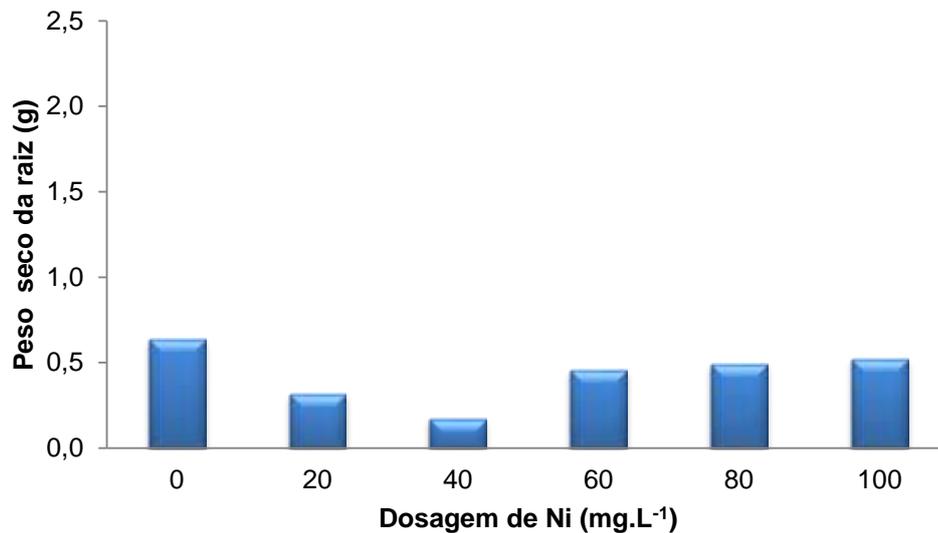


Figura 27 – Peso seco da raiz de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel aplicado em solução.

O teste de ANOVA (Tabela 15) demonstrou que não houve variação estatística para os tratamentos aplicados. As plantas mantiveram seu desenvolvimento sem diferenças significativas mesmo sendo submetidas a diferentes dosagens de níquel.

Tabela 15 - Resultado da análise de variância (Anova*) para o parâmetro peso seco da raiz de plantas de *Handroanthus avellanadae* aos 259 dias de crescimento em diferentes concentrações de níquel.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,4081	5	0,0816	2,2104	0,1208	3,1059
Dentro dos grupos	0,4431	12	0,0369			
Total	0,8511	17				

*análise estatística sob 5% de nível de significância

Pavan e Brigman (1982) indicaram que o excesso de Ni na solução causou danos nas raízes de cafeeiro em um experimento provocando o aumento da entrada e concentração de outros metais pesados como o Mn, Zn e Fe nas plantas de café.

Paiva et al., (2001) verificou que dosagens crescentes de solução contendo Ni afetam o peso seco das raízes e provocam toxidez em plantas de *Myracrodruon urundeuva*. Planta esta esses autores não indicam para recomposição vegetal de áreas contaminadas por este metal.

3.6. CORTES ANATÔMICOS

A observação dos cortes anatômicos das duas espécies estudadas indica que não houve alterações aparentes nos tecidos do caule e da raiz (Figuras 28a, b, c, e d e 29a, b, c e d) de plantas que cresceram sob a influência de diferentes concentrações de níquel.

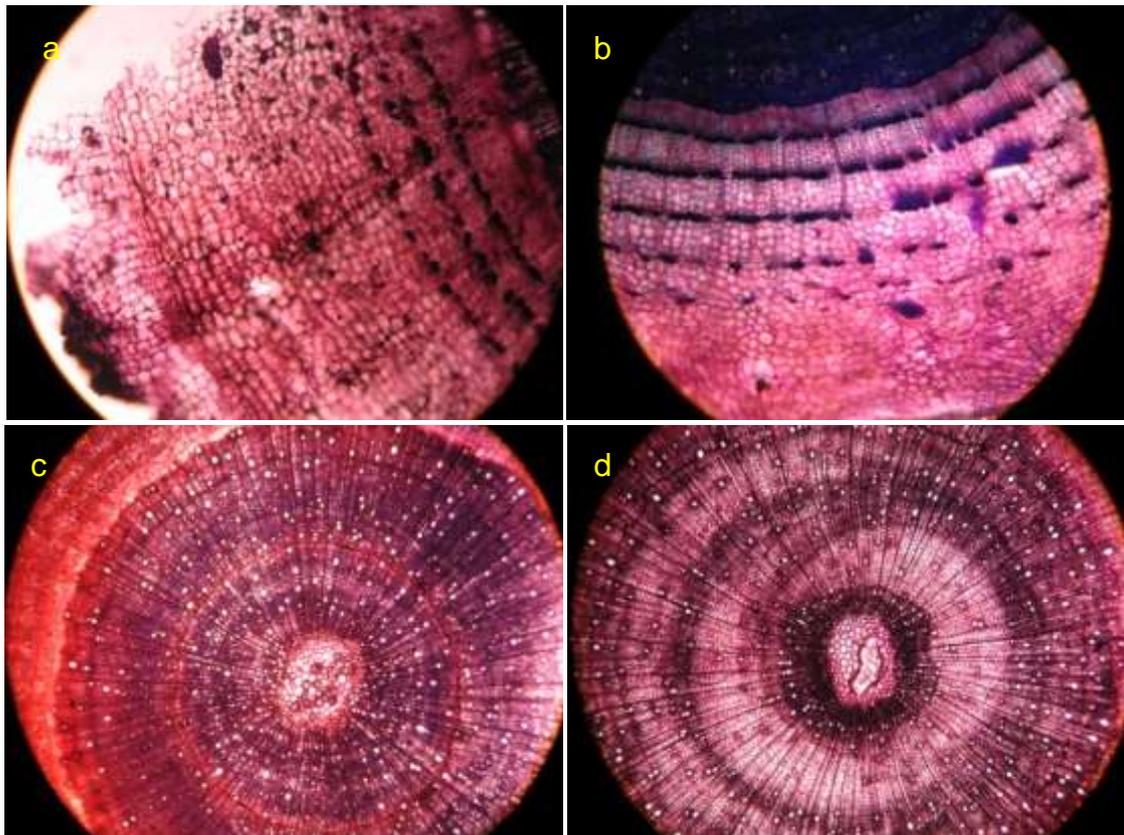


Figura 28: Cortes anatômicos das plantas nas diferentes dosagens de níquel: a-corte anatômico do caule de *H. avellaneda* com tratamento de $0,0\text{mg.L}^{-1}$ de Ni. b-corte anatômico do raiz de *H. avellaneda* com tratamento de $20,0\text{mg.L}^{-1}$ de Ni. c-corte anatômico do caule de *H. avellaneda* com

tratamento de 80mg.L^{-1} de Ni. d- corte anatômico do caule de *H. avellanedae* com tratamento de $100,0\text{mg.L}^{-1}$ de Ni.

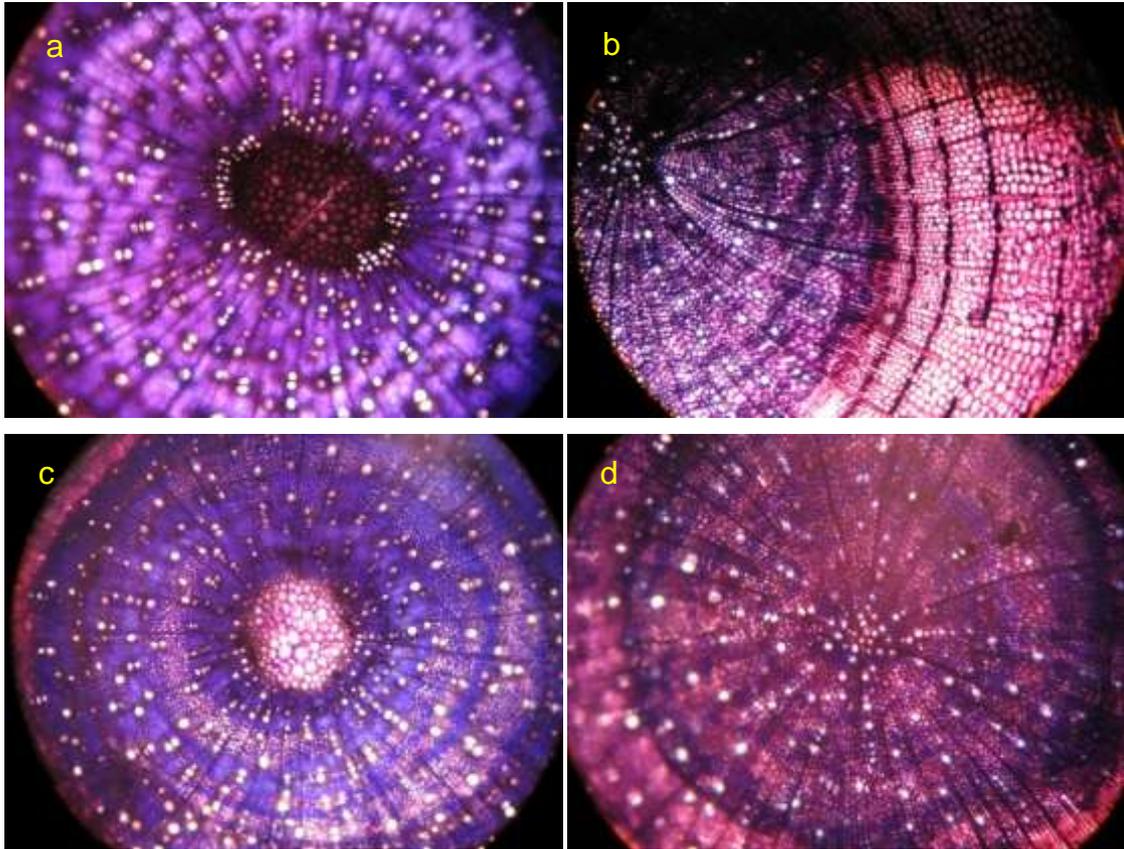


Figura 29: Cortes anatômicos das plantas de *H. serratifolius* nas diferentes dosagens de níquel: - a- Corte anatômico do caule de *H. serratifolius* com tratamento de 40mg.L^{-1} de Ni. b-Corte anatômico do caule de *H. serratifolius* com tratamento de 00mg.L^{-1} de Ni. c-Corte anatômico do caule de *H. serratifolius* com tratamento de $60,0\text{mg.L}^{-1}$ de Ni. d-Corte anatômico do caule de *H. serratifolius* com tratamento de $100,0\text{mg.L}^{-1}$ de Ni.

A distribuição dos elementos de vaso do xilema, assim como o parênquima radial e axial, as fibras do lenho e do líber, se mostraram sem alterações aparentes, mostrando uma distribuição dos tecidos de forma regular como descrito por Evert (2013).

A observação de evidências anatômicas se faz importante por fornecer dados da estrutura interna, contribuindo para a compreensão dos resultados de crescimento, pois o crescimento pode ser aparentemente normal e, no entanto, os tecidos internos poderiam estar sendo afetados por necrose, crescimento anormal e alterações celulares que seriam imperceptíveis na análise externa.

Assim, anatomicamente as concentrações de níquel utilizadas não afetaram a estrutura do caule e raiz de plantas de *H. avellanedae* e *H. serratifolius*,

corroborando com os resultados obtidos para os parâmetros de crescimento analisados.

As plantas possuem vários mecanismos a nível celular para resistir a metais pesados e usá-los em seu benefício ou apenas armazená-los de forma que não prejudique seu desenvolvimento.

As estratégias de controle do aumento de metais pesados são diversas na planta. Extracelularmente essa função é direcionada para as micorrizas, parede celular, transpiração extracelular e a exsudação da raiz. Essa tolerância pode envolver a membrana plasmática, por redução ou por estimulação de fluxo, entrada e saída do citoplasma, sem afetar ou afetando sem intempéries o ciclo celular. Proteínas liberadas com choques térmicos, armazenamento vacuolar, fitoquelatinas e metalotioninas podem também auxiliar na fitorremediação do solo (HALL, 2002).

CONCLUSÕES

As diferentes concentrações do metal pesado níquel não afetaram de forma significativa o crescimento e desenvolvimento das espécies *Handroanthus avellanedae* e *Handroanthus serratifolius*.

A estrutura anatômica igualmente não foi alterada pela aplicação de níquel, permanecendo sem danos celulares e tissulares.

Novos estudos são necessários para determinar se as espécies são tolerantes ou resistentes ao níquel, porém as mesmas sobreviveram em ambiente experimental em concentrações consideradas tóxicas, sugerindo no mínimo a tolerância a este metal pesado.

As espécies avaliadas possuem potencial para uso em áreas contaminadas por níquel, vez que a concentração suportada é maior do que preconiza a legislação brasileira para este metal pesado.

Fazem-se necessários estudos mais detalhados para detectar a concentração máxima tolerada pelas espécies, onde no presente trabalho esse valor não foi alcançado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A.M.A. & SIQUIERA, J.O. **Biorremediação de áreas contaminadas**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., H.V. & CHEFER, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 2000. v.1. p.299-352.

ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533p.

ALOVISI, A. M. T.; MAGRI, J.; DUTRA, J. E.; MAGRI, E.; SANTOS, M. J. G. dos; e ALOVISI, A. A. Adubação foliar com sulfato de Níquel na cultura da soja. Dourados. **Ensaio e Ciências: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**. Vol. 15, Nº 02, Ano, 2011. pPag. 25-32.

ANSELMO, A. L. F.; JONES, C. M. **Fitorremediação de solos contaminados: O estado da arte**. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005.

ARAUJO, E. L.; ALENCAR, J. R. B.; ROLIM NETO, P. J. Lapachol: segurança e eficácia na terapêutica. **Rev. bras. farmacogn.** [online]. 2002, vol.12, suppl.1, pp. 57-59. ISSN 0102-695X.

BAKER, A. J. M.; McGRATH, S. P.; SODOLI, C. M. D.; REEVES, R. D. **The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal accumulating plants**. Resources, Conservation and Recycling, Amsterdam, v. 11, p. 41-49, 1994.

BENINCASA, M. M. P e LEITE, I. C. **Fisiologia vegetal**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2004. 169 p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: Noções básicas**. 2ª ed. Funep, Jaboticabal, Brasil, 2003. 41p.

BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O.; OKEKE, B. Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.34, p. 65-68, 2003.

BENVENUTI, T.; RODRIGUES, M. A. S.; ZIULKOSKI, A. L.; BERNARDES, A. M.; FERREIRA, J. Z. REM: R. **Tratamento de efluentes de eletrodeposição de níquel por fotoeletrooxidação** Esc. Minas, Ouro Preto, 65(3), 349-356, jul. set./2012.

BERTON, R. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, S. A. L.; ABREU, C. A. A.; AMBROSANO, E. J.; e SILVEIRA, A. P. D. S. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.8, p.1305-1312, ago. 2006.

BHUPATHIRAJU, V. K.; KRAUTER, P.; HOLMAN, H. N.; CONRAD, M. E.; DALEY, P. F.; TEMPLETON, A. S.; HUNT, J. R.; HERNANDEZ, M.; ALVAREZ-COHEN, L. **Assessment of in-situ bioremediation at a refinery waste-contaminated site and an aviation gasoline contaminated**. Biodegradation, v. 13, p. 79–90, 2002.

BLOOM, A.J. **Nutrição mineral**. In: Taiz, L. e Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 3ª edição, 2004. p.95-113.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado**. Brasília, março de 2010.

BRASIL. Constituição (1988). **Capítulo VI: Do Meio Ambiente, artigo 225**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. **Decreto N° 99.274, de junho de 1990**. Regulamenta a Lei n° 6.902, de 27 de Abril de 1981, e a Lei n° 6.938, de 31 de Agosto de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Brasília, 06 de junho de 1990.

BRASIL. **Lei federal N° 6.938, de 02 de setembro de 1981**. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 31 de agosto de 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 28 de dezembro de 2009.

BROOKS, R. R.; REEVES, R. D.; BAKER, A. J. M.; RIZZO, J. A.; FERREIRA, H. D. The Brazilian serpentine plant expedition (BRASPEX), 1988. **National Geographic Research**, v. 6, n. 2, p. 205-219, 1990.

CAIXETA, A. M.; RICARDO, J.; e BERNARDES, J. B. **Importância da utilização do níquel na agricultura**. Disponível em: <http://www.cefetbambui.edu.br/grupos_de_estudo/gesa/download/slides_e_palestras/utilizacao_e_importancia_do_niquel_na_agricultura.pdf> Acesso em: 27/05/2013.

CAMPANHARO, M.; MONNERAT, P. H.; ESPINDULA, M. C. RABELLO, W. S.; e RIBEIRO, G.. Toxicity symptoms of nickel in common bean. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 490 - 494, 2010.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas: Legislação brasileira / Dorothy C. P. Casarini [et al.]. São Paulo: **Série Relatórios Ambientais**, 09 p., 1999.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas: Investigação para Remediação / Dorothy C. P. Casarini [et al.]. São Paulo: **Série Relatórios Ambientais**, 77p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/Capitulo_X.pdf> Acesso em: 30/05/2013.

CETESB. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas: Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo / Dorothy C. P. Casarini [et al.]. São Paulo: **Série Relatórios Ambientais**, 73 p., 2001.

CLEMENT, C.R. **Growth and genetic analysis of pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth, Palmae) in Hawaii**. Honolulu, 1995. 95f. Thesis (Ph.D.) - University of Hawaii, Honolulu.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. **Contaminação de água subterrânea por derramamento de gasolina: O problema é grave?** Eng San. v. 2, p.50-54, 1997.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R **Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização**. Silva Lusitana 15(1): 103 - 117, 2007. EFN, Lisboa.

COUTINHO, L. M. O conceito de Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo: 1978. 1: 17-23.

CUTLER, D.F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D.W. **Anatomia vegetal**. Porto Alegre, RS: ArtMed, 2011. 304 p.

DINARDI, A. L.; FORMAGI, V. M.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; SOBRINHO, G. D.; TONSO, S; PELEGRINI, R. **Fitorremediação**. III Fórum de Estudos Contábeis 2003. Rio Claro, 2003.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Desempenho do setor mineral. *Ministério de Minas e Energia*, Brasília, 2012. Disponível em:<https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6583> Acesso em: 15/05/2013.

DOMINGUES, T. C. G. Teor de metais pesados em solo contaminado com resíduo de sucata metálica, em função de sua acidificação. **Dissertação de mestrado**. Campinas, 2009. 75 pfls.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: desafios e perspectivas**. 2ª edição. Londrina: editora Planta, 2006. 403 p.

EVERT, R. F. **Anatomia das plantas de Esau: Meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento**. São Paulo: Blucher, 2013. 726 p.

FARAGO M. E. et al. Plants and the Chemical Elements. **Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity**. Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo: VCH, 1994.

FERREIRA L.; CHALUB, D.; MUXFELDT, R. **Ipê-amarelo: *Tabebuia serratifolius* (Vahl) Nichols**. Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia. *Versão on-line* ISSN 1679-8058. Nº5, 2004.

FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Gerenciamento de Áreas Contaminadas: conceitos e informações gerais. Disponível em:

<http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/cartilha_areas_contaminadas_fieng.pdf> Acesso em 02/10/2012.

GONÇALVES, L. H. N. **Qualidade fisiológica e expressão de proteínas em sementes de *Handroanthus serratifolia* submetidas à secagem.** Lavras: UFLA, 2013.

GRATÃO, P. L.; POLLE, A, LEA P. J.; AZEVEDO, R. A. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Funct. Plant Biol.** 32:p. 481-494, 2005.

GROSE, S. O. Revisões taxonômicas RG no polyphyletic Gênero *Tabebuia* s.l (Bignoniaceae). **Botânica sistemática** ., v.32, n.3, p.660-670, 2007.

GUARACHO, V. V. Remediação eletrocinética de chumbo e níquel em solos de landfarming de refinaria. **Dissertação de Mestrado**, programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

HALIM, M.; CONTE P. e PICCOLO, A. **Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances.** Chemosphere 52, 2003. p. 265–275.

HALL, J.L. Cellular mechanism for heavy metal detoxification and tolerance. **Journal of Experimental Botany.** 53(366) : 1-11. 2002. P. 1-11.

HARIDASAN, M. **Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado?** In: Prado, CHBA; Casali, CA. Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral. Barueri, Editora Manole, 2006. ISBN: 85.204.1553-9.

HARIDASAN, M. **Performance of *Miconia albicans* (Sw.) Triana, an aluminium accumulating species in acidic and calcareous soils.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.19, 1988, p.1091-1103.

IARC - International Agency for Research on Cancer. Chromium, nickel and welding. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum, 49: 1–648. PMID:2232124. Lion, 1990.

IBF – INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. Ipê-roxo - *Tabebuia avellaneda*. Disponível em: <<http://www.ibflorestas.org.br/pt/venda-de-mudas/142-ipe-roxo-Handroanthus-avellaneda.html>> Acesso em: 14/08/2012.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e análises da economia mineral Brasileira. 7ª edição. Dezembro/2012. Disponível em:<<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>> Acesso em: 26/07/2013.

KLINK, C. A; MACHADO, R. B, **Conservação do Cerrado brasileiro.** Biologia da Conservação, v.19, n.3, p.707-713, Distrito Federal: Brasília, 2005. p.707-713.

KRISTIN L. K.; KEVIN A. H.; KIM A. A. Stainless Steel Leaches Nickel and Chromium into Foods during Cooking. **J. Agric. Food Chem.**, Oregon, 2013, 61 (39), p 9495–9501. DOI: 10.1021/jf402400v.

KRUPA, Z.; SIEDLECKA, A.; MAKSYMIEC, W.; BASZYNSKI, Y.T. In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. **Journal of Plant Physiology**, v.142, p.664-668, 1993. p.664-668.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: Editora RIMA, 2000. 531 p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Capítulo I: Fertilidade do solo e produtividade agrícola. SBCS, Viçosa, 2007. **Fertilidade do Solo**, 1017p. (eds. NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L.).

LORENZI, H. **Árvores brasileiras (Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil)**. Volume 1. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2000.

LÜTTGE, U.; HARIDASAN, M.; FERNADES, G.W.; MATTOS, E.A. TRIMBORN, P.; FRANCO, A.C.; CALDAS, L.S.; ZIEGLER, H. **Photosynthesis of mistletoes in relation to their hosts at various sites in tropical Brazil**. *Trees*, v.12, 1998.

MACEDO, L. S.; MORRIL, W. B. B. Origem e comportamento dos metais Fitotóxicos: revisão da literatura. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.2., n.2, p.29-38, jun. 2008. p.29-38.

MAGALHÃES A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: **Fisiologia Vegetal**. São Paulo EPV/EDUSP, 1979 v.1 p. 331-350.

MALAVOLTA, E.; LEÃO, H. C. de; OLIVEIRA, S. C.; LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M. F.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, M. Repartição de nutrientes nas flores, folhas e ramos da laranjeira cultivar natal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 506-511, 2006.

MALAVOLTA, E.; MORAIS, M. F. **Níquel – de tóxico a essencial**. Informações agrônômicas, Nº 118, Junho de 2007.

MARIANO, A. P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. Rio Claro : [s.n.], 2006

MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; e MARQUES, T. A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: **Biossólidos na Agricultura** (Tsutyia et al., eds.). 2a, São Paulo, ABES/SP, 2002. p.365-403.

MARQUES, T. C. L. L. S. M.; MOREIRA, F. M. S.; e SIQUEIRA, J. O. Crescimento e absorção de metais em mudas de espécies arbóreas em solo contaminado com metais pesados. **Pesq. Agropec. Bras.**, 35:121-132, 2000.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER; B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S. NOGUEIRA, P. E. **Flora vascular do bioma Cerrado**. EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília-DF.

MITCHELL, R.L. Cobalt and nickel in soils and plants. **Soil Science**, v.60, p.63-70, 1945.

NEUMANN, P. M.; CHAMEL, A. Comparative phloem mobility of nickel in nonsenescent plants. **Plant physiology**. Vol 81.2 (1986): 689-691.

NEVES, O. S. C.; FERREIRA, E. V. O.; CARVALHO, J. G. e SOARES, C. R. F. S. Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2007, vol.31, n.3, pp. 485-490. ISSN 0100-0683.

OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, K. A. de P.; SANTOS, K. J. G. dos; MOREIRA, F. P. **Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado**. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, Goiás, ISSN 1808-8597, v.1, n.1, p. 01-12, ago. 2005.

OLIVEIRA, R. E. de; ZAKIA, M. J. B. **Elaboração de lista de espécies arbóreas nativas para silvicultura e modelos de uso múltiplo**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF. Disponível em:<http://www.ipef.br/pcsn/documentos/especies_nativas_silvicultura.pdf> Acesso em: 10/02/2014.

OLIVEIRA, S. L.; ROCHA, C.; MOREIRA, P. C.; MOREIRA, S. O. L. **Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação**. Estudos, Goiânia, v. 36, n. 11/12, p. 1141-1159, nov./dez. 2009. p. 1141-1159.

PAIVA, H. N. CARVALHO, R.; SILVA, F. P. da; CARVALHO, J. G. de; MELLONI, R. **Influência de doses de níquel sobre o crescimento de mudas de aroeira (Myracrodruon urundeuva Fr. All.) em solução nutritiva**. CERNE, V.7, N.1, P.114-121, 2001.

PAIVA, H. N. de; CARVALHO, J. G. de; SIQUEIRA, J. O.; MIRANDA, J. R. P. de; FERNANDES, A. R. **Absorção de nutrientes por mudas de ipê-roxo (Tabebuia Impetiginosa (MarH.) Standl.) em solução nutritiva contaminada por cádmio**. R. Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.2, p.189-197, 2004.

PAIVA, H. N.; CARVALHO, J.G.; SIQUEIRA J.O.; FERNANDES, A.R. & MIRANDA, J.R.P. **Efeito da aplicação de doses crescentes de níquel sobre o teor e o conteúdo de nutrientes em mudas de ipê-roxo (Tabebuia impetiginosa (Mart.) Standley)**. Sci. For., 63:158-166, 2003.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais em plantas II: Caracterização da toxidez de níquel em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p.323-328, fev.1982.

POMPEU, G. B.; GRATÃO, P. L.; VITORELLO, V. A.; AZEVEDO, R. A. 2008. Antioxidant isoenzyme responses to nickel-induced stress in tobacco cell suspension culture. **Scientia Agricola** 65: 548-552.

PRASAD, M. N. V. Nickelophilous plants and their significance in phyto technologies. Bras. J. Plant. Physiol., 17(1): 113-128. Índia, 2005.

RASKIN'S, L.; SMITH, R. D.; SALT, D. **Phytoremediation: Using plants to remove pollutants from the environment**. Plant biotechnology, New Brunswick, NJ 08903-0231, USA, 1997.

RIBEIRO, J. F. WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa informações tecnológicas, 2008. p. 152–212.

RIBEIRO, J. F. WALTER, B. M. T. **Tipos de vegetação do bioma cerrado**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_23_911200585232.html> Acesso em: 15/02/2013

SAINGER, P. A.; DHANKHAR R. A. N.; SAINGER, B.; KAUSHIK A. C.; SINGH R. P. D. Assessment of heavy metal tolerance in native plant species from soils contaminated with electroplating effluent. **Elsevier, Ecotoxicology and Environmental Safety** 74(2011)2284–2291. India, 2011.

SANTANA, O. A. Influência de depósito de lixo na fitossociologia das espécies arbóreas do Cerrado. **Tese de doutorado**. Brasília, 2007.

SBCS, Boletim Informativo. Solos contaminados no Brasil: o desafio de definir valores de referência. ISSN 1981-979X. volume 38, número 01, Janeiro - Abril de 2013.

SILVA, C. S. **Conceito do bem mineral: Níquel**. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, Goiás, 2010. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3984>. Acesso em 02/01/2012.

SILVA, D. G.; CARVALHO, M. L. M.; NERY, M. C.; OLIVEIRA, L. M.; CALDEIRA, C. M. **Alterações fisiológicas e bioquímicas Durante o armazenamento de Sementes de Tabebuia serratifolia**. Revista Cerne, v.17, n.1, p.1-7, 2011.

SOARES, A. R. Extração em fase sólida de níquel em amostras aquosas e determinação por espectroscopia de reflectância difusa. 2008, 65pags. **Dissertação Magister Scientiae**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

SOUZA, L. A.; OLIVEIRA, J. H. G. Morfologia e anatomia das plântulas de *Tabebuia avellanedae* Lor. ex Griseb e *T. chrysotricha* (Mart. ex Dc.) Standl. (Bignoniaceae). **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. Maringá, v. 26, no. 2, p. 217-226, 2004.

SOUZA, L. A.; OLIVEIRA, J. H. G.. Morfologia e anatomia das plântulas de *Tabebuia avellanedae* Lor. ex Griseb e *T. chrysotricha* (Mart. ex Dc.) Standl. (Bignoniaceae). **Acta Scientiarum** 26: 217-226. Paraná, 2004

TAIZ, L.; ZEINGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Ed. Artimed, 5ª edição. Porto Alegre, 2013.

TAVARES, S. R. L. Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

VILHALVA, D. A. A. Planta do cerrado absorve metal nocivo ao meio ambiente. **Jornal da UNICAMP**. Campinas, 15 a 21 de setembro de 2008.

WATANABE, T.; OSAKI, M. **Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: a review.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 33, 2002, p.1247-60.

WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. **HortScience**, v. 39, n. 1, p. 95-100, 2004.

WWF - World Wildlife Fund. Alerta vermelho: Em 20 de agosto, humanidade excedeu orçamento da Terra para 2013. Disponível em: < http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/overshootday/ > Acesso: em 25/08/2013.

YORI, V.; PIETINI, F.; CHEREMISINA, A.; SHEVYAKOVA, N.; RADYUKINA, N.; KUZNETSOV, V. V.; e ZACCHINI, M. Growth Responses, Metal Accumulation and Phytoremoval Capability in Amaranthus Plants Exposed to Nickel Under Hydroponics. **Springer Science Business.** Water. Air Soil Pollut, p. 224-:1450, 2013.