



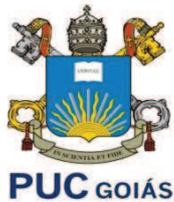
MESTRADO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E SAÚDE

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NÍQUEL SOBRE O
CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *GUAZUMA ULMIFOLIA*
LAM. (MALVACEAE, MALVALES)**

SARAH AMADO

Goiânia-Goiás
2015



MESTRADO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E SAÚDE

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NÍQUEL SOBRE O
CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *GUAZUMA ULMIFOLIA*
LAM. (MALVACEAE, MALVALES)**

SARAH AMADO

Orientador: Prof. Dr. Wilian Vaz-Silva
Co-Orientador: Prof. Dr. Jales Teixeira Chaves Filho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Saúde, da Pró-reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Saúde.

Goiânia-Goiás
2015

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas PUC Goiás)

A481i Amado, Sarah.
Influência de diferentes concentrações de níquel sobre o crescimento e desenvolvimento inicial de *Guazuma Ulmifolia* Lam. (Malvaceae, Malvales) [manuscrito] / Sarah Amado – Goiânia, 2015.
82 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais e Saúde.

“Orientador: Prof. Dr. Wilian Vaz-Silva”.

Bibliografia.

1. Metais pesados. 2. Fitorremediação. I. Título.

CDU 631.45(043)



DISSERTAÇÃO DO MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE
DEFENDIDA EM 09 DE DEZEMBRO DE 2015 E CONSIDERADA
APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:

1)



Prof. Dr. Wilian Vaz Silva / PUC Goiás (Presidente)

2)



Prof. Dr. Marcos Antônio Pesquero / UEG (Membro Externo)

3)



Prof. Dr. Matheus Godoy Pires / PUC Goiás (Membro)

4)

Profa. Dra. Marilda da Conceição Ribeiro e Barros / PUC Goiás (Suplente)

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus pais Suely Maria da Silva Amado e Wolmir Therezio Amado, que com carinho, amor e sabedoria, sempre me apoiaram a prosseguir com fé e perseverança pelos caminhos da vida. Mãe e pai, vocês não somente investiram em uma educação de qualidade para mim, como me ajudaram diariamente em minhas atividades acadêmicas, me apoiando nos momentos de dificuldade e de vitória. A vocês devo tudo e por vocês, tenho o maior amor do mundo. Também gostaria de dedicar este trabalho ao meu querido irmão Fernando Amado e ao meu noivo Gabriel Augusto Alves Ribeiro, por estarem por perto a todo momento, torcendo por mim e pela minha felicidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido saúde e sabedoria para empenhar todas as minhas forças em meus estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás – FAPEG, pela bolsa de Mestrado, que permitiu viabilizar a concretização de um sonho.

Ao programa de Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde – MCAS da Pontifícia Universidade Católica de Goiás e a todo quadro de docentes, que com vigor e dedicação, abriram um vasto leque de conhecimentos e de possibilidades.

Aos professores Dr. Wilian Vaz Silva e Dr. Jales Teixeira Chaves Filho, pelas orientações minuciosas e esclarecedoras que se transformaram em lições valiosas para estudos futuros e para o prosseguir da profissão.

Aos meus colegas de mestrado, por compartilharem saberes e por me ajudarem a construir tantos outros.

Aos meus queridos amigos biólogos Indiara, Fausto, Randerson e Camila, que são verdadeiros incentivadores no meu caminhar, pessoas com que contei e que posso contar a qualquer hora.

Aos meus pais, irmão e a toda minha família, que foram essenciais na minha formação como pessoa e como profissional e que, acreditaram piamente que seria capaz de chegar até aqui.

Ao meu noivo Gabriel, que mesmo sendo engenheiro civil, dispôs-se com afinco a se tornar meu estagiário nas horas vagas para que conseguisse executar todos os experimentos dentro do prazo previsto. Obrigada também pelas sábias sugestões, gestos e palavras de entusiasmo. Esta conquista é nossa e da família que iremos construir!

RESUMO

Os despejos irregulares de metais pesados no meio ambiente provêm, em sua grande maioria, da atividade mineradora. Dentre os metais explorados na mineração, está o níquel, um elemento químico que apresenta grande potencial de toxicidade à fauna, flora e seres humanos. Com o intuito de se evitar que o níquel cause danos à saúde dos seres vivos, há como alternativa, a descontaminação do solo por meio da fitorremediação, tecnologia, que utiliza espécies de plantas resistentes a metais pesados e capazes de extraí-los, degradá-los, contê-los e/ou imobilizá-los no solo. Assim sendo, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar a germinação, crescimento e desenvolvimento inicial de sementes e plantas jovens da espécie *Guazuma ulmifolia* Lam. submetidas a diferentes concentrações de níquel, visando sua utilização em programas de recuperação de áreas contaminadas por este metal. Desta forma, os experimentos foram divididos em duas etapas. Na primeira, as sementes de *G. ulmifolia* foram distribuídas em seis tratamentos com Ni (NO₃)₂ [C (0 mg.L⁻¹), T1 (20 mg.L⁻¹), T2 (40 mg.L⁻¹), T3 (60 mg.L⁻¹), T4 (80 mg.L⁻¹) e T5 (100 mg.L⁻¹)], com quatro repetições por tratamento e 20 sementes por repetição. Em uma segunda etapa, foram utilizadas mudas de *G. ulmifolia* distribuídas em cinco tratamentos com Ni (NO₃)₂ [C (0 mg.L⁻¹), T1 (100 mg.L⁻¹), T2 (200 mg.L⁻¹), T3 (400 mg.L⁻¹) e T4 (600 mg.L⁻¹)], cada tratamento foi estabelecido com sete repetições e cada repetição foi considerada como sendo uma muda em um recipiente plástico contendo 1000 cm³ de substrato. Ao final dos experimentos, os dados obtidos foram analisados através do teste ANOVA seguido pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Os resultados da estatística, mostraram-se não significativos para a germinação e significativos para o comprimento radicular e mortalidade após a germinação de *G. ulmifolia*, o que dificulta o emprego do plantio direto de suas sementes em programas de fitorremediação. Com relação aos parâmetros estabelecidos para as mudas, detectou-se inexistência de diferença significativa em dois deles (diâmetro do coleto e matéria seca da raiz) e presença de diferença significativa nos demais (altura, número de folhas, matéria seca da parte aérea, área foliar e concentração de níquel no solo depois da retirada das mudas). Essa diferença, contudo, não permanece em discordância com o propósito da fitorremediação, pois o progresso de todas as mudas foi contínuo. Por conseguinte, os resultados revelam para um grande potencial de tolerância de *G. ulmifolia* a elevadas concentrações do metal pesado níquel, tornando-se promissora na fitorremediação de solos contaminados pelo mesmo.

Palavras-chave: metais pesados, fitorremediação, tolerância.

ABSTRACT

The irregular dumping of heavy metals in the environment is caused, most of the times, by mining activities. Among the metals processed by mining activities is the nickel, a chemical element which presents a great toxicity to fauna, flora and human beings. Aiming to avoid health damage to live beings caused by nickel, there is as an alternative: the soil decontamination through phytoremediation, technology, which uses plant species resistant to heavy metals and is able to extract, degrade, contain and/or immobilize them in the soil. Therefore, this research goal was to evaluate the germination, growing and initial development of seeds and young plants of the *Guazuma ulmifolia* Lam species under different nickel concentrations, aiming its use in restoration of areas contaminated by this metal. So, the experiments were divided into two phases. In the first one, the *G. ulmifolia* seeds were distributed into six treatments with Ni (NO₃)₂ [C (0 mg.L⁻¹), T1 (20 mg.L⁻¹), T2 (40 mg.L⁻¹), T3 (60 mg.L⁻¹), T4 (80 mg.L⁻¹) e T5 (100 mg.L⁻¹)], with four repetitions per treatment and 20 seeds per repetition. In the second phase, it was used *G. ulmifolia* seedlings distributed into five treatments with Ni (NO₃)₂ [C (0 mg.L⁻¹), T1 (100 mg.L⁻¹), T2 (200 mg.L⁻¹), T3 (400 mg.L⁻¹) e T4 (600 mg.L⁻¹)], each treatment was established with seven repetitions and each repetition was considered to be one seedling into a plastic container containing 1000 cm³ of substrate. At the end of the experiments, the obtained data were analyzed through the ANOVA test followed by the Tukey's multiple comparison test. The statistics results showed no significance to the germination and significant to root length and mortality after the *G. ulmifolia* germination which makes difficult the use of direct planting of its seeds in phytoremediation programs. Related to the established patterns for the seedlings, there was no significant difference in two of them (the collar diameter and the dry matter of the root) and the indication of significant difference within the others (height, number of leaves, dry matter of aerial parts, leaf area and nickel concentration in the soil after removing the seedlings). However, this difference does not disagree with the goals of phytoremediation, for the progress of all the seedlings was continuous. Moreover, results reveal a great potential of *G. ulmifolia* tolerance to high levels of nickel concentration, making itself promising in the phytoremediation of contaminated soils by nickel.

Key-words: heavy metals, phytoremediation, tolerance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. Origem litogênica e antropogênica dos metais pesados	15
2.2. Contaminação: danos com efeitos em cadeia	16
2.3. Metais pesados e saúde dos seres vivos	19
2.4. Atividade mineradora: Goiás e Niquelândia	23
2.5. Princípios e aplicações do níquel.....	24
2.6. Fitorremediação	26
2.7. Espécie de escolha para testes de fitorremediação: <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	31
3. OBJETIVOS.....	34
3.1. Objetivo geral	34
3.2. Objetivos específicos.....	34
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1. Coleta do material vegetal	35
4.2. Montagem dos experimentos.....	36
4.2.1. Experimento I.....	36
4.2.2. Experimento II.....	37
4.3. Coleta de dados.....	39
4.3.1. Experimento I	39
4.3.2. Experimento II.....	39
4.3.2.1. Avaliação do crescimento e desenvolvimento das mudas.....	39
4.3.2.2. Avaliação da matéria seca das mudas.....	41
4.3.2.3. Avaliação do substrato.....	42
4.4. Análise dos dados	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1. Experimento I	43
5.1.1. Germinação.....	43

5.1.2. Comprimento radicular.....	45
5.1.3. Mortalidade após a germinação.....	47
5.2. Experimento II.....	49
5.2.1. Altura das mudas.....	49
5.2.2. Diâmetro do coleto das mudas.....	52
5.2.3. Número de folhas das mudas.....	54
5.2.4. Matéria seca da raiz das mudas.....	57
5.2.5. Matéria seca da parte aérea das mudas.....	60
5.2.6. Área foliar.....	62
5.2.7. Concentração de níquel no solo após a retirada das mudas.....	64
6. CONCLUSÕES.....	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sequência de etapas compreendidas pela ecotoxicologia.....	20
Figura 2. Ilustração científica de um ramo de <i>Guazuma ulmifolia</i>	32
Figura 3. Matriz de <i>Guazuma ulmifolia</i> localizada no Campus II da PUC GO (árvore do centro).....	35
Figura 4. Experimento de germinação com sementes de <i>Guazuma ulmifolia</i> evidenciando as unidades experimentais de cada tratamento e as respectivas de repetições	36
Figura 5.A. Plântulas de <i>Guazuma ulmifolia</i> distribuídas em bandeja de isopor.....	37
Figura 5.B. Plântulas de <i>Guazuma ulmifolia</i> transplantadas para tubetes plásticos.....	37
Figura 6. Mudanças de <i>Guazuma ulmifolia</i> tratadas com diferentes concentrações de níquel em ambiente de viveiro do Laboratório de Biologia Vegetal da PUC-GO.....	38
Figura 7. Medição da radícula de <i>Guazuma ulmifolia</i> da germinação ao 20º dia de crescimento das plântulas (0 mg.L ⁻¹).....	39
Figura 8.A. Medição do diâmetro do caule das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i>	40
Figura 8.B. Medição da altura do caule das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i>	40
Figura 8.C. Desenho das folhas das mudas <i>Guazuma ulmifolia</i>	40
Figura 9. Pesagem da matéria seca da parte aérea de <i>Guazuma ulmifolia</i> c	41
Figura 10. Dados médios da porcentagem de germinação de sementes de <i>Guazuma ulmifolia</i> sob influência de diferentes concentrações de níquel	44
Figura 11. Dados médios do comprimento radicular das plântulas de <i>Guazuma ulmifolia</i> sob influência de diferentes concentrações de níquel	46
Figura 12. Dados médios da mortalidade após a germinação de sementes de <i>Guazuma ulmifolia</i> sob influência de diferentes concentrações de níquel	48
Figura 13. Dados médios semanais da altura das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	50
Figura 14. Dados médios semanais do diâmetro das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	52
Figura 15. Dados médios semanais do número de folhas das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	56
Figura 16. Ilustração da distribuição e acúmulo de níquel em diferentes partes da planta	56
Figura 17. Dados médios da matéria seca da raiz das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	58

Figura 18. Dados médios da matéria seca da parte aérea das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	61
Figura 19. Dados médios da área foliar das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	63
Figura 20. Dados médios da concentração de níquel absorvida pelas mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i>	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição do comportamento dos metais pesados frente as vias humanas de contato	21
Tabela 2. Sistemas do organismo afetados pela intoxicação por metais pesados	22
Tabela 3. Classificação dos tipos de fitorremediação realizados por plantas adaptadas a presença de metais pesados	28
Tabela 4. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, para germinação de sementes de <i>Guazuma ulmifolia</i> em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel	43
Tabela 5. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, para crescimento radicular de plântulas de <i>Guazuma ulmifolia</i> em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel	45
Tabela 6. Dados médios do comprimento radicular de plântulas de <i>Guazuma ulmifolia</i> em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel	46
Tabela 7. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, para a mortalidade após a germinação de sementes de <i>Guazuma ulmifolia</i> em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel	48
Tabela 8. Dados médios da mortalidade após a germinação de sementes de <i>Guazuma ulmifolia</i> em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel	48
Tabela 9. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da altura das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	50
Tabela 10. Dados médios da altura das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	50
Tabela 11. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, do diâmetro das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas à diferentes concentrações de níquel	52
Tabela 12. Desvio padrão do diâmetro das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas à diferentes concentrações de níquel	52
Tabela 13. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, do número de folhas das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel ...	54
Tabela 14. Dados médios do número de folhas das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	54

Tabela 15. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da matéria seca da raiz das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	58
Tabela 16. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da matéria seca da parte aérea das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	60
Tabela 17. Dados médios da matéria seca da parte aérea das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	60
Tabela 18. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da área foliar das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	62
Tabela 19. Dados médios da área foliar das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i> submetidas a diferentes concentrações de níquel	62
Tabela 20. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da concentração de níquel restante no solo após a retirada das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i>	64
Tabela 21. Dados médios da concentração de níquel restante no solo após a retirada das mudas de <i>Guazuma ulmifolia</i>	64

1. INTRODUÇÃO

O níquel é um elemento químico evidenciado como micronutriente essencial para parte expressiva dos seres vivos, visto que nos vegetais, é fundamental participante do metabolismo celular ao catalisar enzimas de rotas bioquímicas, auxiliando na ciclagem de carbono, nitrogênio e de metabólitos secundários (CAMPANHARO et al., 2013).

Com o advento de atividades antrópicas e de maneira singular, da mineração, o níquel e outros metais pesados vêm cada vez mais tornando-se contaminantes ambientais ubíquos, altamente disponíveis na solução do solo e encontrados no ar, água e alimentos, com o agravante de diferirem das demais substâncias tóxicas por sua perenidade (PASCALICCHIO, 2002).

A disposição dos metais pesados em reservatórios geoquímicos da natureza, causa contaminação generalizada do ambiente, afetando o ecossistema como um todo. Aos poucos, o solo perde a capacidade retê-los, pondo em risco a vida dos organismos por interferir nos ciclos de nutrientes e nos ciclos biológicos.

Segundo Duarte & Pasqual (2000), o termo "risco" refere-se a três diferentes contextos: identificação do perigo; avaliação da exposição; e, ocorrência de efeitos adversos à saúde. A exposição do homem a alimentos de origem animal, vegetal, de água e ar contaminados por metais pesados pode lesar vários órgãos e sistemas do corpo devido ao potencial teratogênico, mutagênico e carcinogênico. Em suma, os metais pesados podem acometer o homem diretamente ou passar primeiramente por intermediários, percorrendo cadeias tróficas por um processo intitulado de amplificação biológica.

A amplificação biológica ou biomagnificação, consiste no aumento progressivo da concentração do metal à medida que avança na cadeia alimentar e, decorre de dois fatores: (i) seres de níveis tróficos posteriores que se alimentam de um grande número de seres contaminados de níveis tróficos anteriores; e, (ii) acúmulo do contaminante em tecidos gordurosos devido serem lipossolúveis e não metabolizáveis (LIMA; MERÇON, 2011).

Com o intuito de impedir que os metais sejam repassados e acumulados em grupos heterogêneos da fauna e flora e, conseqüentemente, causem danos à saúde dos seres humanos, há uma tecnologia eficaz de remediação *in situ* nomeada de Fitorremediação. Conhecida desde 1991, esta tecnologia utiliza plantas para degradar, extrair, conter e/ou imobilizar contaminantes do solo e da água (VASCONCELLOS et al., 2012).

A fitorremediação baseia-se no uso de plantas que possuem genótipos aliados às interações simbióticas com diversos tipos de organismos, permitindo que colonizem espaços cujas características químicas restringem a presença de outras espécies (ANDRADE et al., 2014). Este aspecto as torna tolerantes, preparadas para sobreviver na presença de substâncias tóxicas, sem comprometimento de suas funções metabólicas.

A genética adaptada a ambientes mutantes é coadjuvante no desenvolvimento de anatomia especializada, mecanismos próprios de desintoxicação e armazenamento da substância em diferentes estruturas. Tudo subsiste harmonicamente, para que na interação planta-rizosfera haja um fluxo de solução ascendente, evitando a lixiviação ou espalhamento horizontal do contaminante (LAMEGO; VIDAL, 2007).

Plantas reconhecidas como tolerantes a certos compostos tóxicos devem, concomitantemente, serem ambientadas ao local que exercerão a recuperação e remediação. Por esta razão, recomenda-se a implementação de espécies nativas, para que se consolidem com maior facilidade e tornem o ambiente o mais próximo possível de sua condição original (SANTOS, 2010).

Cidades com intensa atividade mineradora como Niquelândia, Goiás, necessitam da implementação de espécies nativas fitorremediadoras de metal pesado para minimizarem efeitos da degradação ambiental que vão desde a supressão da vegetação e remoção do solo superficial, à alteração da qualidade dos reservatórios de água e poluição do ar por particulados suspensos pela atividade de lavra (MECHI & SANCHES, 2010). Efeitos estes, que são acentuados em Niquelândia pois, por conter maior jazida de níquel do mundo baseia sua economia local à indústria extrativista mineral.

Estima-se que em 2015 sejam gerados na extensão do território brasileiro, 10.649 empregos na mineração de níquel, com estimativa de atingir 21.998 empregos em 2030 (MME, 2011). Sinal de impulso na produção, que tende a crescer 10,5% ao ano de 2008 a 2030, atingindo segundo as estimativas para 2016, a marca de 216.000 toneladas de níquel contido em ferro-ligas (MME, 2009).

Com base nas questões levantadas, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar a germinação, crescimento e desenvolvimento inicial de sementes e plantas jovens da espécie *Guazuma ulmifolia* Lam. (mutamba) quando submetidas a diferentes concentrações de níquel, visando sua utilização em programas de recuperação de áreas contaminadas por este metal.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Origem litogênica e antropogênica dos metais pesados

Metal pesado é um termo geral aplicado a um grupo de elementos químicos com peso específico maior que 5 g/cm^3 ou com número atômico maior que 20 (MALAVOLTA et al., 2006). Formas correspondentes de defini-lo são: metais tóxicos, elementos potencialmente tóxicos ou elementos traço (ZEITOUNI, 2003). A palavra “tóxico” é derivada dos termos de origem grega: “*tox*” ou “*toxi*”, que significa veneno (VILLELA; FERRAS, 2007). Sentido modificado quando se trata de “elementos traço”, pois refere-se a componentes encontrados naturalmente e em baixas concentrações na biosfera (DOMINGUES, 2009).

A existência natural de metais pesados no ambiente ocorre devido ao intemperismo, lixiviação e transporte do material desagregado pelas vias fluviais e eólicas (LOUREIRO et al., 2012). Ao final de todo processo, os metais pesados, sob diversas formas químicas, são depositados na atmosfera, água, solo e organismos, o que contribui para sua existência contínua no planeta e improvável esgotamento (MORTATTI et al., 2012). Uma condição que é considerada normal e não oferece risco, pois auxilia na reposição de nutrientes para manutenção fisiológica dos seres vivos.

Entretanto, a partir do momento em que o homem passa a explorar os metais pesados para a produção de bens e serviços, os diferentes estratos do ecossistema ficam susceptíveis a condições adversas, oriundas especialmente da liberação destes contaminantes excedentes.

Fontes antrópicas de despejo irregular de metais pesados provêm da indústria, lixo doméstico, lodo de esgoto, fertilizantes, pesticidas, combustão de combustíveis fósseis e atividade mineradora (HALIM et al., 2003; ZEITOUNI, 2003; GUALA et al., 2010; MOREIRA et al., 2011).

Os metais e semi-metais explorados na mineração são cada vez mais requeridos no mercado devido a diversidade de aplicações, tornando-os uma das bases para o desenvolvimento da sociedade (SILVA et al., 2004). No entanto, a retirada do bem mineral resulta em uma série de impactos negativos, como: supressão da vegetação; remoção da camada fértil do solo; alteração da qualidade das águas dos rios, reservatórios da mesma bacia e águas subterrâneas; ruídos e vibrações no solo associados à operação de equipamentos e

explosões; e, poluição do ar por particulados suspensos pela atividade de lavra (MECHI; SANCHES, 2010).

A lavra consiste em um conjunto de operações realizadas visando a retirada do minério bruto, que por não se encontrar adequado para ser incorporado a processos metalúrgicos ou industriais, é submetido a um tratamento que o divide em duas frações, concentrado e rejeito, sendo o rejeito uma das principais formas de contaminação do solo e água por metais pesados (MUNIZ; OLIVEIRA FILHO, 2006). Em se tratando dos rejeitos gerados pela exploração do níquel, tem-se que parte significativa está sob a forma de polpa, contendo de 45% a 48% de sólidos, e que posteriormente são lançados em um canal que os conduz para a disposição final na barragem do Rio Jacuba (FERNANDES et al., 2014). Um cenário que pode estar relacionado à contaminação para além das áreas de extração do minério, atingindo a topografia, a flora, a fauna, além do sistema hídrico e morfofisiológico do solo (MUNIZ; OLIVEIRA FILHO, 2006)

A contaminação é um acontecimento silencioso, onde substâncias químicas perigosas são introduzidas no ambiente sem causar qualquer dano visível (ZEITOUNI, 2003). Para uma área estar sob tais condições, a concentração da substância de interesse deve estar acima de um dado limite, denominado valor de intervenção (BORGES JÚNIOR et al., 2008). No Brasil, os valores de intervenção para avaliação das substâncias químicas presentes no solo são ditados pela Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009), o que facilita a fiscalização de áreas susceptíveis à contaminação pelas mesmas.

2.2. Contaminação: danos com efeitos em cadeia

A combinação de elementos da natureza estabelece dois tipos básicos de solos: os inorgânicos, onde os minerais são os principais componentes; e os orgânicos, ricos em matéria vegetal e animal decomposta (BARBOSA et al., 2004). Ambos são formados por camadas verticais ou horizontes A, B e C. No horizonte A dos solos orgânicos, há acúmulo de húmus e intensa atividade física, química e biológica, fornecendo condições para constante reciclagem de macro e micronutrientes que são quebrados e absorvidos pelas plantas (RAVEN et al., 2001). Um sistema que funciona em perfeita homeostase para manutenção balanceada dos nutrientes no solo e sustentação de sua estabilidade e resiliência.

Como parte integrante do ciclo de nutrientes tem-se também o ser humano, mas ao longo dos anos, sua interdependência com a natureza tem sido gradativamente desconsiderada. Práticas de degradação e contaminação ambiental tornam-se frequentes e, somadas ao crescimento exponencial da população, culminam para uma situação de difícil reversão. A perspectiva para os próximos 100 anos é de um acréscimo de 3 bilhões de pessoas à população mundial, o que representa uma total pressão sobre os ecossistemas (ABRAMOVAY, 2012).

“Como ser social, o homem recusa ser um simples habitante da Terra. Pelo contrário, mediante seu trabalho, ele produz contínuas mudanças no meio geográfico” (BARBOSA et al., 2004, p. 224). Uma operação que tende a acompanhar o aumento populacional e que transforma drasticamente o meio onde está instalada, é a mineração. Responsável por modificar completamente a paisagem, a mineração/metalurgia causa sobretudo, repercussões imperceptíveis a olho nu. A mais comum diz respeito ao acúmulo de metais pesados no solo.

Em circunstâncias habituais, por exemplo, os solos contêm de 5 a 500 mg/Kg⁻¹ de Ni total (MELLO et al., 1983). Valores drasticamente elevados pela operação metalúrgica, que contribuem para adição anual de 106 a 554 mil toneladas de Ni ao solo de todo o mundo (BERTON et al., 2006). A dispersão deste e de outros metais, ocorre durante a extração do minério, no decorrer do tempo em que constituem produtos utilizáveis e até depois que o produto é descartado, colaborando para a conversão de metais imobilizados em mobilizados em áreas pontuais (TAVARES; CARVALHO, 1992).

A amplificação da mobilidade de metais pesados no solo relaciona-se ainda com teores e tipos de argila, pH, capacidade de troca de cátions e teor de matéria orgânica (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001).

As frações orgânicas possuem afinidade por metais pesados presentes no solo (CAMPOS, 2010). Então, a quantidade de metais retidos dependerá do teor de material em decomposição, havendo assim uma correlação positiva ou diretamente proporcional (TAVARES, 2009). Por sua vez, solos férteis favorecem a diminuição da disponibilidade dos metais, evitando que plantas os absorvam.

A tendência dos solos, salvo situações extremas, é agir como depósito de poluentes (ZEITOUNI, 2003). O mesmo constitui uma barreira natural aos poucos destruída pela mineração, pois ao extrair o horizonte A, expõe camadas remanescentes com menor capacidade de retenção de metais, fornecendo-os na solução do solo e convertendo-os a biodisponíveis.

Simultaneamente, o pH pode variar, tornar-se baixo e favorecer ainda mais a disponibilidade dos metais pesados (CAMPOS, 2010). Isto acontece pois conforme o pH diminui, a acidez e a concentração de íons H^+ aumenta, havendo repulsão eletrostática entre suas cargas positivas com a dos íons metálicos.

A perda do estrato superficial propicia também a redução da microbiota. Com o tempo, a falta de microorganismos do solo gera efeitos drásticos no ciclo de nutrientes, conduzindo a acumulação ou escassez prejudiciais de elementos químicos essenciais às plantas.

No que diz respeito a impactos visuais, o mais comum é a erosão que pode acarretar em assoreamento dos corpos d'água do entorno (MECHI; SANCHES, 2010). Como efeito, há possibilidade de ocorrência de inundações e inviabilização do uso da terra para fins agrícolas.

Toda problemática abordada pode ser abreviada em uma única frase: “O homem não tem usado sua habilidade para manipular a terra com toda sabedoria e precauções necessárias.” (DOWNES, 1984, p. 15). Inconscientemente, beneficia-se das inúmeras utilidades que a terra tem a oferecer já supondo que a degradação é uma consequência inevitável. Ideia que permanece, materializa-se e alastra-se para todos os recursos naturais, do solo para as plantas e água, das plantas e água para os animais.

A água encontra-se com eminente risco de escassez e com qualidade deteriorada dia após dia, por receber contaminantes vindos do solo (erosão e lixiviação) ou liberados sem pré-tratamento em seus cursos. Um problema declarado tão grave quanto a contaminação de solos, pois com sua fluidez contínua, transporta produtos residuais para longe do local de produção e descarga (MORAES; JORDÃO, 2002).

Dentre os responsáveis pela contaminação dos recursos hídricos, em especial os lençóis d'água subterrâneos, estão as diversas formas de exploração mineral que vão desde o tradicional garimpo à extração em escala industrial de minérios (BARBOSA et al., 2004).

Em decorrência da contaminação de águas subterrâneas, a garantia de fonte pura e límpida deixa de existir e uma série de questões de saúde pública aparecem, pois para populações sem acesso ao abastecimento ou com fornecimento irregular de água, é inevitável o consumo, mesmo que traga ameaças de consequências futuras.

A propagação de contaminantes na água agrava-se mais devido à emissão de dejetos de origem industrial, doméstica e agrícola. No meio urbano, cidades que crescem sem planejamento carecem de estações de tratamento de esgoto e infra-estrutura de proteção aos mananciais e córregos, fazendo com que pareçam o próprio esgoto a céu aberto (BARBOSA et al., 2004).

O aspecto sujo das reservas de água retrata práticas que vão em direção contrária à manutenção da vida. A presença de metais pesados e outras substâncias químicas no meio aquático causa a mortalidade de peixes, comunidades bentônicas, perifíticas, planctônicas, nectônicas e de seres fotossintetizantes (SAMPAIO, 2003). Em compensação, a exposição a agentes de caráter perturbativo provocou em alguns seres de vida aquática e terrestre (animais que habitam as adjacências), mecanismos de defesa que os fazem resistir e converterem-se a excelentes bioindicadores ambientais.

Um bioindicador ideal deve apresentar resistência relativa ao contaminante que está exposto, sendo os pertencentes ao topo da cadeia alimentar mais indicados devido suas relações intrínsecas com cadeias inferiores, o que permite mostrar respostas de efeitos crônicos, acumulativos e persistentes a nível coletivo e efeitos diretos a nível de indivíduo (LINS et al., 2010).

Além da biota, o contaminante tende a se distribuir nos sedimentos. Reconhecidos como os maiores repositórios de poluentes no ambiente aquático, mesmo quando as concentrações na água são baixas ou inexpressivas, são indicadores imprescindíveis para avaliação da extensão da contaminação (CARMO et al., 2011).

O interesse em estimar a contaminação é que se cria uma interface entre saúde dos corpos d'água e do solo com saúde de seres vivos. Apesar de boa parte deles resistir a episódios de inserção de substâncias atípicas, a maioria as acumulam em tecidos e órgãos, o que provoca mudanças em seus ciclos biológicos.

2.3. Metais pesados e saúde dos seres vivos

Os metais talvez sejam os elementos tóxicos mais antigos conhecidos pelo homem, e registros mostram que foram utilizados para diversos fins em diferentes épocas, a citar: decoração com arsênio em tumbas egípcias, moedas japonesas feitas com níquel a 800 a. C e ouro adotado em tratamentos de saúde na China há 5.000 anos (PASCALICCHIO, 2002; SILVA, 2009). Seja qual for o destino final dos metais, inicialmente, passaram e passam por processos da mineração que acabam por disseminar boa parte deles no ambiente.

Uma vez lançados em corpos receptores, como solo e fontes de água doce e salgada, os metais sofrerão um efeito denominado de amplificação biológica (AGUIAR et al., 2002). Este efeito ocorre devido sua deposição em seres vivos com posterior difusão pelas cadeias

tróficas, provocando toxicidade em espécies da fauna e flora e consequente desequilíbrio dos ecossistemas (Figura 1).



Figura 1. Sequência de etapas compreendidas pela ecotoxicologia. Fonte: Costa et al. (2008).

Qualquer forma de vida pode ser afetada pela presença de metais, dependendo da via de absorção, dosagem e tempo de exposição (PAULA, 2006). Logo, a atividade da substância em questão está mais ligada à concentração presente no organismo do que ao mecanismo de intoxicação (AGUIAR et al., 2002). Um pequeno acréscimo na concentração pode simplesmente transferir os metais do nível benéfico ao tóxico.

Para que haja toxicidade, é necessário que animais, vegetais e/ou humanos estejam expostos contínua ou descontinuamente à presença de metais pesados. A exposição abrange a existência do agente no ambiente e tem como ponto chave o contato (FERREIRA; WERMELINGER, 2013). Nos humanos, assim como para qualquer animal, o contanto dá-se por ingestão, inalação ou absorção percutânea (pele) (Tabela 1).

Após a ingestão e durante a digestão, oligoelementos essenciais podem aumentar ou diminuir a absorção de metais pesados, como a absorção de chumbo, que se eleva quando a ingestão dietética de cálcio, ferro e fosfato, é baixa (AMARAL, 2012).

“A saúde e a doença não são fenômenos isolados nem opostos, sendo tão somente o resultado da interação entre o homem e o meio que o rodeia” (FERREIRA; WERMELINGER, 2013, p. 13). O ser humano está constantemente exposto a situações e ambientes (criados por ele próprio), que oferecem risco à saúde. Ao ingerir alimentos ou água contaminados direta ou indiretamente por metais pesados, está susceptível a desenvolver sintomas de curto e longo prazo, que se não tratados, podem evoluir para o óbito.

São sintomas derivados da exposição aguda ou crônica, sendo caracterizada respectivamente pela: ingestão de altas dosagens durante um intervalo de até 24 horas e pela, ingestão de pequenas doses da substância durante um longo período (JARDIM; CALDAS, 2009). Conceitos que podem ser introduzidos em situações de exposição por inalação ou por via percutânea.

Tabela 1. Descrição do comportamento dos metais pesados frente as vias humanas de contato.

Vias de contaminação	Descrição
Trato gastrointestinal (ingestão)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da bioacessibilidade dos metais pesados por meio de reações químicas com a saliva e sucos digestivos. • Aumento ou diminuição da absorção de certos metais devido à presença ou ausência de oligoelementos e outros produtos químicos da dieta. • Características ácido-base dos metais os permite passar por difusão, da parede intestinal para a corrente sanguínea.
Vias respiratórias (inalação)	<ul style="list-style-type: none"> • Os metais são partículas tão pequenas, que conseguem escapar do mecanismo de filtragem dos seios paranasais e se depositar nas porções mais profundas do trato respiratório, podendo alcançar os alvéolos pulmonares.
Pele (absorção cutânea)	<ul style="list-style-type: none"> • Exposições percutâneas podem ocorrer na pele íntegra ou com feridas. Partículas tóxicas, como os metais, são absorvidas com maior facilidade por meio das feridas, passando para o plasma sanguíneo rapidamente.

Fonte: Amaral (2012).

Inicialmente, as análises envolvendo metais eram mais associadas à exposição aguda, com efeitos bem evidentes, como cólicas abdominais em razão de intoxicação por chumbo ou diarreia com sangramento por ingestão de mercúrio (PASCALICCHIO, 2002). Nos dias atuais, tem-se observado ocorrências de exposição crônica de médio e longo prazo, onde as relações de causa-feito são pouco evidentes e quase sempre subclínicas (FERREIRA; WERMELINGER, 2013).

Segundo Paula (2006), os vários tipos de exposição conferem fenômenos globais, de caráter ambiental ou profissional, que seguem três estágios no organismo humano: (i) entrada e absorção; (ii) transporte, distribuição, biotransformação e efeito; e, (iii) excreção.

No estágio de distribuição, os metais podem atingir inúmeros órgãos e alterar reações bioquímicas, organelas e membranas celulares (PAULA, 2006). De maneira intrínseca, os sistemas enzimáticos tornam-se vulneráveis, expondo toda e qualquer atividade biológica e gerando tantos tipos de respostas quantas forem as atividades (MOREIRA; MOREIRA, 2004).

Ao chegar na fase de excreção, os metais são pouco ou nada eliminados, pois expressam tendência de acumularem-se em tecidos (FERREIRA; WERMELINGER, 2013). A medida que se aglomeram no corpo, sistemas têm maior chance de comprometimento e de desencadear patologias.

O aparecimento de doenças relacionadas à exposição por metais pesados provavelmente ocorre com maior constância em trabalhadores do setor da mineração e metalurgia. São casos onde as condições de trabalho devem ser avaliadas a fim de se evitar riscos à saúde. Riscos estes, que têm possibilidade de abranger pessoas não ligadas a exposição funcional, quando há combinação de dois ou mais dos seguintes fatores: idade, sexo, dose adquirida e exposição a outros tóxicos (PASCALICCHIO, 2002).

As doenças decorrentes de intoxicação por metais são causadas predominantemente por alumínio, arsênio, bário, berílio, cádmio, chumbo, mercúrio ou níquel (VIRGA et al., 2007). Dentre eles, mercúrio, cádmio e chumbo são os grandes causadores de efeitos nocivos aos rins, podendo danificar as funções dos túbulos renais e produzir perda de grandes quantidades de glicose e aminoácidos (CETESB, 2015). À medida que uma estrutura anatômica é acometida por metais pesados, as demais pertencentes a órgãos interconectados ficam vulneráveis, ocasionando transgressão de um quadro clínico local a um multissistêmico (Tabela 2).

Tabela 2. Sistemas do organismo afetados pela intoxicação por metais pesados.

Metal	Sistemas Orgânicos
Alumínio	• Músculo-esquelético, neurológico e respiratório.
Arsênio	• Tegumentar, gastrointestinal, hepático, neurológico e respiratório.
Bário	• Cardiovascular, gastrointestinal e reprodutivo.
Berílio	• Gastrointestinal, imunológico e respiratório.
Cádmio	• Cardiovascular, gastrointestinal, neurológico, renal, reprodutivo e respiratório.

Chumbo	• Cardiovascular, gastrointestinal, hematológico, músculo-esquelético, neurológico, ocular, renal e reprodutivo.
Mercúrio	• Gastrointestinal, neurológico, ocular e renal.
Níquel	• Cardiovascular, tegumentar, imunológico e respiratório.

Fonte: ATSDR, (2015).

No âmbito molecular, os metais enquadram-se facilmente nas classificações de mutagênicos e cancerígenos (FERREIRA; WERMELINGER, 2013). Com isso, danificam o genoma celular e propiciam o surgimento de células com ciclo celular alterado, que se proliferam umas sobre as outras sem padrão de tamanho, forma ou número de cromossomos (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2013). Conjuntamente, as células perdem a capacidade de aderência, estabelecendo-se em locais distantes aos de origem, o que dificulta ainda mais a avaliação toxicocinética e emissão de diagnóstico preciso.

Para melhor identificar danos ao organismo causados por contaminação a metais pesados e evitar diagnósticos inconclusivos ou equivocados, há como suporte algumas opções metodológicas. A primeira consiste no monitoramento biológico, onde mensura-se o metal no sangue, urina, fezes, cabelo ou leite materno (MOREIRA; MOREIRA, 2004). As demais requerem um período de tempo maior, pois são realizadas por meio de estudos com animais de laboratório e de estudos epidemiológicos observacionais (JARDIM; CALDAS, 2009).

Atuando como complemento de diagnose há o monitoramento ambiental, que se faz necessário devido à persistência de metais no solo, jamais sendo degradados química ou biologicamente, o que confere risco de pacientes contaminarem-se novamente ou de surgimento de novos casos. Esta situação instiga a criação de programas de recuperação que sejam eficazes na retirada de metais, levando-os a um nível seguro aos seres vivos.

2.4. Atividade mineradora: Goiás e Niquelândia

No século XVIII, expedições intituladas Bandeiras abrangiam o interior do Brasil em busca de metais valiosos e pedras preciosas, contribuindo de maneira significativa para a ocupação integral do território nacional (FERNANDES et al., 2011). Em uma das expedições, realizada em 1735, os bandeirantes Manoel Rodrigues Tomar e Antônio de Souza Bastos, fundaram a vila São José do Tocantins, em Goiás (IBGE, 2015). Em 1908, foram registradas

as primeiras ocorrências de níquel na região da vila São José do Tocantins, que passou à categoria de cidade em 1943, sendo denominada Niquelândia (SEPLAN, 2005; IBGE, 2015).

O município de Niquelândia dista 259 km de Goiânia e está localizado na microrregião de Porangatu, ao norte do estado de Goiás (FERNANDES et al., 2011). Apresenta baixa densidade demográfica, 4,30 hab/km², com 42.361 habitantes, 33.343 vivendo no meio urbano e 9.018 no meio rural (IBGE, 2010).

A cidade recebeu a atual designação devido à grande reserva de níquel, contudo, as atividades de extração do minério e produção metalúrgica iniciaram-se apenas em 1980, após pesquisas realizadas nas décadas de 60 e 70 (SEPLAN, 2005). Estas atividades são desempenhadas atualmente por duas empresas concorrentes: Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais (CODEMIN S.A), pertencente ao Grupo Anglo American; e, a Companhia Níquel Tocantins (CNT) do Grupo Votorantim Metais (FERNANDES et al., 2011).

As atividades mineradoras dos empreendimentos citados fizeram de Goiás o principal estado fornecedor de níquel, liderando com 83,5% da produção nacional (SILVA, 2009). Tamanho avanço ocorreu com auxílio de investimentos de cerca de R\$ 7 bilhões nos anos de 2009 a 2014 destinados a todo território goiano (REVISTA DO CREA-GO, 2009), resultando no aumento das vendas para o mercado interno e externo, onde em ambos os mais importantes consumidores são os produtores de aço inoxidável (MME, 2009).

As vendas de níquel em alta influenciam a criação de centenas de empregos diretos e indiretos, que a longo prazo refletem de modo positivo na geração de renda para a população. Em consequência, os índices de IDH e PIB se elevam, favorecendo o crescimento e desenvolvimento local.

2.5. Princípios e aplicações do níquel

O níquel (Ni) é um elemento químico, metálico, branco-prateado, dúctil, maleável, com massa específica 8,5 g/cm³ e grande resistência mecânica à oxidação e corrosão (SEPLAN, 2005; IMBELLONI, 2013). A palavra “níquel”, vem de “kupfernickel”, aplicada por mineiros alemães para indicar o falso cobre retirado das minas (SILVA, 2009).

O minério de níquel pode ser classificado em sulfetado ou laterítico. O primeiro, presente em depósitos de sulfetos magmáticos, contém em sua maioria idade proterozóica e é

formado a partir do resfriamento de magmas de natureza máfica e ultramáfica (OLIVEIRA, 1990), ao passo que o segundo, encontrado em depósitos de níquel laterítico, provem de um intenso intemperismo de rochas ultramáficas e apresenta principalmente, idade cenozóica (OLIVEIRA, 1990).

No Brasil, os depósitos lateríticos representam quase que a totalidade da mineração de níquel no território (BARBOSA, 2012). O restante da mineração é realizada em depósitos de minério sulfetado, localizados na Bahia e Minas Gerais (IMBELLONI, 2013).

Após o processo de extração mineral, o níquel passa a ser utilizado tanto puro, como em ligas, onde cerca da metade da produção é voltada para as ligas de ferro (SILVA, 2009). Das ferro-ligas a mais comum é o aço inoxidável, que utiliza para sua produção mais de 65% do volume de níquel disponível no mercado (FERNANDES et al., 2011).

Em menor escala, as ligas de Fe-Ni também podem ser utilizadas em galvanizações, fundições, catalizadores, baterias, eletrodos e moedas (SEPLAN, 2005). Além de serem componente essencial de equipamentos elétricos, produtos médico-hospitalares, utensílios de cozinha e cerâmica (KABATA-PENDIAS, 2010).

A transformação das ligas de Fe-Ni em ampla variedade de produtos requer das indústrias intensa aquisição de matéria-prima. Em 2003, por exemplo, o consumo mundial de níquel ultrapassou 1 milhão de toneladas, sendo clientes de destaque a Noruega, Alemanha, Finlândia, Estados Unidos e Japão (SEPLAN, 2005). No mercado interno, os maiores consumidores são Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul (FERNANDES et al., 2011).

No entanto, a aplicação do níquel não restringe-se unicamente à produção de bens materiais, de maneira que sua função primária está relacionada ao equilíbrio metabólico de organismos vivos.

Para humanos, animais e plantas, o níquel é considerado um micronutriente essencial (SUSAYA et al., 2009). No caso das plantas, um elemento químico é essencial quando é constituinte de moléculas e quando participa da produção de sementes viáveis, ou seja, integraliza o ciclo de vida vegetal (RAVEN et al., 2001). É chamado de micronutriente por dever ser requerido/consumido em quantidades vestigiais, bem menores se comparadas aos macronutrientes (MALAVOLTA et al., 2006).

Assim como o níquel, outros nutrientes inorgânicos que devem ser consumidos em pequenas concentrações são boro (B), cloro (Cl), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), selênio (Se), silício (Si), sódio (Na) e zinco (Zn) (SREEKANTH et al., 2013), sendo importante ressaltar que o sódio e o cobalto são essenciais

somente para certos organismos específicos (RAVEN et al., 2001). Os demais são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento normal da maioria das plantas, e a ausência ou redução de algum deles pode provocar sintomas de deficiência e morte.

Tão prejudicial quanto a supressão é o excesso de micronutrientes, pois ao alcançarem valores acima das concentrações limite, passam a ter grande potencial para tornarem-se tóxicos (TAVARES, 2009). No geral, a toxicidade acontece em virtude da ação antrópica sobre o meio ambiente, fazendo com que elementos nutritivos e até então benéficos, transfirmem-se à categoria de metais pesados com relevante grau de nocividade.

2.6. Fitorremediação

O mercado mundial para despoluição ambiental demanda gastos anuais de 25 a 30 bilhões de dólares, e se depender do Brasil, o dispêndio será maior, uma vez que os investimentos para tratamento dos rejeitos humanos, agrícola e industrial crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade e leis mais rígidas são adotadas (MAZZUCO, 2008). Tais atribuições devem se estender à mineração, para que após o processo de exploração, o terreno seja reestabelecido de maneira que ao menos seu valor e uso sejam semelhantes ao que teria antes de ter sido antropizado (PATRÍCIO, 2009).

Uma alternativa para tamanha missão é oferecida pela biotecnologia. Ciência de natureza multidisciplinar, que utiliza seres vivos ou parte deles para o desenvolvimento de processos e produtos que tenham função econômica e/ou social (FALEIRO; ANDRADE, 2011). Nesta, são englobados planos de ação de baixa entropia, baseados em múltiplas áreas do conhecimento, sendo que na área ambiental, o plano de destaque é a Biorremediação.

A tecnologia de Biorremediação utiliza microorganismos resistentes de ocorrência natural ou geneticamente modificados para restauração de uma área contaminada (BOECHAT, 2014). Entretanto, há circunstâncias em que os microorganismos não conseguem degradar efetivamente os compostos tóxicos, sendo preciso o emprego de seres vivos maiores, no caso, as plantas (FALEIRO; ANDRADE, 2011).

O uso de plantas para a descontaminação do solo é chamado de Fitorremediação e apareceu de um princípio inverso: a procura de jazidas de minério pela observação da vegetação (OLIVEIRA et al., 2010). Uma vegetação constituída por espécies resistentes à presença de metais pesados, tornando-se capaz de extraí-los do solo, sem comprometimento de suas funções metabólicas.

São espécies que, para se adaptar, desenvolvem alto grau de plasticidade genética e transformam-se em ecótipos especializados (LARCHER, 2000). As mudanças no código genético voltadas para a persistência a locais contaminados por metais pesados, refletem em mecanismos próprios de desintoxicação, como: imobilização de íons tóxicos nas paredes celulares; impedimento da permeabilidade por meio da membrana celular; quelação no citoplasma com cadeias polipeptídicas contendo íons de enxofre ou com proteínas contendo radicais -SH e proteínas induzidas pelo stress; compartimentalização e formação de complexos com ácidos orgânicos e inorgânicos, derivados de fenol e glicosídeos no vacúolo; e retranslocação (LARCHER, 2000).

Somada às adequações intracelulares, plantas fitorremediadoras precisam exibir requisitos fundamentais de caráter fenotípico e fisiológico, sendo eles: sistema radicular profundo e denso, alta taxa de crescimento e produção de biomassa, capacidade transpiratória elevada, abundante exsudação radicular, resistência a pragas e doenças, fixação biológica de nitrogênio atmosférico e alta associação com fungos micorrízicos (PROCÓPIO et al., 2009).

O incremento de habilidades para sobrevivência na presença de metais pode fazer com que a planta se torne tão adaptada, que consiga até mesmo promover a extrusão de íons H^+ pelas raízes para acidificar o meio e aumentar a solubilidade, mobilidade e absorção de íons metálicos (ZEITOUNI, 2003).

Contudo, a eficiência na absorção não representa êxito garantido de acumulação. Muitas vezes, a competição de metais pelo mesmo sítio de ligação da célula vegetal faz com que a planta, como um todo, estoque mais um tipo de íon metálico do que outro. Como constatado por Serbula et al. (2012), onde apesar de o Cd estar presente no solo em que *Robinia pseudoacacia* L. habitava, não foi encontrado em suas raízes, ramos e folhas, possivelmente, devido ao antagonismo realizado pelo Cu, que também encontrava-se no solo em estudo.

Em se tratando da distribuição da acumulação nota-se que determinadas espécies acumulam o metal exclusivamente na parte aérea ou nas raízes. Quando o acúmulo restringe-se a órgãos acima do solo, como folhas, frutos e/ou ramos, há a vantagem de poder colhê-los com facilidade (IORI et al., 2013). Porém, se a coleta não for realizada com regularidade, é provável que haja contaminação de animais e de cadeias tróficas por completo. Em situação oposta, pode haver limitação da translocação do metal da raiz para a parte aérea, e ao ficar apenas no sistema radicular, evita-se danos na maquinaria fotossintética da planta (IORI et al., 2013). Concomitantemente a raiz por pode ajustar sua anatomia para proteção de tecidos

internos, produzindo barreiras apoplásticas através do espessamento de paredes da epiderme, exoderme e endoderme (GOMES et al., 2011).

São recursos múltiplos e minuciosamente aplicados de acordo com a espécie, condições climáticas, características do solo e do metal pesado. Assim, farão com que a planta tenha potencial para extrair vários metais do solo ou seja mais específica. Em qualquer opção, é elementar que esteja associada a um ou mais mecanismos biológicos de fitorremediação (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação dos tipos de fitorremediação realizados por plantas adaptadas a presença de metais pesados.

Classificação	Descrição
Fitoestabilização	<ul style="list-style-type: none"> Plantas são usadas com o propósito de estabilizar os poluentes no solo, prevenindo perdas por erosão ou lixiviação.
Fitovolatilização	<ul style="list-style-type: none"> Plantas que absorvem ou incorporam poluentes em seu tecido, para posteriormente, serem liberados sob a forma gasosa.
Fitodegradação	<ul style="list-style-type: none"> Plantas que degradam poluentes orgânicos com suas próprias atividades enzimáticas, transformando-os em compostos inorgânicos (CO₂, H₂O, Cl₂) ou degradando-os a compostos intermediários estáveis que serão armazenados no próprio tecido vegetal.
Fitoextração	<ul style="list-style-type: none"> Plantas que extraem poluentes do solo e os acumula em níveis até cem vezes maiores que outras espécies crescendo sob as mesmas condições.
Fitoestimulação	<ul style="list-style-type: none"> Plantas que degradam poluentes orgânicos por meio de microrganismos da rizosfera.

Fonte: LAMEGO; VIDAL (2007)

Um dos mecanismos é a fitoestimulação ou rizodegradação, onde as raízes conseguem mudar as condições do solo, aerando-o, aumentando sua umidade e produzindo exsudados que favorecem a multiplicação de microorganismos associados e/ou beneficiados, envolvidos não somente na decomposição de contaminantes orgânicos e organometálicos, como na transformação de metais (ANDRADE et al., 2014).

A conversão de um metal para formas menos tóxicas, edifica o caráter positivo da fitorremediação. Mas, quando o mecanismo fitorremediador não envolve conversão, e sim volatilização, a atenção deve ser redobrada. O metal ao ser incorporado nos tecidos da planta para em seguida ser lançado na atmosfera sob a forma de gás, é considerado fator de risco e nova fonte de poluição (LAMEGO; VIDAL, 2007).

Condições onde o gás não sofreu bioconversão no interior da planta implicarão em emissões nocivas que serão reabsorvidas pelas folhas de diversos vegetais através de abertura estomática (LARCHER, 2000). Metais infiltrando via folhas e/ou absorção radicular, provocarão danos variáveis de planta para planta.

A extensão da perda das funções vitais ocasionada por poluentes dependerá de uma sucessão de fatores que compreendem a espécie, sua forma de crescimento, idade e vigor geral; condições climáticas e edáficas; propriedades químicas, concentração, momento e duração do poluente (LARCHER, 2000).

Em circunstâncias onde o poluente é um metal pesado, mesmo que fatores coexistam favoravelmente para o declínio de um vegetal, há possibilidade de reestabelecimento se este apresentar tolerância, dado que no reestabelecimento são atribuídos sintomas iniciais de fitotoxicidade que tempos depois são superados pelo processo de aclimação. Por outro lado, se houver sensibilidade, a planta não conseguirá a auto recuperação e os sintomas podem evoluir com facilidade para a morte.

Os sintomas de fitotoxicidade refletem em mudanças na morfologia e anatomia da planta, e abrangem clorose, queda foliar, diminuição do crescimento, degeneração das estruturas externas da raiz por formação de lesões necróticas, aumento do diâmetro da raiz, deformação de folhas, redução do peso seco de grãos e decréscimo no número de inflorescências (TRANNIN et al., 2001; GUO et al., 2010; CAIRES et al., 2011; GOMES et al., 2011; VACULÍK et al., 2012; SHARMA; DHIMAN, 2013; SILVA et al., 2013).

Também é comum verificar durante análises laboratoriais a redução na biomassa foliar, radicular e total atribuída ao baixo crescimento e desenvolvimento da planta. Quando se trata de clorose, as explicações dirigem-se para a influência do metal sobre enzimas relacionadas com a biossíntese de clorofilas e para deficiência induzida de Fe (SOARES et al., 2001; GUIMARÃES et al., 2008).

Logo, as manifestações visuais estimuladas pelo excesso de metais estão correlacionadas com as manifestações a nível celular e molecular, incluindo a inibição das atividades enzimáticas com subsequente declínio no metabolismo celular, alteração no equilíbrio de íons, redução da plasticidade e alteração da permeabilidade das paredes

celulares, desorganização das estruturas nucleares com mutações cromossômicas e desordens na mitose (SREEKANTH et al., 2013).

A partir do instante que os compartimentos celulares e elementos químicos passam a não ser produzidos ou começam a ser modificados, dá-se início à síntese de proteínas de “stress”, moléculas de sinalização e agentes quelantes, como ácidos orgânicos e fitoquelatinas (THAPA et al., 2012). Uma soma de moléculas elaboradas pelas plantas como resposta a presença de metais e provavelmente, como resposta a outras fontes de “stress” (DISANTE et al., 2010).

Os agentes quelantes são substâncias que se ligam ao íon metálico para formar complexos solúveis e reduzir sua atividade iônica (SANTOS et al., 2002). Sabendo disso, pesquisadores têm usado agentes quelantes sintéticos de baixa toxidez, como o EDTA (ácido etilenodiaminotetraacético) e NTA (ácido nitrilotriacético) para aumentar a disponibilidade de metais para as plantas e intensificar a remediação de solos contaminados (ZEITOUNI et al., 2007). A única objeção é que os quelantes sintéticos, especialmente o EDTA, possuem baixa biodegradabilidade, levando a um acúmulo gradual no ambiente (MELO et al., 2006).

Por mais que hajam obstáculos a serem superados, a fitorremediação, com ou sem o uso de quelantes sintéticos é, atualmente, a estratégia mais promissora de remediação *in situ*, pois métodos convencionais com escavação, incineração, extração com solvente e óxido redução causam riscos de contaminação secundária, promovendo adição de custos com um segundo tratamento (OLIVEIRA et al., 2009).

Dos pontos positivos da fitorremediação, destacam-se: o baixo custo em relação às técnicas tradicionais; a menor dificuldade de monitoramento das plantas se comparado ao dos microorganismos; viabilidade de execução em extensas áreas; utilização de energia solar para realizar os processos de descontaminação; degradação de alguns xenobióticos a compostos não tóxicos feita internamente nas plantas ou no ambiente rizosférico; aplicação a uma grande variedade de poluentes, podendo remediar vários contaminantes simultaneamente; melhoria das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo; reestabelecimento da estética do ambiente (PROCÓPIO et al., 2009; TAVARES, 2009).

No que se refere às desvantagens da fitorremediação, são salientados o longo tempo requerido para que se complete o ciclo de crescimento e desenvolvimento da planta; possibilidade de contaminação da cadeia alimentar; primordialidade de se conhecer os níveis de poluentes que as espécies de plantas suportam; necessidade de retirada das plantas da área contaminada, se o composto tóxico for fitodegradado a um composto ainda mais tóxico

(PROCÓPIO et al., 2009; LAMEGO; VIDAL, 2007). A remoção de plantas é igualmente imprescindível se o poluente não for degradado em seu interior, permanecendo na categoria de altamente tóxico.

A abundância de informações acerca da fitorremediação é alicerce para realização de estudos focados e aprofundados, voltados para exploração comercial de espécies que recolham com êxito o metal pesado do solo. Estudos estes ainda restritos a países desenvolvidos e com políticas ambientais bem definidas (ZEITOUNI, 2007).

No Brasil, é esporádica a exploração comercial envolvendo plantas fitorremediadoras, em particular devido ao desconhecimento do mercado, à falta de capacitação técnica e às pesquisas realizadas serem, em sua maioria, com espécies de clima temperado (PEREIRA, 2005). Um quadro que pode ser revertido através de investigações de populações vegetais de clima tropical com aptidão para remediar solos brasileiros contaminados.

Para que a seleção de plantas de clima tropical seja feita acertadamente é importante identificar famílias, gêneros e espécies que estão colonizando e desenvolvendo-se na área contaminada, e se o sítio contaminado não tiver recolonização vegetal ou possuir uma colonização muito recente, deve-se dar preferência a espécies locais, adaptadas à região (ANDRADE et al., 2014).

No bioma Cerrado, as espécies vegetais adequaram-se para sobreviver às condições de seca e solos naturalmente ácidos e ricos em metais pesados. São aproximadamente 11.000, das quais 4.400 são endêmicas (SANTOS; NOVAK, 2013). Riqueza que faz da formação savânica em questão, a maior detentora de diversidade florística do mundo, principalmente quando são consideradas as espécies lenhosas (GUARIM NETO; MORAIS 2003). Mas parte considerável dessas espécies não foram identificadas e, se foram, são pouco estudadas, oferecendo juntamente com as já pesquisadas, inúmeras oportunidades de busca de plantas fitorremediadoras.

2.7. Espécie de escolha para testes de fitorremediação: *Guazuma ulmifolia* Lam.

Guazuma ulmifolia Lam. pertence à família Malvaceae e é conhecida popularmente por mutambo, fruta de macaco, embireira, embiru, pau-de-pomba, mutamba verdadeira e pau-de-bicho (SCALON et al., 2011; SILVA et al., 2012). É uma espécie sul-americana, semidecídua e heliófita, com altura de 8 a 16 metros e característica de Cerrado, Cerradão e

Mata Mesofítica, distribuindo-se pelos estados do Amazonas, Bahia, Distrito Federal, Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins (AQUINO; CASSIOLATO, 2002; BRANDÃO; ROCHA, 2004). O florescimento inicia-se em setembro, prolongando-se até o final de novembro e a maturação dos frutos ocorre a partir do final de setembro (GALINA et al., 2005).

Apresenta folhas dísticas, simples, pecioladas e com estípulas (BRANDÃO; ROCHA, 2004) (Figura 2). As flores são pequenas e amarelas, com muitos estames (SCALON et al., 2011), os frutos são cápsulas loculicidas globosas, de coloração preta quando maduros, com cinco fendas estreitas, rimosas, de superfície muricada e com sementes arredondadas e acinzentadas, formadas por uma camada membranácea, a testa, e por uma camada mais dura, o tégmen (PAIVA SOBRINHO; SIQUEIRA, 2008). Juntas, constituem um tegumento impermeável à água que confere dormência natural às sementes, permitindo que germinem somente em ocasiões onde as condições sejam favoráveis para a sobrevivência das plântulas (GUEDES et al., 2011; PAIVA SOBRINHO et al., 2012). Por conseguinte, possuem alta longevidade e são classificadas como ortodoxas, sendo possível armazená-las por mais de 90 dias sem a perda da viabilidade germinativa (CARVALHO et al., 2006; FLÁVIO, 2010).



Figura 2. Ilustração científica de um ramo de *Guazuma ulmifolia*. Fonte: Brandão & Rocha (2004).

Entre as sementes de *G. ulmifolia*, há uma mucilagem de coloração verde-negra, com sabor de figo seco, que pode ser aproveitada para a alimentação humana seja fresca, crua ou cozida (SILVA et al., 2012). A importância econômica da espécie também decorre das flores que são melíferas, do caule para retirada de pasta celulósica e de todos os órgãos vegetativos empregados na medicina popular (DUARTE et al., 2011).

Da entrecasca extrai-se uma mucilagem semelhante à da babosa, que tem ação emoliente e da casca colocada de molho na água obtém-se uma solução usada para tratar queda e seborreia dos cabelos (BRANDÃO; ROCHA, 2004). O chá da casca pode servir para aliviar dores gastrointestinais, para tratar asma, febre, diarreia e disenteria (FLÁVIO, 2010). Para as folhas, são atribuídas funções tanto purgativas e diaforéticas, como voltadas para a produção de xampus, condicionadores, óleos aromáticos e perfumes (NUNES et al., 2005).

Paralelamente à fitoterapia, *G. ulmifolia* proporciona funcionalidades como: utilização da madeira para confecção de tonéis, coronhas de armas, construções internas e caixaria; produção de carvão e pólvora através do lenho e fabricação de cordas com material adquirido da casca (SCALON et al., 2011).

Por dispor de ótima sombra, pode ser inserida em projetos paisagísticos (ORTOLANI et al., 2010). Segundo Melotto et al. (2009), *G. ulmifolia* contém em campo um alto índice de sobrevivência e de crescimento, mesmo ao ser submetida às condições experimentais onde o solo era do tipo latossolo vermelho argiloso, distrófico e compactado por bovinos. Demonstrações que reforçam a indispensabilidade da espécie em programas de recuperação de áreas degradadas e plantios heterogêneos destinados à recomposição de áreas de preservação permanente no Cerrado, Cerradão e Mata Mesofítica (SILVA et al., 2012).

Portanto, a implementação de *G. ulmifolia* em programas de recuperação de áreas degradadas, incluindo as contaminadas por metais pesados, baseia-se no fato de a espécie apresentar satisfatório estabelecimento e crescimento inicial em diâmetro, altura e densidade da copa (SILVA et al., 2011). Ademais, suas sementes são possuidoras de dormência e longevidade, permitindo a formação de bancos de sementes, que são indicativo de regeneração de ecossistemas florestais (MOTTA et al., 2006).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar a germinação, crescimento e desenvolvimento inicial de sementes e plantas jovens da espécie *Guazuma ulmifolia* Lam. quando submetidas a diferentes concentrações de níquel, visando sua utilização em programas de recuperação de áreas contaminadas por este metal.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar a porcentagem de germinação (G%) e a mortalidade após a germinação, das sementes de *G. ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel;
- Mensurar o comprimento radicular das plântulas de *G. ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel;
- Verificar a influência do substrato contaminado com determinadas concentrações de níquel na sobrevivência, diâmetro e altura do caule, número total de folhas e área foliar média das mudas de *G. ulmifolia*;
- Determinar a matéria seca da parte aérea e da raiz, produzida pelas mudas que cresceram sob diferentes concentrações de níquel;
- Aferir o teor de níquel presente no solo após o período experimental de crescimento e desenvolvimento das mudas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Coleta do material vegetal

Para realização do trabalho experimental foram coletados no mês de setembro de 2014, frutos maduros de *G. ulmifolia* de uma única matriz (Figura 3), localizada no Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (16°44'02.48''S, 49°12'49.47''O, 784 m). Em seguida, os frutos foram levados para o Laboratório de Biologia Vegetal da mesma instituição, onde tiveram suas sementes removidas e armazenadas em câmara termostática (temperatura média de 15°C) até o momento da realização dos experimentos.



Figura 3. Matriz de *Guazuma ulmifolia* localizada no Campus II da PUC GO (árvore do centro).

4.2. Montagem dos experimentos

4.2.1. Experimento I

Um mês após a coleta dos frutos de *G. ulmifolia* foi montado o experimento com suas sementes a fim de se investigar a influência de diferentes concentrações de níquel sobre a germinação (G%), crescimento radicular e mortalidade das plântulas.

Primeiramente, houve superação da dormência das sementes em banho-maria, na temperatura de 80°C, por um período de cinco minutos. Em seguida, as sementes receberam lavagem em água corrente por cinco minutos, desinfestação com hipoclorito de sódio a 1% durante cinco minutos e uma segunda lavagem em água corrente por cinco minutos. Após este procedimento, foram montados os tratamentos contendo as seguintes concentrações de níquel: C (0 mg.L⁻¹) (controle), T1 (20 mg.L⁻¹), T2 (40 mg.L⁻¹), T3 (60 mg.L⁻¹), T4 (80 mg.L⁻¹) e T5 (100 mg.L⁻¹).

Cada um dos tratamentos continha quatro repetições com 20 sementes por repetição, que foram colocadas em recipientes plásticos com capacidade volumétrica de 350 ml, contendo um disco de papel filtro (Figura 4). Todos os recipientes receberam 10 ml das respectivas concentrações da solução de nitrato de níquel (Ni (NO₃)₂). Por fim, os recipientes com as sementes foram dispostos aleatoriamente (DIC) em câmara termostática, com incidência luminosa ininterrupta e temperatura em torno de 27°C. Os recipientes foram monitorados diariamente e quando necessário foi adicionado água.



Figura 4. Experimento de germinação com sementes de *Guazuma ulmifolia* evidenciando as unidades experimentais de cada tratamento e as respectivas de repetições.

4.2.2. Experimento II

No mês de janeiro de 2015, as sementes de *G. ulmifolia* foram colocadas para germinar com o propósito de utilizá-las para a produção de mudas, posteriormente empregadas em experimento que verificou o efeito de diferentes concentrações de níquel em sua sobrevivência, crescimento e desenvolvimento inicial.

Inicialmente foi realizada a superação da dormência das sementes em banho-maria a 80°C por um período de cinco minutos. Logo depois, foram depositadas em recipientes plásticos com capacidade volumétrica de 350 ml, contendo um disco de papel filtro, que foi umedecido de acordo com a necessidade hídrica.

As plântulas obtidas do procedimento de germinação realizado foram transferidas para bandeja de isopor com substrato constituído por: terra, areia e vermiculita (1:1:1) (Figura 5-A). Quando se encontravam com uma altura de aproximadamente 5 cm, a transferência ocorreu uma segunda vez, para tubetes plásticos contendo o mesmo substrato presente na bandeja (Figura 5-B). Tanto na etapa em que as plântulas permaneceram na bandeja, quanto na que permaneceram nos tubetes, foram regadas diariamente e ficaram em sala-estufa, com temperatura no entorno de 25°C e luminosidade controlada para 16 horas de luz e 8 horas de escuro.



Figura 5. A - Plântulas de *Guazuma ulmifolia* distribuídas em bandeja de isopor; B - Plântulas de *G. ulmifolia* transplantadas para tubetes plásticos.

Após 15 dias, as plantas jovens dos tubetes foram transplantadas para sacos plásticos (20 x 15 cm) preenchidos totalmente com mistura de areia e substrato orgânico (1:2). Para o processo de aclimação, as mudas ficaram instaladas por um mês em sala-estufa (rega diária, temperatura 25°C e 18 horas de luz e 16 de escuro), até a mudança permanente para ambiente de viveiro.

No viveiro em que as 35 mudas foram alojadas, o delineamento estatístico utilizado foi do tipo inteiramente casualizado (DIC), contendo cinco tratamentos em relação às concentrações de níquel: C (0 mg.L^{-1}) (controle), T1 (100 mg.L^{-1}), T2 (200 mg.L^{-1}), T3 (400 mg.L^{-1}) e T4 (600 mg.L^{-1}). Para cada tratamento foram estabelecidas 7 repetições e, cada unidade experimental, foi considerada como sendo um recipiente plástico escuro com capacidade volumétrica de $15 \times 20 \times 0,15$, acomodando uma muda de *G. ulmifolia*.

As mudas, receberam 100 ml de solução de nitrato de níquel ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$) nas concentrações estipuladas, apenas uma vez. A fim de se evitar perda da solução através de vazamentos pelos orifícios presentes nos recipientes das mudas, estes foram revestidos com sacos plásticos transparentes devidamente fechados (Figura 6). O tamponamento dos sacos, também evitou infiltração da água da chuva e assim, impediu que determinadas plantas fossem mais regadas que outras.



Figura 6. Mudas de *Guazuma ulmifolia* tratadas com diferentes concentrações de níquel em ambiente de viveiro do Laboratório de Biologia Vegetal da PUC-GO.

Para manutenção das mudas, com periodicidade, receberam quantidades equivalentes de água (100 ml) e, antes da aplicação dos tratamentos, foi realizada adubação com 100 ml de solução nutritiva completa de Hoagland [solução “stock” de: micronutrientes (5ml/L), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (5ml/L), KNO_3 (5ml/L), KH_2PO_4 (5ml/L), MgSO_4 (5ml/L) e EDTA-Fe (10ml/L)].

4.3. Coleta de dados

4.3.1. Experimento I

A coleta dos dados referente à germinação de *G. ulmifolia* ocorreu de dois em dois dias por um período de 20 dias, sendo consideradas germinadas, as sementes que apresentaram protrusão radicular entre 1 e 2 mm. Conjuntamente, efetuou-se a contagem da mortalidade após a germinação e a medição da radícula com auxílio de papel milimetrado, para análise do comprimento inicial da espécie na presença de nitrato de níquel ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$) sob várias concentrações (Figura 7).



Figura 7. Medição da radícula de *Guazuma ulmifolia* da germinação ao 20º dia de crescimento das plântulas (0 mg.L^{-1}).

4.3.2. Experimento II

4.3.2.1. Avaliação do crescimento e desenvolvimento das mudas

A coleta dos dados biométricos das mudas de *G. ulmifolia* foi realizada semanalmente por um período de 2 meses. Dados estes correspondentes ao diâmetro e altura do caule, número total de folhas e área foliar média.

Para medir o diâmetro e a altura do caule, foram posicionados, respectivamente, um paquímetro milimetrado e uma régua de 30 centímetros no colo da planta (Figura 8-A e 8-B). Com relação à obtenção da área foliar, realizou-se previamente o desenho de 35 folhas em formato e tamanho real, ao serem dispostas sob um papel chamex (tamanho A4 e gramatura de 75 g/ m²) (Figura 8-C).

Em seguida, as folhas reproduzidas em papel, foram recortadas e pesadas em balança semi-analítica. Então, no programa Excel, o valor de cada pesagem foi multiplicado por uma área conhecida (10 cm²) e dividido pelo peso dessa área (0,847 g).

A partir dos cálculos, obteve-se valores de áreas foliares, que juntamente com o comprimento (C) e a largura (L) de folhas individuais serviram de base para montagem de equação fundamentada na regressão linear: $Y = a + bx$, sendo “Y” correspondente à área do limbo foliar em função de “x” (produto de C*L).



Figura 8. A- Medição do diâmetro do caule das mudas de *Guazuma ulmifolia*; B- Medição da altura do caule das mudas de *G. ulmifolia*; C- Desenho das folhas das mudas *Guazuma ulmifolia*.

4.3.2.2. Avaliação da matéria seca das mudas

Concluídas as coletas de dados referentes ao diâmetro e altura do caule, número total de folhas e área foliar média, realizou-se o peso da massa seca da raiz e parte aérea de um conjunto de mudas de *G. ulmifolia* previamente selecionadas aleatoriamente. Assim, para cada tratamento [C (0 mg.L⁻¹) (controle), T1 (100 mg.L⁻¹), T2 (200 mg.L⁻¹), T3 (400 mg.L⁻¹) e T4 (600 mg.L⁻¹)] destinou-se 4 mudas, totalizando 20 unidades experimentais analisadas.

A princípio, as mudas foram colocadas em estufa sob a temperatura de 70°C por um período de 4 dias, para retirada da umidade contida nas mesmas. Posteriormente, foram seccionadas com auxílio de tesoura de corte, visando a separação da parte aérea e da raiz para pesagem em balança semi-analítica (Figura 9).

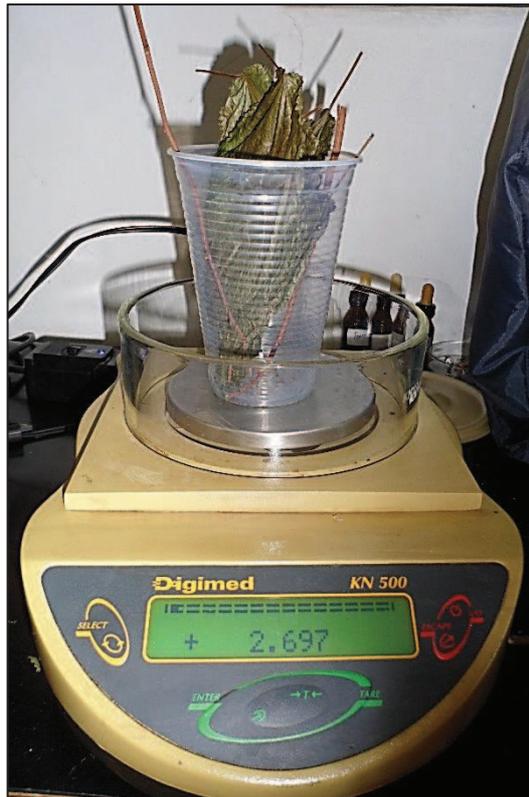


Figura 9. Pesagem da matéria seca da parte aérea de *Guazuma ulmifolia*.

4.3.2.3. Avaliação do substrato

Ao final do período experimental de avaliação do crescimento e desenvolvimento das mudas (60 dias), foram coletadas amostras de solo dos recipientes em que as mesmas se encontravam. No total, coletou-se 20 amostras de solo de forma aleatória, com 4 amostras por tratamento [C (0 mg.L^{-1}) (controle), T1 (100 mg.L^{-1}), T2 (200 mg.L^{-1}), T3 (400 mg.L^{-1}) e T4 (600 mg.L^{-1})].

As amostras foram colocadas em sacos plásticos transparentes, que permaneceram abertos ao ar livre por um período de 10 dias para retirada da umidade. Logo depois, foram enviadas ao Laboratório SOLOCRIA para análise da concentração de níquel, visto que se considerou a possibilidade de as mudas terem absorvido quantidades consideráveis deste metal, podendo não ser mais encontrando nas concentrações pré-estabelecidas no início dos testes. Desta forma, no laboratório SOLOCRIA, as amostras de solo foram tratadas com solução nitroperclórica ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$) e posteriormente, o níquel total foi determinado por absorção atômica.

4.4. Análise dos dados

Os dados obtidos nos experimentos I e II foram submetidos ao teste de normalidade e à análise de variância (ANOVA) para avaliar a existência de diferença entre os grupos (tratamentos com diferentes concentrações de níquel) em relação as variáveis dependentes (germinação, comprimento radicular e mortalidade após a germinação; diâmetro, altura, número de folhas, área foliar, matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea das mudas; concentração de níquel restante no solo após a retirada das mudas). Uma vez detectada diferença estatística significativa, a análise seguiu com as comparações múltiplas de Tukey com o objetivo de identificar quais grupos foram, de fato, estatisticamente diferentes entre si. Devendo-se ressaltar que o ANOVA e Tukey foram realizados no Software SAS 9.1 e Assistat e que todos os testes de hipóteses desenvolvidos consideraram uma significância de 5%, ou seja, hipótese nula rejeitada quando p-valor foi menor ou igual a 0,05.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Experimento I

5.1.1. Germinação

Os resultados indicaram que após os 20 dias de observação, a germinação das sementes de *G. ulmifolia* não foi afetada pelas diferentes concentrações de níquel aplicadas nos tratamentos (Tabela 4), onde o p-valor foi de 0,149498. A maior média de germinação foi observada no controle (62,5%), sendo que os valores obtidos para os demais tratamentos foram de 42,5%; 36,3%; 37,5%; 43,8% e 43,8% para as respectivas concentrações de 20; 40; 60; 80 e 100 mg.L⁻¹ de níquel (Figura 10).

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, para germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	71,375	5	14,275	1,872131	0,149498
Dentro dos grupos	137,25	18	7,625		
Total	208,625	23			

Muito embora o tratamento controle tenha sido o que apresentou maior média, a ausência de diferenças significativas através do teste de ANOVA pode ser explicada pela variação na germinação dentro do grupo (variância de 6,333333).

No geral, a germinação não ocorre em perfeita sincronização, pois a frequência germinativa de sementes individuais postas em incubação térmica acaba por distribuir-se ao longo do tempo (NASSIF; PEREZ, 2000). Em *G. ulmifolia*, a incubação ideal, ou seja, a faixa ótima de temperatura que permite maior germinabilidade, fica entorno de 25° a 30°C (ARAÚJO NETO et al., 2002). Desta forma, na presente pesquisa, as sementes tratadas com concentrações distintas de níquel foram mantidas a 27°C para que a temperatura não conferisse um fator de intervenção.

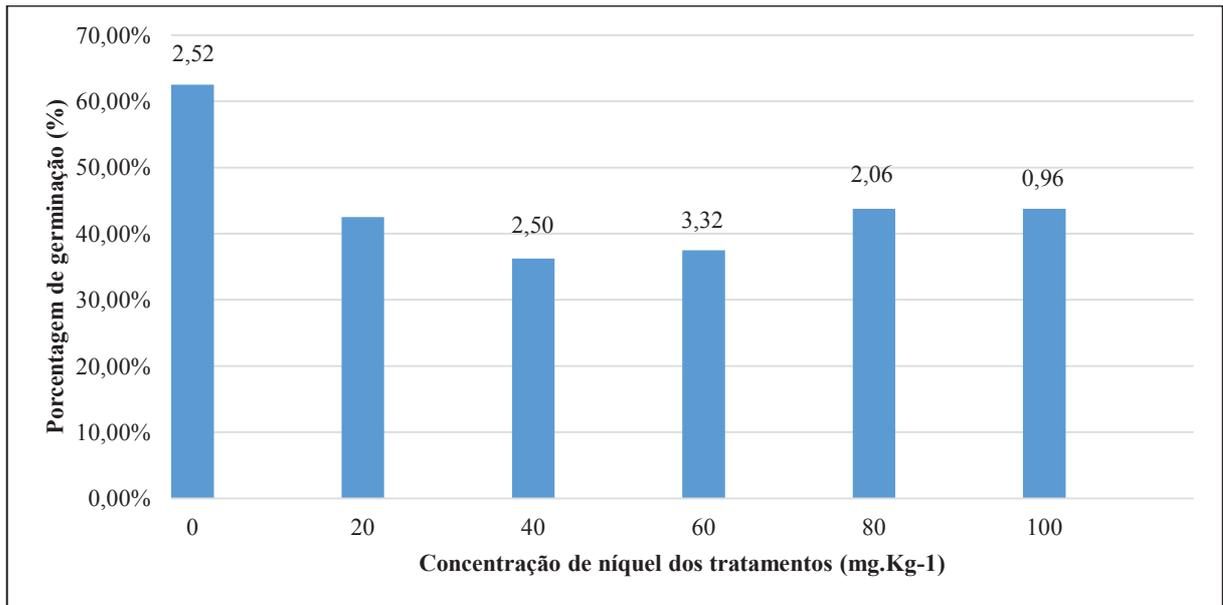


Figura 10. Dados médios da porcentagem de germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* sob influência de diferentes concentrações de níquel.

Na figura, o valor acima de cada coluna corresponde ao desvio padrão da média do tratamento.

Se por um lado há possibilidade de controle total da temperatura, por outro há impossibilidade de comedir nas sementes, a absorção de água. Processo inicial da germinação, a hidratação é caracterizada por rápida e contínua embebição de água em razão do alongamento e da divisão celular (VILLELA et al., 2003). Mas caso haja na água algum soluto em excesso, este será, impreterivelmente, incorporado aos tecidos embrionários, podendo impedir a protrusão radicular. Contudo, as médias de porcentagem de germinação das sementes de *G. ulmifolia* indicam que os tratamentos de 20, 40, 60, 80 e 100 mg.L⁻¹ de níquel não impossibilitaram a projeção da radícula.

De acordo com Sharma & Dhiman (2013), a germinação é a fase mais resistente aos metais pesados. Isto ocorre, pois provavelmente, tecidos como a testa e o endosperma, revestem o embrião e conseguem protegê-lo da toxicidade dos metais (LI et al., 2005). Concomitantemente, elementos como ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), zinco (Zn), boro (B), cloro (Cl) e níquel (Ni), são considerados micronutrientes (KIRKBY; RÖMHELD, 2007) e por isso, quando presentes em pequenas concentrações, irão desempenhar papéis essenciais no crescimento e desenvolvimento vegetal. Como o níquel, que se destaca por possuir função direta na germinação, de maneira que tal processo pode ser comprometido se este metal estiver ausente ou em concentrações insuficientes (NEVES et al., 2007).

No entanto, os benefícios extraídos dos metais podem ser anulados no momento em que esses elementos se encontram em excesso no meio ambiente e passam a comprometer a

germinação de diversas espécies. Em testes com sementes de *Lactuca sativa* L., foi detectado efeito fitotóxico do nitrato de chumbo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) sobre as mesmas, pois o aumento das concentrações do metal (0; 0,5; 1,0; 2,0 e 5,0 mM) favoreceu a redução do percentual de germinação (PEREIRA et al., 2013). Uma redução, verificada nas sementes de *Lycopersicon esculentum* Mill. apenas em 0,75 mM de acetato de chumbo ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO}_2)_2$), pois em 0,25 e 0,5 mM, a porcentagem de germinação equiparou-se estatisticamente ao controle (MORAES et al., 2014).

São exemplos de espécies que tiveram a germinação de suas sementes comprometida quando expostas a certas quantidades de metal pesado, ao passo que, existem as capazes de resistir e germinar até determinado nível de contaminação. Nesse sentido, faz-se necessária a realização de mais pesquisas que envolvam o estresse causado pelos metais pesados na germinação de sementes de espécies ainda não investigadas, uma vez que boa parte da literatura se foca em tratar do estresse salino ou hídrico.

5.1.2. Comprimento radicular

Para as medidas de comprimento radicular, foi constatada diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 5). Como observado na Figura 11, a extensão média das radículas foi maior no controle (C-0 mg.L^{-1}) e em 20 mg.L^{-1} , reduzindo de 1/3 à metade nos tratamentos de 40 a 100 mg.L^{-1} . Esta relação de aumento da concentração de níquel e redução radicular foi confirmada pelo teste Tukey (5%), que comprova que tratamentos superiores à 20 mg.L^{-1} diferenciaram-se do controle (Tabela 6).

Tabela 5. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, para crescimento radicular de plântulas de *Guazuma ulmifolia* em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	212,9183	5	42,58367	8,415744	0,0003
Dentro dos grupos	91,08	18	5,06		
Total	303,9983	23			

De acordo com Degenhardt & Gimmler (2000), a radícula é um sistema particularmente afetado pelas mudanças ambientais pois está em contato direto com o substrato. Em circunstâncias onde o substrato contém metais pesados, o sistema radicular das plântulas e plantas, no geral, deixa de crescer, o que afeta seu desenvolvimento ao restringir o

volume de solo explorado, influenciando assim, no balanço hídrico e nutricional (GOMES et al., 2011; PEREIRA et al., 2013).

Tabela 6. Dados médios do comprimento radicular de plântulas de *Guazuma ulmifolia* em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel.

Concentração de níquel (mg.L ⁻¹)	Comprimento radicular (mm)
0	11,02500 a
20	7,22500 ab
40	4,65000 b
60	2,32500 b
80	4,42500 b
100	2,70000 b
p-valor (ANOVA)	0,0003

Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

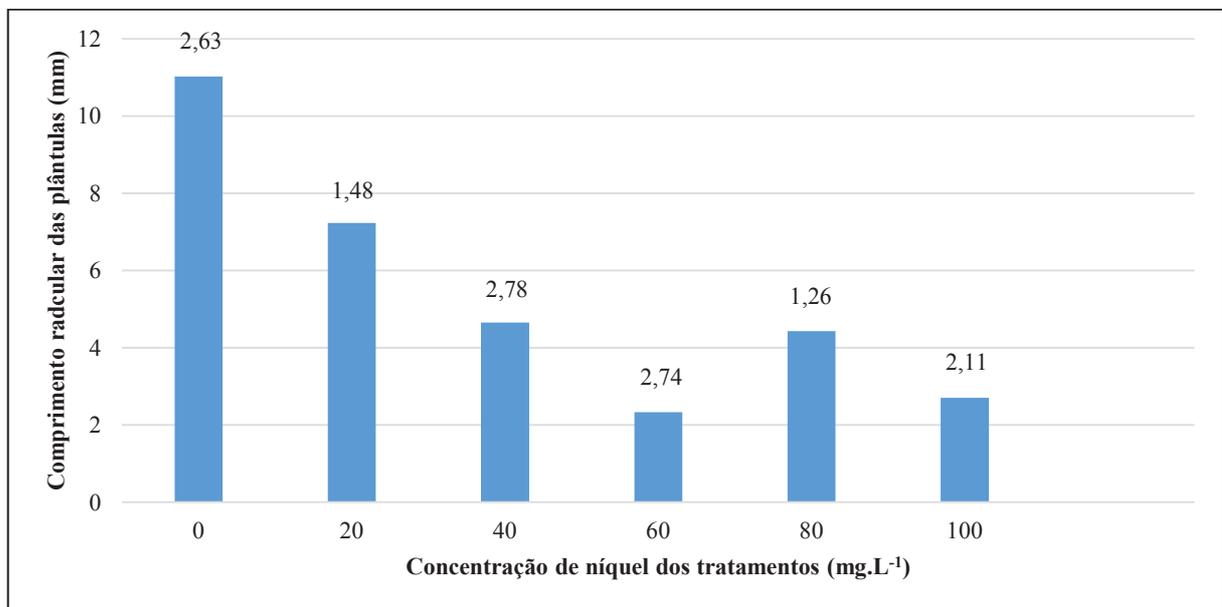


Figura 11. Dados médios do comprimento radicular das plântulas de *Guazuma ulmifolia* sob influência de diferentes concentrações de níquel.

Na figura, o valor acima de cada coluna corresponde ao desvio padrão da média do tratamento.

A falta de crescimento radicular em *G. ulmifolia*, foi ainda acompanhada por gradativa necrose do tecido. Provocada por danos físicos, venenos e outras lesões externas, a necrose difere da lesão necrótica por consistir na morte da estrutura vegetativa como um todo, enquanto que a lesão, equivale a uma morte celular localizada, formada por uma ilha circular pequena com função do isolamento da área afetada para proteção do restante da planta (TAIZ; ZAIGER, 2006).

As modificações na estrutura radicular estão diretamente relacionadas às alterações morfo-fisiológicas de todo o corpo vegetal (GOMES et al., 2011). Quando essas modificações estão ligadas ao aparecimento de coloração escura e necrose na raiz, com posterior morte da

plântula, é sinal de que a espécie possui alta sensibilidade à contaminação a que foi exposta (CARNEIRO et al., 2002). Tal interpretação pode ser aplicada em situações onde o crescimento radicular é pequeno.

Pereira et al. (2013), ao investigarem a fitotoxicidade do chumbo sob crescimento radicular de *Lactuca sativa* L., salientaram que a restrição deste crescimento pode estar vinculada às modificações anatômicas radiculares, produção de anormalidades cromossômicas e diminuição das divisões celulares dos meristemas apicais radiculares. A frequência de divisões celulares é ditada pelo índice mitótico, um importante indicador que avalia a taxa de crescimento radicular (ADAM; EL-ASHRY, 2010). Portanto, o decréscimo do índice mitótico em razão do aumento da concentração de algum metal pesado, limita as divisões celulares, que por sua vez, limita o aumento o tamanho da radícula.

Inteirar-se a respeito do comportamento radicular frente à contaminação por metais, permite estimar se a planta adulta irá se tornar ou não, um componente fitorremediador. Segundo Carneiro et al. (2002), a produção de raízes é uma importante característica quanto à fitoestabilização de áreas contaminadas com metais pesados, pois protege o solo da erosão, reduz a lixiviação, favorece a agregação e a atividade microbiana.

Para afirmar que a raiz contém mecanismos de tolerância a um ou mais tipos de metais, é indispensável a execução de testes laboratoriais, pois: os níveis tóxicos são amplos, variáveis e totalmente desconhecidos para espécies não-cultivadas e, as espécies tolerantes acabam não diferindo morfológicamente das não-tolerantes ou sensíveis, mas sim, bioquímica e fisiologicamente (MARQUES et al., 2000).

5.1.3. Mortalidade após a germinação

Os resultados de mortalidade após a germinação, atestaram diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 7). Em 40 e 60 mg.L⁻¹ de níquel, houve em média, a perda de 7 sementes germinadas ou em fase de plântula de um total de 20 sementes por repetição. Uma contagem que se elevou um pouco mais nos tratamentos de 80 e 100 mg.L⁻¹, onde os números ficaram no torno de 9 sementes germinadas ou em fase de plântula de um total de 20 sementes por repetição, que não resistiram (Figura 12).

No entanto, o teste Tukey (5%) indicou que a mortalidade em 20, 40 e 60 mg.L⁻¹ de níquel aproximou-se, do ponto de vista estatístico, ao controle. Mas, as concentrações de 80 e 100 mg.L⁻¹ de níquel não somente diferenciaram-se do controle, como do tratamento de 20

mg.L⁻¹ (Tabela 8), indicando que as concentrações maiores de níquel promoveram aumento na morte de plântulas.

Tabela 7. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, para a mortalidade após a germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	183,8333	5	36,76667	7,040426	0,000832
Dentro dos grupos	94	18	5,222222		
Total	277,8333	23			

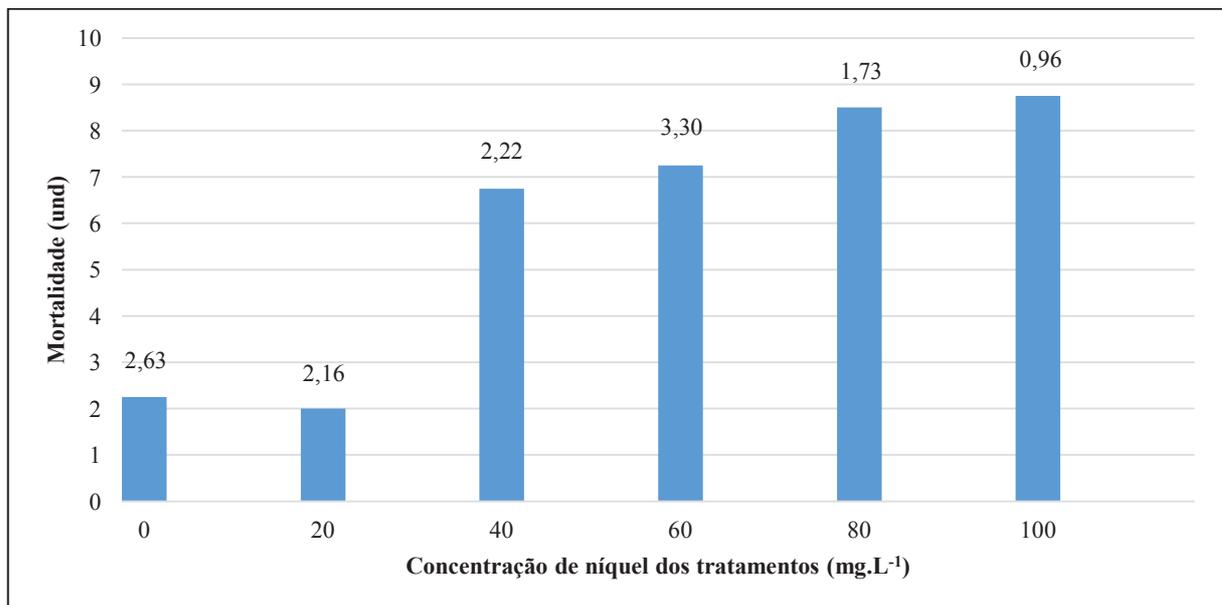


Figura 12. Dados médios da mortalidade após a germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* sob influência de diferentes concentrações de níquel

Na figura, o valor acima de cada coluna corresponde ao desvio padrão da média do tratamento.

Tabela 8. Dados médios da mortalidade após a germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* em 20 dias de experimentação com diferentes concentrações de níquel.

Concentração de níquel (mg.L ⁻¹)	Mortalidade (unidade)
0	2,25000 bc
20	2,00000 c
40	6,75000 abc
60	7,25000 ab
80	8,50000 a
100	8,75000 a
p-valor (ANOVA)	0,000832

Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Para Sharma & Dhiman (2013), a germinação e o crescimento inicial são acontecimentos da vida de uma planta que projetam o seu futuro. Assim, quando esses episódios ocorrem em ambiente saturado por metais pesados, há grandes chances de não alcançarem êxito.

Nas sementes de *G. ulmifolia* o níquel, que não chegou a comprometer a germinação prejudicou as fases seguintes, certamente pelo fato de o tegumento amolecido durante a embebição não poder mais resguardar os primórdios vegetativos. Logo, as proporções de 80 e 100 mg.L⁻¹ de níquel foram tóxicas para os tecidos embrionários, pois em tecidos foliares maduros a concentração normalmente varia apenas de 0,1 a 5 mg.L⁻¹ (KABATA-PENDIAS, 2010).

Enquanto para algumas espécies os metais chegam ao ponto de provocar a mortalidade após a germinação das sementes, para outras, irão conferir excelente reserva nutritiva nas etapas do crescimento que prosseguem. Diante disso, pesquisadores têm buscado tratar com zinco variadas sementes de culturas agrícolas, permitindo com que haja: a redução da adubação via solo, aplicação de quantidades adequadas do metal, realização de semeadura imediata ou armazenamento de sementes para posterior utilização (RIBEIRO; SANTOS, 1996).

Entretanto, a técnica de aplicação do metal em sementes não pode ser recomendada na associação níquel e sementes de *G. ulmifolia*. Com base neste princípio, é presumível que áreas contaminadas pelo níquel não conterão banco de plântulas de mutamba, o que coloca em risco a manutenção da espécie e do ecossistema como um todo. Uma informação que se mostra importante, pois a recomposição florística de uma determinada área por meio da semeadura a lanço (MARTINS, 2013) não é adequada para a espécie em estudo em áreas contaminadas por níquel.

Como alternativa, há implementação de mudas de *G. ulmifolia* em experimentos de fitorremediação em áreas com altas concentrações de níquel. Apesar de o estabelecimento e pegamento das mudas costumar ser uma fase crítica da fitorremediação (CAIRES et al., 2011), há uma maior expectativa de sobrevivência, se comparada ao plantio direto das sementes no solo.

5.2. Experimento II

5.2.1. Altura das mudas

Para a medida de altura das mudas de *G. ulmifolia* expostas às concentrações de 0, 100, 200, 400 e 600 mg.L⁻¹ de níquel, constatou-se diferença estatística significativa (Tabela

9). Ao longo do período de avaliação, 100 mg.L⁻¹ destacou-se por apresentar a maior média de altura (35,36 cm), sendo estatisticamente superior a 400 mg.L⁻¹ (27,07) e, equivalente aos demais tratamentos (Tabela 10 e Figura 13).

Tabela 9. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da altura das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	406,53	4	101,63	3,42	0,0202
Dentro dos grupos	890,36	30	29,68		
Total	1296,89	34			

Tabela 10. Dados médios da altura das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

Concentração de níquel (mg.L ⁻¹)	Altura (cm)	Desvio padrão
0	34,64 ab	3,77
100	35,36 a	7,39
200	28,00 ab	3,81
400	27,07 b	4,15
600	32,71 ab	6,92
p-valor (ANOVA)	0,0202	

Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

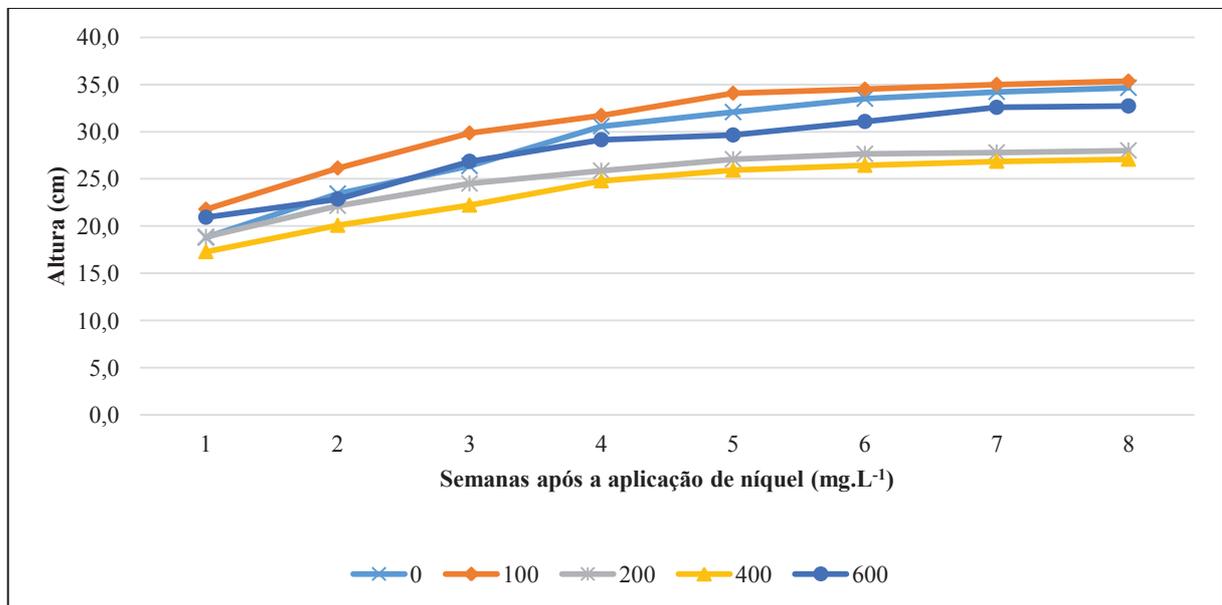


Figura 13. Dados médios semanais da altura das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

A avaliação de órgãos vegetais é uma ferramenta bastante útil para equacionar o crescimento final de uma planta submetida a diferentes condições ambientais (PEIXOTO et al., 2011). Ao avaliar a altura do caule de *G. ulmifolia*, observou-se que as doses elevadas de

níquel (100 a 600 mg.L⁻¹) não causaram diminuição do crescimento em relação ao controle, no qual teoricamente, conteria mudas mais propensas a crescer (Tabela 10).

A capacidade da planta de sobreviver e prosperar em solos metálicos ocorre através de adaptações celulares envolvidas na homeostase geral, evitando a acumulação de concentrações tóxicas em sítios sensíveis no interior da célula (HALL, 2002). Em *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. a acumulação de níquel a nível celular pode não ter sido evitada com eficiência, pois aplicação de 2,5 mg.L⁻¹ ocasionou a redução de 40% da altura das plantas em relação ao controle e, ao se aplicar 5, 10, 15 e 20 mg.L⁻¹ de Ni²⁺ a redução da altura ficou na ordem dos 49% (PAIVA et al., 2001).

Exemplos como os de *M. urundeuva* ilustram o fato de que o níquel acima do limite admissível para a planta não tolerante interferirá nas funções de componentes celulares e causará a alteração do metabolismo, lesões celulares e em casos extremos, a morte da planta (SHARMA; DHIMAN, 2013). São sintomas de toxidez, que juntamente com distúrbios nutricionais, acabam sendo confundidos com deficiência ou toxidez de elementos essenciais em plantas que crescem em ambientes (solo ou solução nutritiva) contaminados com níquel (PAIVA et al., 2002).

De acordo com Hall (2002), os sintomas de toxicidade em plantas pelo excesso de metais pesados ocorrem por uma variedade de interações não somente no âmbito celular, como no molecular. Contudo, Sharma & Dhiman (2013) reconhecem que a entrada de altas concentrações de níquel em núcleos celulares, não é comprovada e que se vir a acontecer, não se conhece o quão impactante será na interferência imediata do DNA e das proteínas.

Sob outra perspectiva, tem-se a aplicação de pequenas doses de níquel para adubação de determinadas espécies vegetais. Uma delas é o algodão, que quando tratado com 0,3 Kg.ha⁻¹ de níquel teve a altura significativamente elevada aos 60 dias após a emergência (de 13.13 cm aos 20 dias para 328.32 cm), chegando a 427,78 cm aos 100 dias (RIGON et al., 2011). O expressivo aumento da altura pode ter acontecido pelo fato de na planta, o níquel ser muito móvel e em casos de deficiência, ser redistribuído com rapidez (MACÊDO; MORRIL, 2008).

No presente estudo, as concentrações de níquel utilizadas apesar de não serem apropriadas para adubação, não prejudicaram o incremento da altura das mudas de *G. ulmifolia*, que continuaram a crescer (para cada tratamento um ritmo) gradativamente, apresentando as maiores médias na sétima e oitava semana de avaliação. Mediante tais informações, é provável que assim como em situações de sintomas de deficiência, o níquel tenha sido redistribuído dos tecidos de *G. ulmifolia* para que não ficassem sobrecarregados, permitindo com que as células continuassem a se estender longitudinalmente.

5.2.2. Diâmetro do coleto das mudas

A presença de níquel nas mudas de *G. ulmifolia* não induziu a redução do diâmetro do coleto em nenhuma das concentrações utilizadas (p -valor $> 0,05$) (Tabela 11). Na Figura 14, observa-se que os tratamentos de 0 a 400 mg.L^{-1} , iniciaram o experimento com diâmetro médio entre 3,0 e 4,0 mm e finalizaram com valores entre 5,0 e 6,0 mm, sendo que no tratamento de 600 mg.L^{-1} os valores iniciais e finais ficaram entre 4,0 e 7,0 mm, respectivamente.

Tabela 11. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, do diâmetro das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas à diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	10,74	4	2,69	1,86	0,1443
Dentro dos grupos	43,43	30	1,45		
Total	54,17	34			

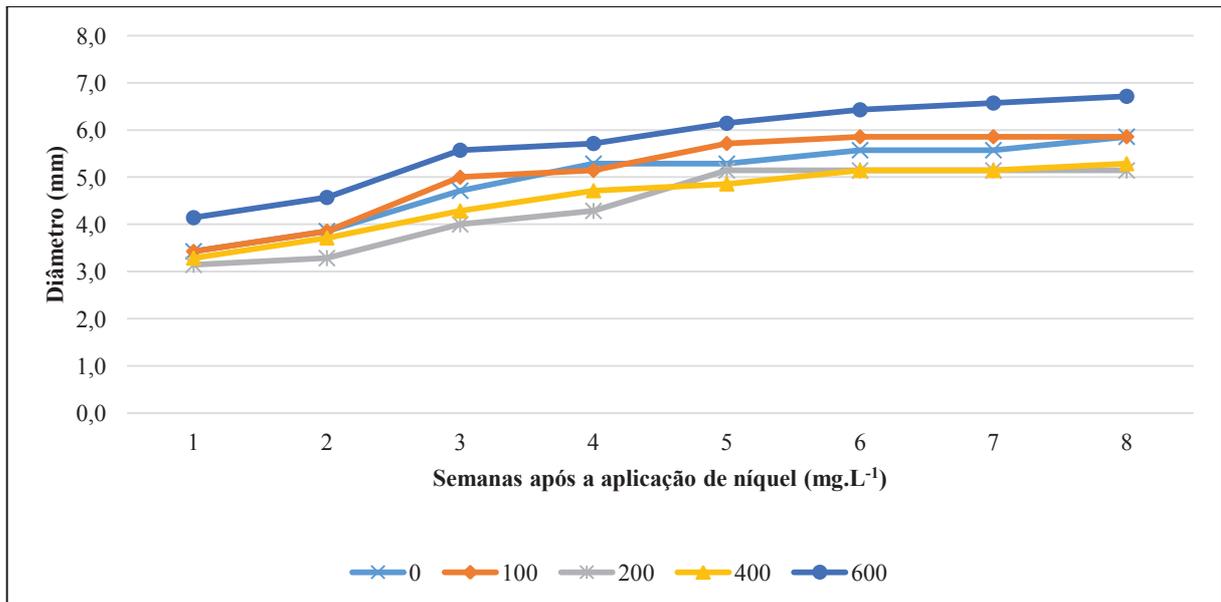


Figura 14. Dados médios semanais do diâmetro das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

Tabela 12. Desvio padrão do diâmetro das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas à diferentes concentrações de níquel.

Concentração de níquel mg.Kg^{-1}	Desvio padrão
0	0,90
100	1,35
200	1,21
400	1,11
600	1,38

O espessamento da base do caule em função do tempo demonstra que a atividade cambial não foi afetada pelas elevadas concentrações de níquel, inclusive em 600 mg.L⁻¹. Resultados semelhantes foram alcançados em *Myracrodruon urundeuva* Fr. All., onde as doses de 2,5; 5; 10; 15 e 20 mg.L⁻¹ de Ni²⁺ não exerceram efeito significativo sobre seu diâmetro caulinar (PAIVA et al., 2001).

Em se tratando da espécie *Jatropha curcas* L. tratada com Cu (0; 25; 50; 75 e 100 mg.dm⁻³) e Zn (0; 50; 100 e 150 mg.dm⁻³), Chaves et al. (2010) observaram que em qualquer concentração empregada, os metais, separadamente, exerceram influência de forma significativa no diâmetro caulinar, promovendo sua diminuição.

Ao considerar as variáveis espécie, tipo e concentração do metal pesado, tem-se a possibilidade de surgimento de inúmeras consequências aos órgãos e organismo vegetal, onde uma das mais expressivas é a alteração do padrão de crescimento. Segundo Sharma & Dhiman (2013), o padrão de crescimento é expresso principalmente em função do genótipo e do meio ambiente, sendo facilmente alterado pelo excesso de níquel.

Porém, se todas as espécies tivessem o crescimento e desenvolvimento completamente reduzido perante a presença de um metal pesado, iriam se encontrar sempre em risco de extinção. À vista disso, muitas têm adquirido mudanças no código genético voltadas para a persistência a locais contaminados por metais pesados (LARCHER, 2000). Basta que uma única alteração molecular/bioquímica aconteça, para que tolerância a um metal específico exista (HALL, 2002).

No que diz respeito à tolerância a dois ou mais tipos de metais pesados, será classificada em co-tolerância ou tolerância múltipla. A primeira, também conhecida por tolerância cruzada, consiste em um mecanismo de tolerância menos específico, onde um mesmo gene confere tolerância a diferentes metais; e a segunda, envolve a combinação de genes e mecanismos de tolerância específicos para apenas um metal (MACNAIR; BAKER, 1994; SCHAT; VOOIJS, 1997).

Qual for que seja o mecanismo de tolerância presente em uma espécie fitorremediadora, tanto um como o outro, favorece o acúmulo e imobilização de metais, retardando seu retorno ao solo. Desta forma, plantar espécies fitorremediadoras em áreas contaminadas por metais pesados, torna-se o primórdio da formação de uma manta orgânica protetora do solo e do ecossistema como um todo.

5.2.3. Número de folhas das mudas

A análise de variância para o número de folhas de *G. ulmifolia* comprovou a existência de diferença estatística significativa entre os tratamentos de 0 a 600 mg.L⁻¹ de níquel (Tabela 13). O que condiz com os resultados emitidos pelo teste Tukey (5%), onde 200 e 400 mg.L⁻¹ de níquel diferiram de 0 mg.L⁻¹ (13,14 folhas), por apresentarem médias de 10,00 e 10,71 folhas por muda (Tabela 14).

Todavia, os tratamentos de 200 e 400 mg.L⁻¹ de níquel se igualaram estatisticamente aos tratamentos de 100 e 600 mg.L⁻¹, que por sua vez, se igualaram estatisticamente ao controle. Indícios, de que *G. ulmifolia* seja capaz de fitorremediar áreas contaminadas por níquel em todas as concentrações testadas no presente estudo e que conjuntamente, produza folhas dentro de um padrão de normalidade.

Segundo Serbula et al. (2012), as folhas de plantas superiores são biomateriais bastante úteis para detectarem a deposição, acumulação e distribuição de metais. Devido a facilidade de execução, a contagem das folhas também é uma técnica eficiente para investigar o comportamento e efeito de metais em plantas, fazendo parte de um conjunto de características de crescimento que funcionam como bioindicadores de contaminação que permitem a seleção de espécies resistentes (SHARMA; DHIMAN, 2013). Devendo-se ressaltar que, espécies resistentes a metais e altamente exitosas no processo de fitorremediação possuem, no geral, elevada produção de biomassa (PROCÓPIO et al., 2009).

Tabela 13. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, do número de folhas das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	39,71	4	9,93	4,89	0,0037
Dentro dos grupos	60,86	30	2,03		
Total	100,57	34			

Tabela 14. Dados médios do número de folhas das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

Concentração de níquel (mg.L ⁻¹)	Número de folhas	Desvio padrão
0	13,14 a	1,35
100	11,43 ab	1,62
200	10,00 b	0,82
400	10,71 b	1,70
600	11,86 ab	1,46
p-valor (ANOVA)	0,0037	

Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

No entanto, o primeiro contato do vegetal com o metal pesado pode inicialmente proporcionar queda foliar como resposta imediata ao estresse, o que não exclui a possibilidade de sucesso no processo de fitorremediação. Em *Amaranthus paniculatus* L. criada em sistema hidropônico, as concentrações de 0, 25, 50, 100 e 150 μM de cloreto de níquel (NiCl_2) reduziram progressivamente a quantidade de folhas (IORI et al., 2013). Mesmo assim, o autor reconhece um potencial em *A. paniculatus* para descontaminação de substratos contaminados e esclarece que a severa queda foliar em 150 μM de NiCl_2 ocorreu, devido a deficiência nos mecanismos de restrição de transporte do metal, grande acúmulo de NiCl_2 no tecido foliar e geração de danos à maquinaria fotossintética.

Quando a acumulação de um metal nas folhas é intensa, faz-se necessário colhê-las antes da abscisão para que este contaminante não retorne ao solo (LAMEGO; VIDAL, 2007). Após a colheita, as plantas devem passar por uma série de etapas (compostagem, extração do metal e incineração) para que os metais acumulados durante a fitorremediação sejam recuperados e para que a biomassa resultante, possa servir na fabricação de biodiesel e fibras (GRATÃO et al., 2005).

Em *G. ulmifolia*, a ausência de queda foliar em todos os tratamentos (0 a 600 mg.L^{-1}) sugere que a maior parte do níquel absorvido não foi translocado para o tecido foliar (Figura 15), o que atenua a indispensabilidade da colheita da biomassa em campo ao fim da fitorremediação. Essa pressuposição corrobora com a ilustração criada por Chen et al. (2009) (Figura 16), onde se elucida que mais de 50% do níquel é retido nas raízes, mais de 80% do níquel nas raízes está no cilindro vascular e que o restante, distribui-se primeiramente no caule e por último nas folhas, onde o níquel é armazenado nas paredes celulares, vacúolos e tricomas epidérmicos associados à quelantes, ácidos orgânicos e proteínas.

Em contraposição à constatação de Chen et al. (2009), há a pesquisa de Guo et al. (2010), onde é observado que o níquel sob diferentes concentrações (0, 12,5, 25, 50, 100, 200, 400, e 800 mg.Kg^{-1}) acumulou-se no milho seguindo a ordem de: grãos>folhas>caule, o que indica que os níveis de níquel nos órgãos reprodutivos e de armazenamento foram consideravelmente maiores do que nas partes vegetativas da planta, mas que segundo os autores, não representam risco à saúde humana por estarem abaixo dos limites de segurança recomendados.

Quanto aos riscos de toxidez oferecidos pelo níquel sobre às mudas de *G. ulmifolia*, pode-se afirmar que se forem baseados na clorose foliar, não estiveram em evidência durante o período experimental. Esse sintoma visual, também conhecido por clorose férrica, ocorre

pelo fato de o níquel possuir propriedades químicas semelhantes às do ferro, impedindo-o de ser transportado para diferentes partes da planta (NISHIDA et al., 2011).

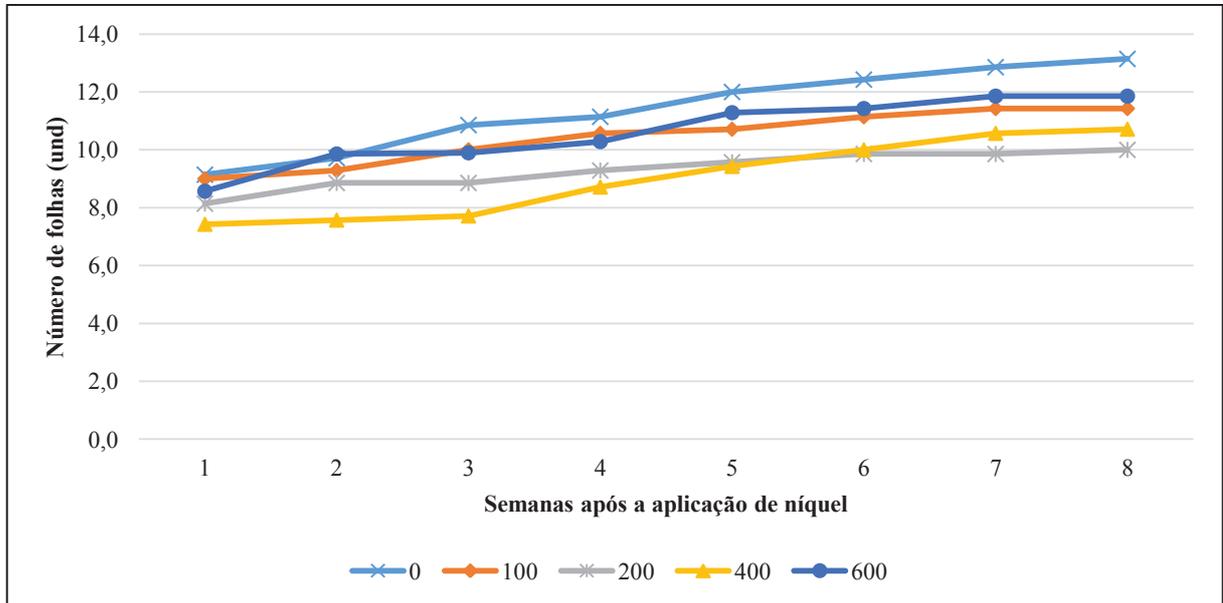


Figura 15. Dados médios semanais do número de folhas das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

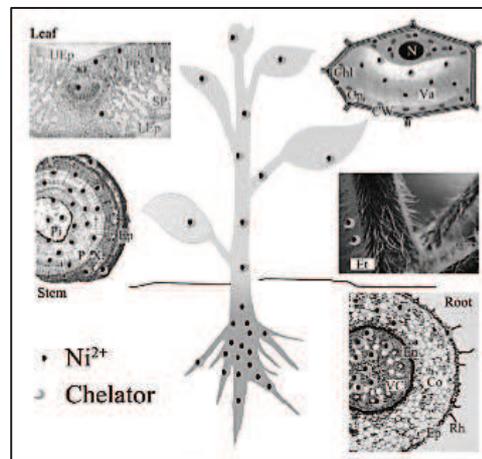


Figura 16. Ilustração da distribuição e acúmulo de níquel em diferentes partes da planta. Fonte: Chen et al. (2009)

Em ensaio realizado com *Atropa belladonna* L. com oito semanas de idade (9-10 folhas), a concentração de 200 μM de NiCl_2 reduziu substancialmente o teor de ferro nas folhas e foi intitulada pelos autores de “homeostase anormal do ferro”, causando inevitavelmente clorose foliar (STETSENKO et al., 2011).

A conexão de deficiência de ferro com a clorose é certificada por Lange et al. (2005), que ao omitirem esse micronutriente em *Ricinus communis* L., observaram evidente

aparecimento de clorose internerval em folhas jovens, ou seja, nervuras de coloração verde enquanto o restante do limbo foliar permanecia amarelado.

Segundo Römheld & Miroslav (2006) folhas jovens tendem a ser mais susceptíveis a clorose, pois possuem menor quantidade de cloroplastos se comparadas às mais velhas. E sendo organelas que funcionam como verdadeiros depósitos de ferro, permitem com que em uma situação de deficiência, tal micronutriente seja retranslocado para continuar a participar da síntese de clorofila em toda extensão do tecido foliar, evitando assim, o repentino surgimento de clorose.

Em estágio de sintomatologia avançada pela toxidez ao níquel, a clorose das folhas evolui para expressiva necrose (MACÊDO; MORRIL, 2008). Sob outra perspectiva, a necrose pode se manifestar no tecido foliar quando o níquel se encontra indisponível ou escasso para a planta. São causas de deficiência de níquel distintas, mas que sucedem igualmente no impedimento da ação da enzima urease e geram acúmulo de uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] e manchas necróticas no tecido foliar (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

A urease é uma metaloenzima dependente do níquel, que catalisa a hidrólise da uréia para formar amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2), sendo a amônia posteriormente incorporada a compostos orgânicos, especialmente a glutamina sintase (SIRKO; BRODZIK, 2000). Quando a urease não se encontra em plena atividade devido à privação de níquel, é possível administrá-lo via foliar, pois é um nutriente que pode se remobilizar facilmente pelo floema para o desenvolvimento de tecidos, como: folhas, brotos, flores e frutos (NEUMANN; CHAMEL, 1986).

Neste estudo, *G. ulmifolia* recebeu concentrações de níquel que inviabilizaram, a curto prazo, o aparecimento de clorose pela elevação da uréia. É possível que a homeostase foliar tenha sido superior à toxicidade e que o níquel absorvido, em partes, tenha sido destinado para a produção de urease.

5.2.4. Matéria seca da raiz das mudas

A matéria seca da raiz das mudas de *G. ulmifolia* não variou significativamente entre os tratamentos de 0 a 600 mg.L^{-1} de níquel (Tabela 15). Como observado na Figura 17, o menor valor médio foi observado no tratamento de 400 mg.L^{-1} de níquel com 0,15 g e o maior, no tratamento de 100 mg.L^{-1} com valor de 0,48g de matéria seca.

A manutenção equilibrada da biomassa das raízes de *G. ulmifolia* nas concentrações de níquel testadas (0 a 600 mg.L⁻¹), indica inexistência de sintoma de toxidez, incluindo o aparecimento de lesões necróticas que dificultariam a absorção regular de água e nutrientes. Por sua vez, são os nutrientes que auxiliam na integridade da raiz e quando omitidos pela presença de um metal, contribuem para a diminuição considerável do sistema radicular. Em *Ricinus communis* L., por exemplo, a falta de ferro, manganês e cobre, reduziu a matéria seca da raiz em 63%, 46% e 26% (LANGE et al., 2005).

Tabela 15. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da matéria seca da raiz das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	0,29	4	0,07	2,19	0,119
Dentro dos grupos	0,49	15	0,03		
Total	0,78	19			

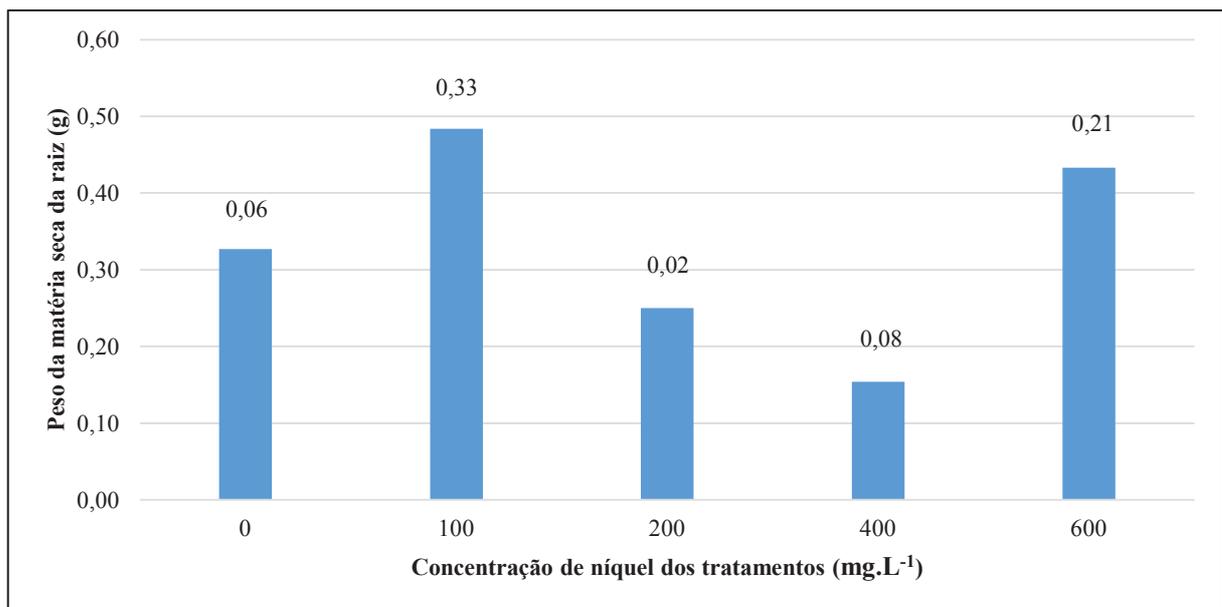


Figura 17. Dados médios da matéria seca da raiz das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

Na figura, o valor acima de cada coluna corresponde ao desvio padrão da média do tratamento.

A razão de se utilizar a matéria seca para determinar o aumento do material acumulado na formação de um órgão ou de uma planta como um todo, é que ao desconsiderar o conteúdo de água influenciado pelo teor de umidade ambiental, o peso final obtido tornar-se-á mais fidedigno (LUCCHESI, 1984). Em vista disso, é possível alcançar um peso seco que consiste basicamente em parede celular (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A redução do peso seco de raízes como resposta de espécies vegetais à contaminação por diferentes metais pesados, têm sido verificada em: *Canavalia ensiformes* L. (ROMEIRO et al., 2007); *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, *Desmanthus virgatus* (L.) Willd e *Prosopis juliflora* (SW) DC. (ALVES et al., 2008); *Jatropha curcas* L. (CHAVES et al., 2010); *Cedrela fissilis* Vell. (CAIRES et al., 2011); *Salix humboldtiana* Willd. (GOMES et al., 2011); *Lactuca sativa* L. (PEREIRA et al., 2013) e *Lycopersicon esculentum* Mill. (MORAES et al., 2014).

Em *Amaranthus paniculatus* L. tratada com cinco concentrações de NiCl_2 (0, 25, 50, 100 e 150 μM), também houve redução da matéria seca das raízes, que foi progressiva de acordo com as doses crescentes de níquel empregadas (IORI et al., 2013). Do mesmo modo, *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. e *Spondias tuberosa* Arr. Cam tiveram nas maiores concentrações de níquel (0; 2,5; 5; 10; 15 e 20 mg.L^{-1} de Ni e 0; 0,0005; 0,05; 0,1; 0,5 e 1,0 mmol L^{-1} de Ni, respectivamente), o menor acúmulo de matéria seca na raiz, o que sugere efeito tóxico do elemento sobre o sistema radicular (PAIVA et al., 2001; NEVES et al., 2007).

Entretanto, em ocasiões onde níquel é ministrado em pequenas dosagens, pode não intervir de modo negativo no desenvolvimento radicular. Como observado por Lopes et al. (2014), onde ao efetuarem uma metodologia constituída por combinações de doses de Ni (0, 15, 30, 45 e 60 g.ha^{-1}) para aplicação em folhas de *Phaseolus vulgaris* L., reconheceram que nenhuma das concentrações de níquel pré-estabelecidas afetaram a massa seca da raiz da espécie em estudo.

Uma elucidação para o ocorrido com *P. vulgaris* está no local da aplicação do metal, pois se tivesse sido lançado diretamente solo, entraria em contato imediato com a raiz, o que eleva o risco de causar toxicidade na mesma. Dado que no presente estudo, a raiz de *G. ulmifolia* não sofreu sintomas de toxicidade ao crescer em solo contaminado com níquel, consolida-se sua tolerância às concentrações adotadas (0 a 600 mg.L^{-1}).

Parte da tolerância das raízes ao níquel, pode ser atribuída à produção de quelantes. Quando introduzido ao interior da planta por difusão passiva ou transporte ativo, o níquel sob a forma de cátion divalente (Ni^{2+}) pode estar quelatado a compostos orgânicos, o que promove a redução de sua atividade iônica (SANTOS et al., 2002; SHARMA; DHIMAN, 2013; REIS et al., 2014). Outra condição que protege as raízes de danos causados por um metal, é a produção de barreiras apoplásticas oriundas do espessamento de paredes da epiderme, exoderme e endoderme, aumentando da capacidade de filtro da raiz para maior proteção de seus tecidos internos (GOMES et al., 2011).

5.2.5. Matéria seca da parte aérea das mudas

Os teores de níquel de 0 a 600 mg.L⁻¹ influenciaram de modo significativo a matéria seca da parte aérea das mudas de *G. ulmifolia* (Tabela 16). Por conseguinte, 400 mg.L⁻¹ de níquel conteve a menor quantidade média de matéria seca, diferenciando-se estatisticamente de 0 e 100 mg.L⁻¹ e equiparando-se a 200 e 600 mg.L⁻¹ de níquel (Tabela 17).

Tabela 16. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da matéria seca da parte aérea das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	9,80	4	2,45	5,62	0,0057
Dentro dos grupos	6,54	15	0,44		
Total	16,34	19			

Tabela 17. Dados médios da matéria seca da parte aérea das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

Concentração de níquel (mg.L ⁻¹)	Matéria seca da parte aérea (g)
0	2,72 a
100	2,57 a
200	1,39 ab
400	0,87 b
600	1,87 ab
p-valor (ANOVA)	0,0057

Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Para Stetsenko et al. (2011), a capacidade de uma planta de acumular biomassa sob condições de estresse é um dos principais critérios de resistência a metais pesados. O acréscimo da matéria seca da parte aérea de uma determinada espécie está diretamente interligado ao desenvolvimento de sua área foliar, onde pouco a pouco, as folhas ocupam a área disponível para realizar o aproveitamento máximo da energia solar (LUCCHESI, 1984). Assim, o acúmulo de matéria seca é conexo à dinâmica de produção fotossintética (BARBERO et al., 2013) e conforme é reduzido, mais restringida fica a atividade fotossintética e maior será a dificuldade do vegetal de crescer e se desenvolver dentro dos limites de normalidade.

Em *G. ulmifolia*, observa-se que a média de matéria seca da parte aérea em 400 mg.L⁻¹ de níquel ficou abaixo das médias dos outros tratamentos, inclusive em 0 e 100 mg.L⁻¹ (Figura 18). Mas sob ponto de vista estatístico, o valor da matéria seca da parte aérea em 400 mg.L⁻¹

de níquel igualou-se à 200 e 600 mg.L⁻¹, exprimindo a falta de um padrão linear entre o aumento das concentrações de níquel e a redução do parâmetro analisado. Uma constatação, que representa o desenvolvimento normal e a tolerância das mudas de *G. ulmifolia* às concentrações de níquel testadas no presente estudo.

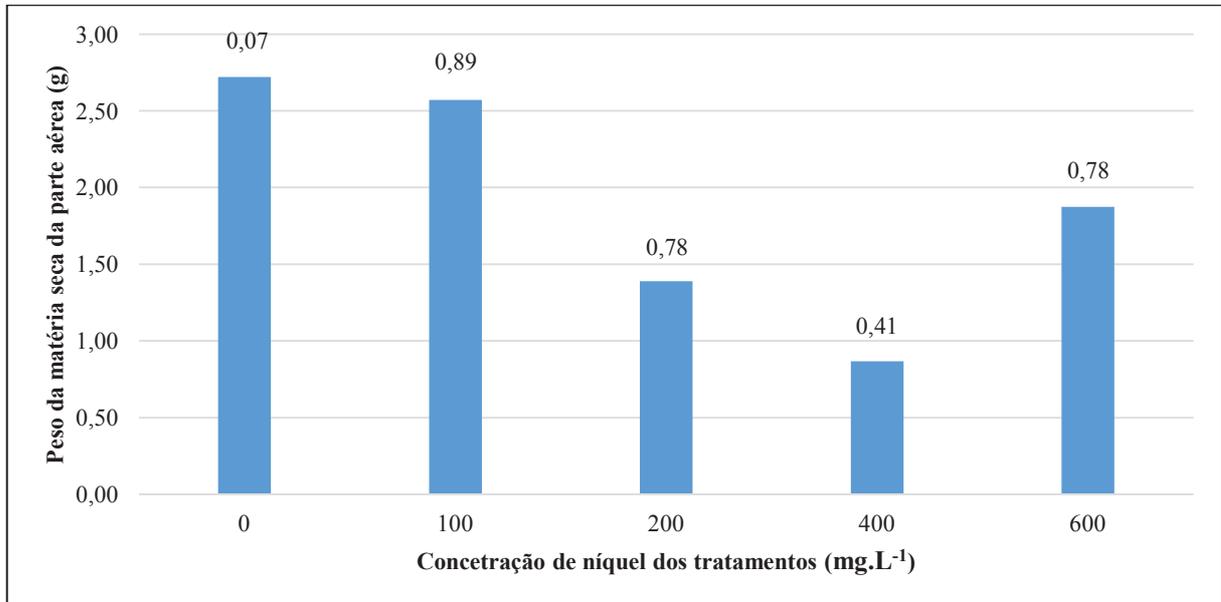


Figura 18. Dados médios da matéria seca da parte aérea das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

Na figura, o valor acima de cada coluna corresponde ao desvio padrão da média do tratamento.

Em pesquisa com *Phaseolus vulgaris* L., cultivada com dois tipos de solo (Neossolo e Argissolo) e tratada com cinco doses de NiCl₂ · 6H₂O via foliar (0; 20; 40; 60 e 100 mg.L⁻¹), verificou-se que a massa seca da parte aérea não foi afetada pelos solos escolhidos e pelas aplicações de níquel (CAMPANHARO et al., 2013). E mesmo sendo considerada bastante sensível ao níquel em relação a outras culturas de feijoeiro, *P. vulgares* acumulou de acordo com o aumento das doses, porções gradativas do metal em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens. Cabendo salientar que, os teores de níquel na planta dependem de sua disponibilidade no solo e se mostram diversos em cada órgão, sendo que para plantas cultivadas em solo não contaminado, o níquel ficará na faixa de 0,05 e 5 mg.Kg⁻¹ (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

Por outro lado *Myracrodruon urundeuva* Fr. All., uma espécie consideravelmente maior que *P. vulgares*, teve em 20 mg L⁻¹ de níquel uma redução de 67, 4% na matéria seca das folhas e, 70,9 % na matéria seca do caule (PAIVA et al., 2001). O que demonstra que o porte físico da planta independe da sua capacidade de resistir e fitorremediar metais pesados. Conquanto, é primordial que seu crescimento, mesmo que vagaroso, faça-se de modo

contínuo. Um ritmo que permitirá estender cada vez mais o volume de solo explorado e a absorção de metais pesados e, que impedirá a fácil eliminação da espécie por competição intra ou inter-específica.

5.2.6. Área foliar

Ao avaliar a área foliar das mudas de *G. ulmifolia*, observa-se pelo teste ANOVA a existência de diferença estatística significativa entre os tratamentos de 0 a 600 mg.L⁻¹ de níquel (Tabela 18). Conforme o teste Tukey (5%), 0 e 600 mg.L⁻¹ destacaram-se com as maiores médias de área foliar, diferenciando-se de 200 e 400 mg.L⁻¹ e igualando-se estatisticamente a 100 mg.L⁻¹ de níquel (Tabela 19).

Tabela 18. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da área foliar das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	6948,40	4	1737,10	6,20	0,0009
Dentro dos grupos	8400,47	30	280,02		
Total	15348,86	34			

Tabela 19. Dados médios da área foliar das mudas de *G. ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

Concentração de níquel (mg.L ⁻¹)	Área foliar (cm ²)
0	78,13 a
100	64,07 ab
200	43,30 b
400	43,43 b
600	69,57 a
p-valor (ANOVA)	0,0009

Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Indicativo fundamental de produtividade, a área foliar informa as respostas da planta frente a fatores ambientais, permitindo determinar o rendimento vegetal de maneira mais precisa (LOPES et al., 2004; SILVA et al., 2011; SHARMA; DHIMAN, 2013). Em trabalho abordando a utilização de Pb(C₂H₃O₂)₂ (0; 0,25; 0,5 e 0,75 mM) sobre plântulas de *Lycopersicon esculentum* Mill., por exemplo, verificou-se que aos 21 dias tiveram o rendimento comprometido devido a declinação da área foliar pela exposição ao metal, onde a

partir da concentração de 0,25 mM de acetato de chumbo a redução chegou a 78% em relação ao controle (MORAES et al., 2014).

Chaves et al. (2010), afirmam que a diminuição na área foliar causada pela intervenção de um metal pesado, nada mais é que uma manifestação do efeito depreciativo no aparelho assimilatório das plantas, o qual está diretamente relacionado com seus processos fisiológicos. Premissa elaborada, pois, nas doses de 100 mg.dm⁻³ de Cu, 100 e 150 mg.dm⁻³ de Zn, obtiveram em *Jatropha curcas* L. as seguintes reduções na área foliar em relação a testemunha: 69,5%, 60,1% e 41,9%, respectivamente.

No que se refere a *Eucalyptus maculata* Hook. e *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake, o acentuado decréscimo da área foliar foi atribuído ao Cu na concentração de 32 µM (SOARES et al, 2000). O emprego da área foliar nesta e em outras pesquisas voltadas para a investigação do efeito de metais pesados em plantas, possui relevância semelhante ao emprego da matéria seca da parte aérea, estando ligadas à superfície de interceptação de luz e às taxas fotossintéticas (SILVA et al., 2011).

Em *G. ulmifolia*, as concentrações de 200 e 400 mg.L⁻¹ de níquel contiveram as médias mais baixas da matéria seca da parte aérea, que conseqüentemente são oriundas das baixas médias de área foliar (Figura 19). Todavia, há a ressalva de que independente do aspecto físico diminuto das mudas nesses tratamentos, foi constatado no presente estudo a inexistência de queda foliar, o que orienta para um pleno desempenho da fotossíntese, permitindo com que as plantas assegurem suas condições vitais na presença de 200 e 400 mg.L⁻¹ de níquel.

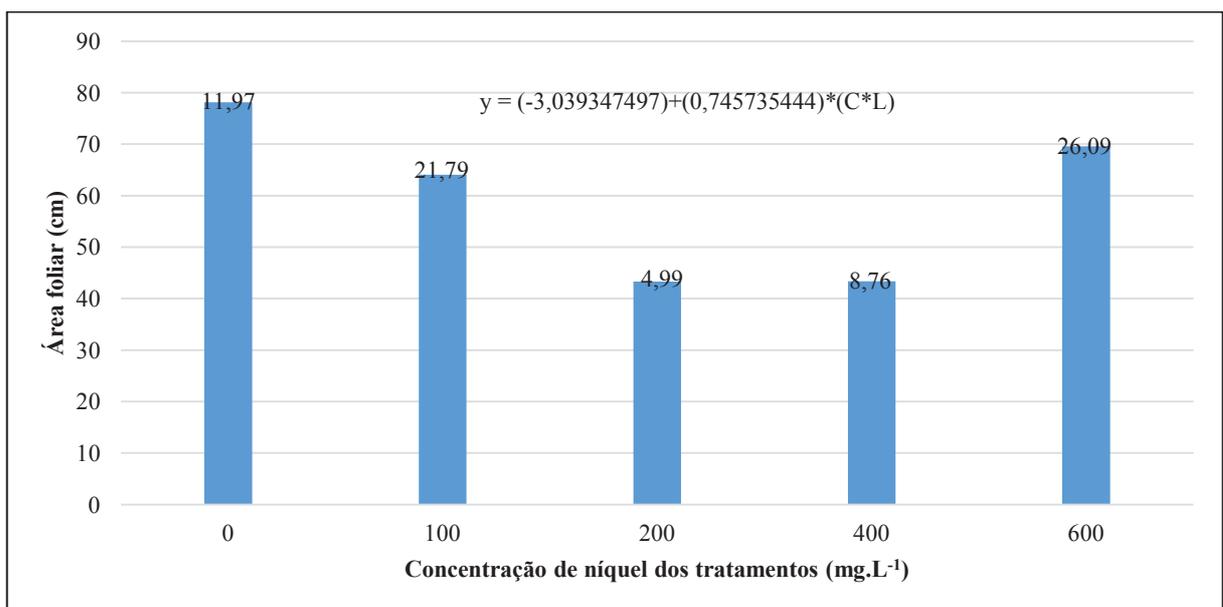


Figura 19. Dados médios da área foliar das mudas de *Guazuma ulmifolia* submetidas a diferentes concentrações de níquel.

Na figura, o valor acima de cada coluna corresponde ao desvio padrão da média do tratamento.

5.2.7. Concentração de níquel no solo após a retirada das mudas

As concentrações remanescentes de níquel no solo foram distintas do ponto de vista estatístico para os tratamentos de 0 a 600 mg.L⁻¹ (Tabela 20). Com efeito, os resultados de 0 a 400 mg.L⁻¹ de níquel foram considerados equivalentes e simultaneamente, dissemelhantes de 600 mg.L⁻¹ de níquel (Tabela 21).

Tabela 20. Análise de variância (ANOVA), com 95% de grau de confiança, da concentração de níquel restante no solo após a retirada das mudas de *Guazuma ulmifolia*.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
Entre grupos	47,69	4	11,92	17,29	<0,0001
Dentro dos grupos	10,35	15	0,69		
Total	58,03	19			

Tabela 21. Dados médios da concentração de níquel restante no solo após a retirada das mudas de *Guazuma ulmifolia*.

Concentração de níquel (mg.L ⁻¹)	Concentração de níquel no solo (mg.L ⁻¹)
0	0,80 a
100	1,55 a
200	1,48 a
400	2,08 a
600	5,20 b
p-valor (ANOVA)	<0,0001

Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Segundo Campos (2010), a determinação das quantidades de metais pesados no solo refere-se a sua movimentação no perfil, que depende conjuntamente das propriedades físico-químicas do íon metálico e de cada tipo de solo. Algumas características do solo, intimamente vinculadas ao aumento da quantidade do metal pela amplificação de sua mobilidade nesse compartimento de acúmulo, são: teores e tipos de argila, pH e teor de matéria orgânica (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001).

São propriedades que ao oscilarem suas condições, revalidam a ocorrência do níquel sob várias disposições, podendo estar: na solução do solo, sob a forma trocável e não trocável, em minerais e associado à matéria orgânica (MALAVOLTA; MORAES, 2007). Devendo-se salientar que tanto na porção aquosa do solo, quanto na trocável, o níquel irá se encontrar com a mobilidade amplificada, ou seja, com maior biodisponibilidade para ser absorvido pelas plantas.

O substrato em que as mudas de *G. ulmifolia* permaneceram durante o período experimental certamente manteve o níquel em alto grau de biodisponibilidade, posto que

possivelmente foi absorvido pela espécie em estudo na sua quase totalidade, sendo retirado do solo: 98,45; 198,5; 397,9 e 594,8 mg.L⁻¹ de níquel nos tratamentos de 100, 200, 400 e 600 mg.L⁻¹, respectivamente (Figura 20).

A aceleração da absorção de metais pesados pode ser ditada pelo próprio vegetal fitorremediador, através da liberação de exsudados radiculares. No entanto, são escassas as informações sobre o papel da exsudação na fitoextração de metais e não está definido se *G. ulmifolia* faz uso desse mecanismo, o que acentua a necessidade de elaboração de estudos com exsudados radiculares específicos que promovam a crescente absorção de metais, pois uma vez identificados, obter-se-á requisitos fundamentais para a modificação genética de plantas visando a produção de grupos vegetais que liberem os compostos em questão (NASCIMENTO; XING, 2006).

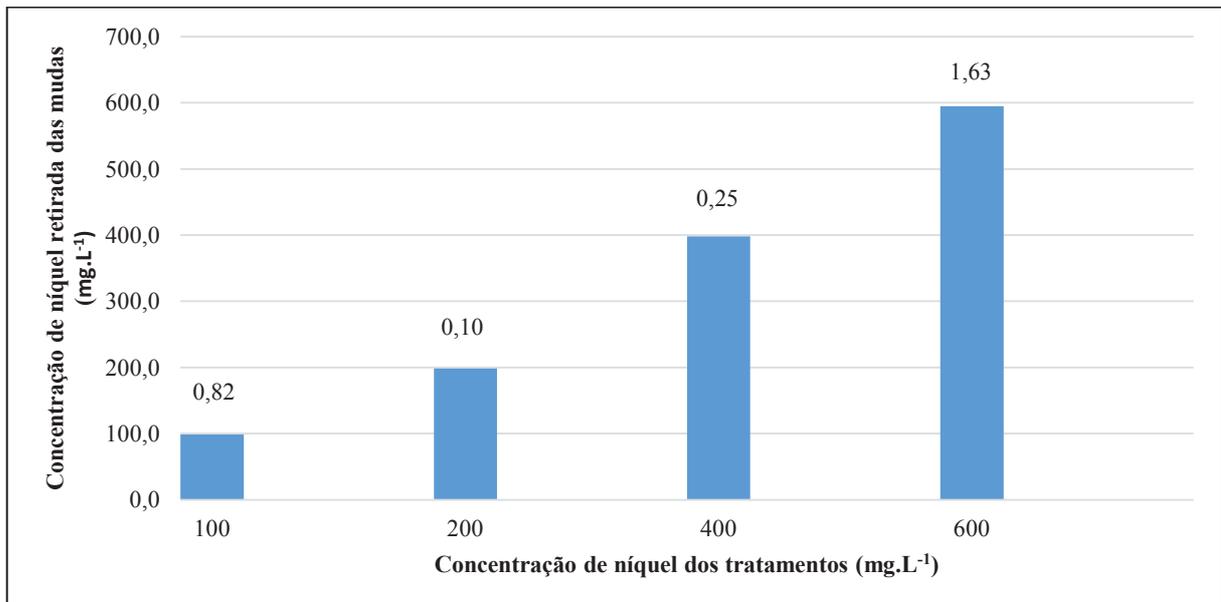


Figura 20. Dados médios da concentração de níquel absorvida pelas mudas de *Guazuma ulmifolia*.

Na figura, o valor acima de cada coluna corresponde ao desvio padrão da média do tratamento.

Mas para além da absorção proeminente de metais, há a indispensabilidade da planta de conter artifícios próprios de acumulação e desintoxicação de metais. Um dos artifícios é reconhecido por Baklanov (2011), por afirmar que a acumulação do níquel em células epidérmicas é uma das importantes adaptações ao seu elevado nível no conteúdo do solo, no que mais parece representar uma complexidade de eventos no organismo vegetal. Eventos que em resumo, são uma junção de episódios intracelulares que imobilizam, compartimentalizam, quelam e/ou retranslocam o metal para impedi-lo de causar toxicidade à planta (LARCHER, 2000).

Perante as performances intracelulares de remanejamento do metal, faz-se possível tolerar concentrações demasiadamente distantes dos limites pré-estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420. Como *G. ulmifolia*, que conseguiu sobreviver às concentrações de níquel (100 a 600 mg.L⁻¹) que se encontravam no limite ou acima dos valores tidos como uma alerta para investigação, sendo eles: 70 mg.Kg⁻¹ para solos agrícolas, 100 mg.Kg⁻¹ para solos residenciais e 130 mg.Kg⁻¹ para solos industriais (BRASIL, 2009). Entretanto, Sreekanth et al. (2013) partem do pressuposto que solos agrícolas podem conter de 3 a 1000 mg.Kg⁻¹ de níquel, chegando até a 24.000 mg.Kg⁻¹ quando próximo às refinarias, fato que instiga a realização de mais pesquisas que trabalhem com concentrações de níquel em *G. ulmifolia* e em outras espécies, cada vez mais elevadas.

6. CONCLUSÕES

- As concentrações de níquel não prejudicaram a germinação de *G. ulmifolia*.
- O comprimento radicular e a mortalidade das sementes de *G. ulmifolia* após a germinação foram significativamente influenciados pelas concentrações de níquel.
- O plantio direto de sementes de *G. ulmifolia* em áreas contaminadas demonstra ser um método pouco eficaz, pois o fato de as plântulas disporem de expressiva dificuldade para sobreviver a determinadas concentrações de níquel, obstaculiza a sua produção para fins de fitorremediação.
- As mudas de *G. ulmifolia* manifestaram ritmos de crescimento e desenvolvimento progressivos, possivelmente acumulando níquel em seus tecidos, uma vez que a concentração deste metal no solo foi reduzida de forma considerável ao final do período experimental. Uma circunstância que pode ter ocorrido devido às plantas absorverem íons de maneira não seletiva.
- *G. ulmifolia* em fase de muda possui potencial de tolerância a elevadas concentrações do metal pesado níquel, tornando-se promissora para programas de fitorremediação de solos contaminados pelo mesmo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOVAY, R. **Muito além da economia verde**. São Paulo: Editora Abril, 2012. p. 82.
- ADAM, F.I.M.; EL-ASHRY, Z.M. Evaluation of genotoxicity of 4-n-Nonylphenol using *Vicia faba* L. **Journal of Biological Sciences**, v. 10, n. 4, p. 382-372, 2010.
- ADAM, F.I.M.; EL-ASHRY, Z.M. Evaluation of genotoxicity of 4-n-nonylphenol using *Vicia faba* L. **Journal of Biological Sciences**, v. 10, n. 4, p. 368-372, 2010.
- AGUIAR, M.R.M.P.; NOVAES, A.C.; GUARINO, A.W.S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 6B, p. 1145-1154, 2002.
- ALVES, J.C.; SOUZA, A.P.; PÔRTO, M.L.; ARRUDA, J.A.; TOMPSON JÚNIOR, U.A.; SILVA, G.B.; ARAÚJO, R.C.; SANTOS, D. Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.1329-1336, 2008.
- AMARAL, M.A.B. **Poluição de solos por metais pesados na zona urbana de Ponta Delgada: implicações na saúde pública**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biomédicas) – Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 2012.
- ANDRADE, J.C.M.; TAVARES, S.R.L.; MAHLER, C.F. **Fitorremediação: o uso de plantas para a melhoria da qualidade ambiental**. Edição Digital. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- AQUINO, S.S.; CASSIOLATO, A.M. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares autóctones no crescimento de *Guazuma ulmifolia* em solo de cerrado degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1819-1823, dez. 2002.
- ATSDR. ATSDR A-Z Index. Disponível em: < <http://www.atsdr.cdc.gov/az/a.html>>. Acesso em: 2 mar. 2015.
- BAKLANOV, I.A. Heterogeneity of epidermal cells in relation to nickel accumulation in hyperaccumulator plants belonging to the genus *Alyssum* L. **Cell and Tissue Biology**, v. 5, n. 6, p. 603-611, 2011.
- BARBERO, L.M.; PRADO, T.F.; BASSO, K.C.; LIMA, L.A.; MOTTA, K.M.; KRÜGER, B.C.; MARTINS NETO, L.R.; SILVA, G.A.S. Análise de crescimento em plantas forrageiras

aplicada ao manejo de pastagens. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 19. n. 2, p. 71-85 jul./dez. 2013.

BARBOSA, A.S.; TEIXEIRA NETO, A.; GOMES, H. **Geografia: Goiás-Tocantins**. 2.ed. Goiânia: Editora da UFG, 2004. p. 197-224.

BARBOSA, I.O. **Modelo de depósito do complexo máfico-ultramáfico de Niquelândia, GO, com base em dados multitemáticos**. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

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

BOECHAT, C.L. **Biorremediação de solos contaminados por metais pesados em áreas de beneficiamento de minério de ouro**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BORGES JÚNIOR, M.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DUSSIN, T. M.; ABRAHÃO, W. A. P. Valores de referência local e avaliação da contaminação por zinco em solos adjacentes a áreas mineradas no município de Vazante-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p. 2883-2893, out./dez. 2008.

BRANDÃO, C.R.; ROCHA, E. **O jardim da vida**. Goiânia: Editora Kelps, 2004, p. 264-265.

BRASIL. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da União**, n. 249, p. 81-84, 2009.

CAIRES, S.M.; FONTES, M.P.F.; FERNANDES, R.B.A.; NEVES, J.C.L.; FONTES, R.L.F. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1181-1188, 2011.

CAMPANHARO, M.; MONNERAT, P.H.; ESPINDULA, M.C.; RABELLO, W.S. Resposta do feijoeiro ‘princesa’ cultivado em argissolo e neossolo à aplicação de níquel. **Interciencia**, Caracas, v. 38, n. 6, p. 465-470, jun. 2013.

CAMPOS, M.C.C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 6, n. 3, p.547-565, set./dez. 2010.

CARMO, C.A.; ABESSA, D.M.S.; MAHADO NETO, J.G. Metais em águas, sedimentos e peixes coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 64-70, 2011.

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1629-1638, nov. 2002.

CARVALHO, L.R.; SILVA, E.A.A.; DAVIDE, A.C. Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 15-25, 2006.

CETESB. Principais efeitos tóxicos. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/emergencias-quimicas/33-principais-efeitos-toxicos>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

CHAVES, L.H.; MESQUITA, E.F.; ARAUJO, D.L.; FRANÇA, C.P. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 167-176, abr/jun. 2010.

CHEN, C.; HUANG, D.; LIU, J. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. **Clean**, v. 37, n. 4-5, p. 304-313, 2009.

COSTA, C.R.; OLIVI, P.; BOTTA, C.M.R.; ESPINDOLA, E.L.G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

DEGENHARDT, B.; GIMMLER, H. Cell wall adaptations to multiple environmental stresses in maize roots. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 344, p. 595-603, mar. 2000.

DISANTE, K.B.; FUENTES, D.; CORTINA, J. Sensitivity to zinc of Mediterranean woody species important to restoration. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 10, p. 2216-2225, 2010.

DOMINGUES, T.C.G. **Teor de metais pesados em solo contaminado com resíduo de sucata metálica, em função de sua acidificação**. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agrônômico, Campinas, 2009.

DOWNES, R.G. **A institucionalização da conservação do solo e da água no Brasil**. Brasília: MA/SNAP/SRN/Coordenadoria de Conservação do Solo e da Água, 1984. p. 15.

DUARTE, M.R. DRANKA, E.R.K.; YANO, M. Análise microscópica foliar de mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam., Malvaceae). **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 7-17, jul./dez. 2011.

DUARTE, R.P.S.; PASQUAL, A. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na Agricultura**, v. 15, n. 1, p. 46-58, 2000.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**. Londrina: Editora Planta, 2006.

FALEIRO, F.G.; ANDRADE, S.R.M. Biotecnologia: uma visão geral. In: FALEIRO, F.G.; ANDRADE, S.R.M.; REIS JUNIOR, F.B (Org.). **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011. p. 13-29.

FERNANDES, F.R.C.; ALAMINO, R.C.J.; ARAUJO, E.R. (Eds.). **Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, ambientais e econômicos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014, p. 199.

FERNANDES, F.R.C.; ENRÍQUEZ, M.A.R.S.; ALAMINO, R.C.J. (Eds.). **Recursos minerais e sustentabilidade territorial: grandes minas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. p. 135-148.

FERREIRA, A.P.; WERMELINGER, E.D. Concentrações séricas de metais e suas implicações para a saúde pública. **Journal of the Health Sciences Institute**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 13-19, 2013.

FLÁVIO, J.J.P. **Divergência genética entre árvores matrizes de *Guazuma ulmifolia* Lam.** Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

GALINA, K.J.; SAKURAGUI, C.M.; ROCHA, J.C.B; LORENZETTI, E.R.; MELLO, J.C.P. Contribuição ao estudo farmacognóstico da mutamba (*Guazuma ulmifolia* - Sterculiaceae). **Acta Farmacéutica Bonaerense**, Buenos Aires, v. 24, n. 2, p. 225-233, 2005.

GOMES, M.P.; MARQUES, T.C.L.L.S.M.; NOGUEIRA, M.O.G.; SILVA, G.H.; CASTRO, E.M.; SOARES, A.M. Efeitos dos rejeitos da indústria de zinco na anatomia e crescimento de plantas jovens de *Salix humboldtiana* Willd. (salgueiro). **Hoehnea**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 135-142, 2011.

GRATÃO, P.L.; PRASAD, M.N.V.; CARDOSO, P.F.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Brasília, v. 17, n. 1, p. 53-64, 2005.

GUALA, S.D.; VEGA, F.A.; COVELO, E.F. The dynamics of heavy metal in plant - soil interactions. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 8, p. 1148-1152, apr. 2010.

GUARIM NETO, G.; MORAIS, R.G. Recursos medicinais de espécies do Cerrado de Mato Grosso: um estudo bibliográfico. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 17, n. 4, p. 561-584, 2003.

GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; VIANA, J.S.; GONÇALVES, E.P.; SANTOS, S.R.N.; COSTA, E.G. Tratamentos pré-germinativos e temperaturas para a germinação de sementes de *Apeiba tibourbou* Aubl. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 131-140, 2011.

GUIMARÃES, M.A.; SANTANA, T.A.; SILVA, E.V.; ZENZEN, I.L.; LOUREIRO, M.E. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 1, n. 3, p. 58-68, 2008.

GUO, X.Y; ZUO, Y.B.; WANG, B.R.; LI, J.M.; MA, Y.B. Toxicity and accumulation of copper and nickel in maize plants cropped on calcareous and acidic field soils. **Plant and Soil**, v. 333, p. 365-373, 2010.

HALIM, M.; CONTE, P.; PICCOLO, A. Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances. **Chemosphere**, v. 52, n. 1, p. 265-275, july. 2003.

HALL, J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 366, p. 1-11, 2002.

IBGE. Censo de 2010 do in. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_goias.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2015.

IBGE. Niquelândia Goiás. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/goias/niquelandia.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2015.

IMBELLONI, A.M. **Concentração do minério de níquel da mineração Fortaleza de Minas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

IORI, V.; PIETRINI, F.; CHEREMISINA, A.; SHEVYAKOVA, N.I.; RADYUKINA, N.; KUZNETSOV, V.V.; ZACCHINI, M. Growth responses, metal accumulation and phytoremoval capability in *Amaranthus* plants exposed to nickel under hydroponics. **Water Air Soil Pollut**, v. 224, p. 1450-1459, 2013.

JARDIM, A.N.O.; CALDAS, E.D. Exposição humana a substâncias químicas potencialmente tóxicas na dieta e os riscos para saúde. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1898-1909, 2009.

JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 9.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 315-323.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC Press, 2010. p. 105 e 237-245.

KIRKBY, E.A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Encarte do Informações Agronômicas**, n. 118, 2007.

LAMEGO, F.P.; VIDAL, R.A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição?. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 9-18, jan./dez. 2007.

LANGE, A.; MARTINES, A.M.; SILVA, M.A.C.; SORREANO, M.C.M.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 61-67, jan. 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução de Carlos Henrique Britto de Assis Prado. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. p. 464-531.

LI, W.; KHAN, M.A.; YAMAGUCHI, S.; KAMIYA, Y. Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Growth Regulation**, v. 46, p. 45-50, 2005.

LIMA, V.F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, p. 199-205, nov. 2011.

LINS, J.A.P.N., KIRSCHNIK, P.G., QUEIROZ, V.S., CIRO, S.M. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 469-484, out./dez. 2010.

LOPES, C.M.; ANDRADE, I.; PEDROSO, V.; MARTINS, S. Modelos empíricos para estimativa da área foliar da videira na Costa Jaen. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 19, n. 2, p. 61-75, 2004.

LOPES, J.F.; COELHO, F.C.; RANGEL, O.J.P.; RABELLO, W.S.; GRAVINA, G.A.; VIEIRA, H.D. Adubação foliar com níquel e molibdênio no feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 234-240, mar/abr, 2014.

LOUREIRO, D.; FERNANDEZ, M., HERMS, F.; ARAÚJO, C.; LACERDA, L.D. Distribuição dos metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 353-364, jun./set. 2012.

LUCCHESI, A.A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 41, n. 1, p.181-202, 1984.

MACÊDO, L.S.; MORRIL, W.B.B. Origem e comportamento dos metais fitotóxicos: revisão da literatura. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 2, n. 2, p. 29-38, jun. 2008.

MACNAIR, M.R.; BAKER, A.J.M. Metal-tolerant plants: an evolutionary perspective. In: FARAGO, M.E (Org.). *Plants and the chemical elements*. New York, Basel, Cambridge, Tokyo: VCH, 1994, p. 67-85.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Níquel – de tóxico a essencial. **Informações agronômicas**, n. 118, jun. 2007.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F.; LAVRES JÚNIOR, J.; MALAVOLTA, M. Micronutrientes e metais pesados – essencialidade e toxidez. In: PATERNIANI, Ernesto

(Org.). *Ciência, agricultura e sociedade*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 117-154.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado por metais pesado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 121-132, jan. 2000.

MARTINS, S.V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. 3ª ed. Viçosa-MG: Editora Aprenda Fácil, 2013. 264p.

MAZZUCO, K.T.M. **Uso da *Canavalia ensiformis* como fitorremediador de solos contaminados por chumbo**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MECHI, A.; SACHES, L.D. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MELLO, F.A.F.; SOBRINHO, M.O.C.B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO, A.C.; KIEHL, J.C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Editora Nobel, 1983. p. 381.

MELO, E.E.C.; NASCIMENTO, C.W.A.; SANTOS, A.C.Q. Solubilidade, fracionamento e fitoextração de metais pesados após aplicação de agentes quelantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 1051-1060, nov./dez, 2006.

MELOTTO, A.; NICODEMO, M.L.; BOCCHESI, R.A.; LAURA, V.A.; GONTIJO NETO, M.M. SCHLEDER, D.D.; POTT, A.; SILVA, V.P. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil Central indicadas para sistemas silvipastoris. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 425-432, 2009.

MME. **Plano nacional de mineração 2030**. Brasília, 2011. p. 116.

MME. **Relatório técnico 64**: perfil do níquel. [S.l.], 2009. p. 9.

MORAES, C.L.; MARINI, P.; FERNANDO, J.A.; MORAES, D.M.; CASTRO, L.A.S.; LOPES, N.F. Alterações fisiológicas e ultraestruturais de plântulas de tomate induzidas por chumbo. **IHERINGIA, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 69, n. 2, p. 313-322, dez. 2014.

MORAES, D.S.L.; JORDÃO, B.Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MOREIRA, F.R.; MOREIRA, J. A importância da análise de especiação do chumbo em plasma para a avaliação dos riscos à saúde. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 251-260, mar./abr. 2004.

MOREIRA, F.R.; MOREIRA, J.C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública/Pan American Journal of Public Health**, Washington, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2004.

MOREIRA, H.; MARQUES, A.P.G.C.; RANGEL, A.O.S.S.; CASTRO, P.M.L. Heavy metal accumulation in plant species indigenous to a contaminated Portuguese Site: prospects for phytoremediation. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 221, n. 1-4, p. 377-389, mar./apr. 2011.

MORTATTI, J.; MORAES, G.M.; KIANG, C.H. Distribuição e possível origem de metais pesados nos sedimentos de fundo ao longo da bacia do alto Rio Tietê: aplicação da normalização geoquímica sucessiva. **Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 175-184, 2012.

MOTTA, M.S.; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, R.A. longevidade de sementes de mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam. Sterculiaceae) no solo em condições naturais. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 7-14, 2006.

MUNIZ, D.H.F.; OLIVEIRA-FILHO, E.C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, Brasília, v. 4, n. 1-2, p. 83-100, 2006.

NASCIMENTO, C.W.A.; XING, B. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 3, p. 299-311, may/june. 2006.

NASSIF, S.M.L.; PEREZ, S.C.J.G. Efeitos da temperatura na germinação de sementes de amendoim-do-campo (*Pterogyne nitens* Tul.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 1-6, 2000.

NEUMANN, P.M.; CHAMEL, D. Comparative Phloem Mobility of Nickel in Nonsenescent Plants. **Plant Physiology**, v. 81, p. 689-691, 1986.

NEVES, O.S.C.; FERREIRA, E.V.O.; CARVALHO, J.G.; SOARES, C.R.F.S. Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 485-490, 2007.

NISHIDA, S.; TSUZUKI, C.; KATO, A.; AISU, A.; YOSHIDA, J.; MIZUNO, T. AtIRT1, the primary iron uptake transporter in the root, mediates excess nickel accumulation in *Arabidopsis thaliana*. **Plant and Cell Physiology**, v. 52, n. 8, p. 1433–1442, 2011.

NUNES, Y.R.F.; FAGUNDES, M.; SANTOS, R.M.; DOMINGUES, E.B.S.; ALMEIDA, H.S.; GONZAGA, A.P.D. Atividades fenológicas de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) em uma floresta estacional decidual no norte de Minas Gerais. **Lundiana**, v. 6, n. 2, p. 99-105, 2005.

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

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Mobilidade de metais pesados em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 807-812, out./dez. 2001.

OLIVEIRA, S.M.B. Estágio atual do conhecimento acerca do minério laterítico de níquel no Brasil e no mundo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 49-57, jul./dez. 1990.

ORTOLANI, F.A.; MELLONI, M.N.G.; MARIOTTO, C.F.G.; MORO, J.R. Caracterização citogenética em *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Mimosoideae) e *Guazuma ulmifolia* Lam. (Sterculiaceae). **Acta Botânica Brasileira**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 299-303, 2010.

PAIVA SOBRINHO, S.; SIQUEIRA, A.G. Caracterização morfológica de frutos, sementes, plântulas e plantas jovens de mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam. – Sterculiaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 1, p.114-120, 2008.

PAIVA SOBRINHO, S.; SIQUEIRA, A.G.; MORAIS, P.B.; SILVA, S.J. Superação da dormência em sementes de mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam. - Sterculiaceae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 797-802, 2012.

PAIVA, H.N.; CARVALHO, J.G.; SIQUEIRA, J.O. Teor de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de níquel, em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 279-284, 2002.

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

PASCALICCHIO, A.E. **Contaminação por metais pesados: saúde pública e medicina ortomolecular**. 1.ed. São Paulo: Annablume, 2002. p. 27-29.

PATRÍCIO, R.L. **Avaliação de métodos de revegetação de áreas degradadas utilizados na mineração de níquel em Niquelândia Goiás**. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2009.

PAULA, M. Inimigo invisível: metais pesados e saúde humana. **Periódico Tchê Química**, Porto Alegre, v. 3, n. 6, p. 37-44, 2006.

PEIXOTO, C.O.; CRUZ, T.V.; PEIXOTO, M.F.S.P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.

PEREIRA, B.F.F. **Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de-porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical/Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico, Campinas, 2005.

PEREIRA, M.P.; PEREIRA, F.J.; RODRIGUES, L.C.A.; BARBOSA, S.; CASTRO, E.M. Fitotoxicidade do chumbo na germinação e crescimento inicial de alface em função da anatomia radicular e ciclo celular. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 36-43, jan./abr. 2013.

PROCÓPIO, S.O.; PIRES, F.R.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. **Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 10 p.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. Biologia vegetal. Tradução de Lázaro Eustáquio Pereira Peres. **Nutrição Vegetal e Solos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. p. 698-719.

REIS, A.R.; RODAK, B.W.; PUTTI, F.F.; MORAES, M.F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 147, p. 10-24, set. 2014.

REVISTA DO CREA-GO. Goiânia: Editora Ltda, nov. 2009.

RIBEIRO, N.D.; SANTOS, O.S. Aproveitamento do Zn aplicado na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159-165, 1996.

RIGON, J.P.G.; BRITO NETO, J.F.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N.E.M.; SILVA, F.V.F. Utilização de nitrogênio e níquel durante o crescimento do algodão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1019-1026, 2011.

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A.M.M.A.; FURLANI, P.R.; ABREU, C.A.; PEREIRA, B.F.F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia Ensiformes* L. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007.

RÖMHELD, V.; MIROSLAV, N. Iron. In: BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J (Org.). Handbook of plant nutrition. Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2006. p. 325-350.

SAMPAIO, A.C.S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da Bacia do Alto Paraguai**. Dissertação (Mestrado emW Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2003.

SANTOS, C. F.; NOVAK, E. Plantas nativas do Cerrado e possibilidades em fitorremediação. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 7, n. 1, p. 67-78, jul. 2013.

SANTOS, G.C.G.; ABREU, C.A.; CAMARGO, O.A.; ABREU, M.F. Pó-de-aciaria como fonte de zinco para o milho e seu efeito na disponibilidade de metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, p. 257-266, 2002.

SANTOS, P.L. **Semeadura direta com espécies florestais nativas para recuperação de agroecossistemas degradados**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

SCALON, S.P.Q.; MUSSURY, R.M.; EUZÉBIO, V.L.M.; KODAMA, F.M. KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out./dez. 2011.

SCHAT, B.H.; VOOIJS, R. Multiple tolerance and co-tolerance to heavy metals in *Silene vulgaris*: a co-segregation analysis. **New Phytologist**, v. 136, p. 489-496, 1997.

SEPLAN. **Conjuntura Econômica Goiana**. Goiânia: Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento, 2005. p. 17.

SERBULA, S.M.; MILJKOVIC, D.D.; KOVACEVIC, R.M.; ILIC, A.A. Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 76, p. 209-214, 2012.

SHARMA, A.; DHIMAN, A. Nickel and Cadmium toxicity in plants. **Journal of Pharmaceutical and Scientific Innovation**, v. 2, n. 2, p. 20-24, mar./apr. 2013.

SILVA, A.H.; PEREIRA, J.S.; RODRIGUES, S.C. Desenvolvimento inicial de espécies exóticas e nativas e necessidade de calagem em área degradada do Cerrado no triângulo mineiro (Minas Gerais, Brasil). **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v. 29, n. 2, p. 287-292, 2011.

SILVA, C.G.; MARINHO, M.G.V.; ANSELMO, A.F. Levantamento preliminar da interação *Guazuma ulmifolia* Lam. com os moradores do perímetro irrigado do município de Icó, Ceará, Brasil. **Revista de Biologia e Farmácia**, v. especial, p. 49-54, 2012.

SILVA, S.A.; TECHIO, V.H.; CASTRO, E.M.; FARIA, M.R.; PALMIERI, M.J. Reproductive, cellular, and anatomical alterations in *Pistia stratiotes* L. plants exposed to cádmium. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 224, p. 1454-1461, 2013.

SILVA, S.R, PROCÓPIO, S.O; QUEIROZ, T.F.N; DIAS, L.E. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilização de metais pesados e arsênio e revegetação local. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 189-196, jan./fev. 2004.

SILVA, W.Z.; BRINATE, S.V.B.; TOMAZ, M.A.; AMARAL, J.F.T.; RODRIGUES, W.N.; MARTINS, L.D. Métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 746-759, 2011.

SIRKO, A.; BRODZIK, R. Plant ureases: roles and regulation. **Acta Biochimica Polonica**, v. 47, n. 4, 1189 - 1195, 2000.

SOARES, C.R.F.S.; GRAZZIOTTI, P.H.; SIQUEIRA, J.O.; CARVALHO, J.G.; MOREIRA, F.M.S. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, p. 339-348, fev. 2001.

SOARES, C.R.F.S.; SIQUEIRA, J.O.; CARVALHO, J.G.; MOREIRA, F.M.S.; GRAZZIOTTI, P.H. Crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com concentração crescente de cobre. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 213-225, 2000.

SREEKANTH, T.V.M.; NAGAJYOTHI, P.C.; LEE, K.D.; PRASAD, T.N.V.K.V. Occurrence, physiological responses and toxicity of nickel in plants. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 10, n. 5, p. 1129-1140, may./ mar. 2013.

STETSENKO, L.A; SHEVYAKOVA, N.I.; YU. RAKITIN, V.; V. KUZNETSOV, VI.V. Proline protects *Atropa belladonna* plants against nickel salt toxicity. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 58, n. 2, p. 337-343, 2011.

SUSAYA, J.P.; KIM, K.H.; ASIO, V.B.; CHEN, Z.S.; NAVARRETE, I. Quantifying nickel in soils and plants in an ultramafic area in Philippines. **Environmental Monitoring and Assessment**, Netherland, v. 167, n. 1-4, p. 505-514, aug./july. 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2006. p.395-397.

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

TAVARES, T.M.; CARVALHO, F.M. Avaliação da disposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do recôncavo baiano. **Química Nova**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 147-154, 1992.

THAPA, G.; SADHUKHAN, A.; PANDA, S.K.; SAHOO, L. Molecular mechanistic model of plant heavy metal tolerance. **Biometals**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 489-505, 2012.

TRANNIN, I.C.B; MOREIRA, F.M.S; SIQUERA, J.O. Crescimento e nodulação de *Acacia mangium*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Sesbania virgata* em solo contaminado com metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p.743-753, 2001.

VACULÍK, M.; KONLECHNER, C.; LANGER, I.; ADLASSNIG, W., PUSCHENREITER, M., LUX, A.; HAUSER, M.T. Root anatomy and elemento distribution vary between two *Salix caprea* isolates with different Cd accumulation capacities. **Environmental Pollution**, v. 163, p. 117-126, 2012.

VASCONCELLOS, M.C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V.S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia, Ambiente e Diversidade**, Curitiba, v. 34, n. 83, p. 261-267, jul./dez. 2012.

VILLELA, F.A.; MARCOS FILHO, J.; NOVENBRE, A.D.L.C. Estado energético da água na semente de milho no processo de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 95-100, 2003.

VILLELA, M.M.; FERRAZ, M.L. Dicionário de ciências biológicas e biomédicas. São Paulo: Atheneu, 2007. p. 267.

VIRGA, R.H.P.; GERALDO, L.P.; SANTOS, F.H. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 779-785, out./dez. 2007.

ZEITOUNI, A.F.; BERTON, R.S.; ABREU, C.A. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 649-657, 2007.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico**. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico, Campinas, 2003.