

Alterações morfofisiológicas da aplicação de metais pesados e alumínio em plantas jovens de seringueira

Ivana Cristina Ferreira Santos¹, Luiz Edson Mota de Oliveira²,
Alessandro Carlos Mesquita³, Marilza Neves do Nascimento⁴;
Genaina Aparecida de Souza⁵; Lisandro Tomas da Silva Bonome⁶

¹ Universidade Vale do Rio Doce - UNIVALE, Faculdade de Ciências Agrárias, Rua Israel Pinheiro nº 2000, Governador Valadares, MG, CEP 35020-220, Governador Valadares, MG, Brasil. Email: ivancristina@univale.br

² Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Biologia, Campus Universitário, Lavras, MG, CEP 37200-000, Lavras, MG, Brasil. Email: ledson@dbi.ufla.br

³ Universidade do Estado da Bahia - UNEB, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Campus III, Avenida Dr. Edgard Chatisnet Guimarães, s/n, São Geraldo, CEP 48905-680, Juazeiro, BA, Brasil. Email: alessandro.mesq@yahoo.com.br

⁴ Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, Departamento de Biologia, Avenida Transnordestina, s/n, Novo Horizonte, Feira de Santana - BA, CEP 44036-900, Feira de Santana, BA, Brasil. Email: marilzaagro@hotmail.com

⁵ Universidade Federal de Viçosa - UFV, Departamento de Biologia, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Viçosa, MG, CEP 36570-900, Viçosa, MG, Brasil. Email: genainasouza@yahoo.com.br

⁶ Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, Campus Laranjeiras do Sul, Rodovia BR 158, Km 405, Laranjeiras do Sul, PR, CEP 85301-970, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil. Email: lisandro.bonome@uffs.edu.br

ISSN 2448-0479

Resumo – Os metais pesados são importantes poluentes ambientais e a sua toxicidade é um problema de importância crescente, geralmente, em solos localizados próximos a complexos industriais, perímetros urbanos e em áreas rurais de intensa tecnologia, sendo que, as espécies vegetais devem ser avaliadas quanto à sua capacidade de tolerância a esse tipo de estresse. Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações morfofisiológicas em plantas jovens de seringueira quando cultivadas em soluções com diferentes concentrações de Al e dos metais pesados, Cd, Ni e Zn. Trinta dias após a germinação, as plantas foram transplantadas para bandejas com capacidade para 30 L contendo solução nutritiva de Bolle-Jones modificada, onde permaneceram por cento e vinte dias. Transcorrido este período, adicionou-se à solução nutritiva os metais pesados nas seguintes concentrações: Cd: 0, 30, 45 e 60 ppm; Ni: 0, 1,7, 3 e 5 ppm; Zn: 0, 16,6, 25 e 33 ppm; e Al: 0, 28, 48 e 96 ppm. Após 120 dias na solução nutritiva com metais pesados avaliaram-se os seguintes parâmetros: número médio de estômatos, resistência estomática, transpiração; eficiência fotoquímica do fotossistema II e atividade da enzima Redutase do Nitrato (RN). Incrementos nas concentrações de Al até 96 ppm, de Ni até 3 ppm e de Zn

até 16,6 ppm aumentam a resistência estomática e diminuem a taxa de transpiração das plantas de seringueira. Os valores de Fv/Fm, em plantas de seringueira, oscilam em função do período de avaliação e da concentração dos metais pesados Cd, Ni e Zn e do elemento químico Al. Incrementos nas concentrações de Cd, Ni e Zn reduzem a densidade estomática de plantas de seringueira. A atividade da enzima Redutase do nitrato, em plantas de seringueira, é reduzida na presença dos metais pesados Cd, Ni e Zn e do elemento químico Al.

Palavras-chave: Cádmiu. Níquel. Zinco. Alumínio. Fitotoxicidade.

Abstract – Heavy metals are important environmental pollutants, and its toxicity is an issue of growing importance, usually in soils located near industrial complexes, urban districts and rural areas of intense technology, whereas, the plants should be evaluated for their ability to tolerate this type of stress. This study aimed to evaluate the morphological and physiological changes in young rubber tree plants when grown in solutions with different concentrations of Al and heavy metals, Cd, Ni and Zn. Thirty days after germination, seedlings were transplanted into

trays with a capacity of 30L containing nutrient solution modified Bolle-Jones where they stayed for one hundred and twenty days. Elapsed this period added to the nutrient solution in the following concentrations heavy metals (Cd: 0, 30, 45 e 60 ppm; Ni: 0, 1,7, 3 e 5 ppm; Zn: 0, 16,6, 25 e 33 ppm; e Al: 0, 28, 48 e 96 ppm). After one hundred twenty days in nutrient solution containing heavy metals evaluated the following parameters: mean number of stomata, stomatal conductance and transpiration; photochemical efficiency of photosystem II and enzyme activity of nitrate reductase (NR). Higher concentrations of Al up to 96 ppm, Ni up to 3 ppm and Zn up to 16,6 ppm increase stomatal resistance and reduce the rate of transpiration of rubber plants. The values of maximum photochemical efficiency (F_v / F_m) in rubber tree fluctuate depending on the evaluation period and the concentration of heavy metals Cd, Ni and Zn and Al chemical element. Increases in concentrations of Cd, Ni and Zn reduce stomatal density of rubber plants. The enzyme nitrate reductase (NR) in rubber tree had a reduced activity in the presence of heavy metals Cd, Ni and Zn and Al chemical element.

Keywords: Cadmium. Nickel. Zinc. Aluminum. Phytotoxicity.

Recebido em: 21 de março de 2016.

Aprovado em: 16 de junho de 2016.

1 INTRODUÇÃO

Os metais pesados são elementos químicos que apresentam elevada massa específica, variando entre 3,5 e 7,0 g/cm³, massa atômica superior a 23 e número atômico maior do que 20 (DUFFUS, 2002). Estes elementos ocorrem naturalmente no solo, sendo que alguns deles, como o cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e Níquel (Ni), em pequenas concentrações, constituem nutrientes essenciais ao desenvolvimento de plantas, entretanto, quando presentes em elevadas concentrações, podem causar danos ao ambiente e à cadeia alimentar (CEMPEL; NIKEL, 2006; CHAVES et al., 2010; GÖHRE; PASZKOWSKI, 2006).

As fontes antropogênicas de metais pesados são oriundas das atividades industriais, agrícolas e urbanas (ALI; KHAN; SAJAD, 2013; NICHOLSON et al., 2003), sendo o solo um dos principais receptores de tais metais. A toxicidade do metal pesado varia com a espécie de planta, do metal específico, concen-

tração da forma química, pH e composição do solo (NAGAJYOTI et al., 2010).

O alumínio (Al) é o terceiro elemento químico mais frequente na crosta terrestre. Sua toxicidade deve-se aos efeitos causados nas células, como alterações nas membranas biológicas, inibição da síntese de DNA e da divisão celular, inibição da expansão celular, desordem na homeostase de cálcio e alterações na absorção de nutrientes e no balanço nutricional (BARCELÓ; POSCHENRIEDER, 2002; OLIVEIRA; RENA, 1989; YAMAMOTO et al., 2003).

O cádmio (Cd) é um metal encontrado principalmente em fertilizantes, corretivos e fungicidas. Sua toxidez causa redução da atividade fotossintética (BURZYNSKI; KLOBU, 2004; DIAS et al., 2013), provoca alterações morfofisiológicas nas plantas e distúrbios metabólicos do sistema fonte e dreno (ROY et al., 2016), além de interferir na absorção, transporte e utilização de vários elementos minerais (Ca, Mg, P e K) e água pelas plantas (DIAS et al., 2013; DAS et al., 1997) e reduzir a absorção de nitrato e seu transporte das raízes para a parte aérea por inibição da atividade da redutase do nitrato na parte aérea (HERNANDEZ et al., 1996).

O Níquel (Ni) pode afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas, interferindo na absorção e metabolismo de ferro (Fe), diminuindo a concentração de clorofila e prejudicando a fotossíntese (NAGAJYOTI et al., 2010). A sua fitotoxicidade é resultado de distúrbios causados no ciclo de Calvin, promovendo acúmulo de ATP e NADPH e inibição da etapa fotoquímica (KRUPA et al., 1993).

O zinco (Zn) é um importante componente de muitas enzimas, porém é tóxico em altas concentrações podendo retardar o crescimento de plantas, inibir a expansão das células da raiz, causar ruptura da membrana plasmática e desorganização de organelas (ROUT; DAS, 2013) e causar distúrbios em vários processos fisiológicos essenciais.

Ao mesmo tempo em que a contaminação com metais pesados afeta o crescimento, a distribuição e o ciclo biológico das espécies vegetais (BARCELÓ; POSCHENRIEDER, 1992), a vegetação é uma alternativa para a recuperação de solos contaminados pelo excesso desses elementos (MARQUES et al., 2000). A quantidade absorvida pela planta depende da concentração do metal pesado e da disponibilidade no solo, sendo esta última dependente do pH (ALMEIDA et al., 2007) e a sua translocação pela planta

depende da espécie vegetal, do metal e das condições ambientais (LIU et al., 2007).

Apesar da frequente preocupação com aspectos ecológicos e ambientais, no que diz respeito ao excesso de metais pesados no sistema solo-planta, pouca ênfase tem sido dada ao efeito desses elementos sobre a flora arbórea tropical. Devido às suas características de crescimento, as espécies arbóreas podem se tornar alternativa viável para a recuperação de solos contaminados com metais pesados, uma vez que estas espécies imobilizam os metais absorvidos por mais tempo em seus tecidos, reduzindo os impactos ambientais destes elementos (PULFORD; WATSON, 2003).

Outro aspecto a ser considerado na escolha das espécies extratoras de metais pesados do ambiente é que a mesma não seja utilizada na cadeia alimentar, devido ao fato de poder causar danos aos animais. Neste contexto, a seringueira surge como uma alternativa por ser uma planta de ciclo perene e que produz látex, utilizado para fazer borracha natural, não oferecendo riscos a cadeia alimentar (NERY et al., 2009).

Assim, o estudo do comportamento das espécies florestais, mais especificamente a seringueira, frente ao estresse abióticos por metais pesados e o entendimento dos processos anatômicos e fisiológicos envolvidos na capacidade de resposta, adaptação e tolerância das mesmas representa um importante tópico de pesquisas.

Diante do exposto, o presente estudo teve por finalidade avaliar as alterações morfofisiológicas em plantas jovens de seringueira quando cultivadas em soluções com diferentes concentrações de Al e dos metais pesados, Cd, Ni e Zn.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Biologia/Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras, MG.

As sementes de seringueira foram semeadas em bandejas plásticas com 6 L de areia previamente peneirada em malha de 2 mm. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ com irrigação sendo realizada sempre que necessário. Aos 30 dias após a germinação, as plântulas foram transplantadas para vasos com capacidade para 8,0 L, pintados externamente de alumínio, de maneira a impedir a entrada de luz, evitando-se, assim, a proliferação de algas. Os vasos continham solução nutritiva de Bolle-Jones (1957) modificada (Tabela 1) com força iônica de 20%. No decorrer do experimento, a cada 28 dias, a força iônica da solução nutritiva foi aumentada para 33%, 50% e 100%.

O pH das soluções, durante o período experimental, foi mantido a $5,5 \pm 0,5$, ideal para cultivo hidropônico, com exceção da solução de Al, cujo pH foi mantido em $4,0 \pm 0,5$ (SOUZA, 1991). As trocas das soluções foram realizadas periodicamente, quando a condutividade elétrica atingia $60\% \pm 10\%$ da concentração inicial utilizada, em torno de dez dias. As plantas foram mantidas durante 120 dias em solução nutritiva completa, atingindo um comprimento padrão em torno de 40 cm.

Após esse período, foi adicionada a solução nutritiva as fontes de metais pesados, cádmio (Cd), níquel (Ni), zinco (Zn) e alumínio (Al) em diferentes concentrações conforme Tabela 2. As plantas foram mantidas por 120 dias em exposição aos metais pesados, com renovação da solução nutritiva a cada 10 dias.

Tabela 1 - Fontes, molaridade, solução estoque e composição final da solução nutritiva de Bolle-Jones (1957) modificada utilizada para a condução dos experimentos.

Fonte/solução estoque	Molaridade	mL L ⁻¹	Concentração (ppm)
NaH ₂ PO ₄	1M	1	31 de P
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1M	2	80 de Ca
KNO ₃	1M	1	
K ₂ SO ₄	0,5M	2	117 de K
MgSO ₄	0,5M	2,5	30 de Mg
(NH ₄) ₂ SO ₄	1M	1,5	120 de S
			112 de N
Solução A*		1	
Fe – EDTA		1	

* Solução A consiste em dissolver, separadamente, misturar e completar para 1L: 0,4122g de H₃BO₃; 1,98g de MnCl₂; 0,24968g de CuSO₄·5H₂O; 0,0431g de MoO₃; 0,28755g de ZnSO₄·7H₂O.

Tabela 2 - Concentrações e fontes de metais pesados utilizados nos tratamentos.

Metal	Concentração (ppm)	Fonte
Cádmio	0; 30; 45 e 60	$\text{CdCl}_2 \cdot 2,5 \text{H}_2\text{O}$
Níquel	0; 1,7; 3,3 e 5,0	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Zinco	0; 16,6; 25 e 33,3	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Alumínio	0, 28; 48 e 96	AlSO_4

As concentrações de Cd, Ni e Zn foram definidas de acordo com experimentos realizado por Paiva et al. (2002) e Soares et al. (2001) e por um experimento teste, realizado seis meses antes da implantação do presente trabalho. Por outro lado, as concentrações de Al foram definidas considerando-se o comportamento de mudas de seringueira em experimento realizado por Souza (1991).

Após 120 dias da aplicação dos metais, foram realizadas avaliações de características biofísicas, resistência estomática e transpiração, utilizando-se o porômetro (Steady State Porometer, LICOR 1600) às 9 horas da manhã. Essas avaliações foram feitas em dias típicos, ou seja, claros, sempre em folhas completamente expandidas, na face abaxial das mesmas.

A eficiência fotoquímica do fotossistema II foi avaliada por meio de um fluorômetro portátil (Plant Efficiency Analyser- Hansatech, King's Lynn, Norfolk, UK). A medição da fluorescência rápida "in vivo" foi realizada em folhas pré-condicionadas no escuro durante 30 minutos. As avaliações foram realizadas em folhas completamente expandidas, em dias claros, a partir das 10 horas da manhã. Foram realizadas quatro avaliações no período de setembro, outubro, novembro e dezembro, em uma folha por planta, com três repetições por tratamento.

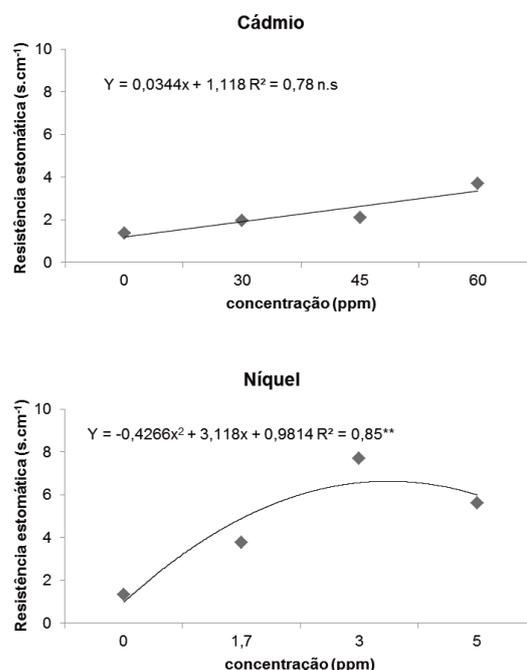
Para avaliar a atividade da redutase do nitrato (RN) 30, 60 e 90 dias após aplicação dos tratamentos, foram pesados 500 mg de raízes laterais e seguiu-se protocolo descrito por Delú Filho et al. (1997). A quantidade de nitrito formado durante a reação foi determinada colorimetricamente por espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da RN foi expressa em mmol de $\text{NO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ massa fresca h^{-1} .

O número médio de estômatos nas folhas foi avaliado ao final do experimento, quando o material coletado foi fixado em álcool 70%. Foram realizados cortes paradérmicos pelo método da dissociação de epidermes, com cloreto de potássio e ácido nítrico, segundo metodologia descrita por Labouriau et al. (1961).

Todas as características foram avaliadas seguindo um delineamento experimental em blocos casualizados com quatro tratamentos (Cd, Ni, Zn, Al), quatro concentrações (Cd: 0, 30, 45 e 60 ppm; Ni: 0, 1,7, 3 e 5 ppm; Zn: 0, 16,6, 25 e 33 ppm; e Al: 0, 28, 48 e 96 ppm) e quatro repetições por tratamento, totalizando 64 parcelas. Cada parcela foi representada por um vaso com quatro plantas, perfazendo, assim, um total de 16 plantas em cada concentração do elemento estudado. Foi realizada análise de variância utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2002) pelo qual foram ajustadas as equações de regressão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características biofísicas foram avaliadas após 120 dias de aplicação dos metais pesados, sendo que no momento das avaliações, dentro da casa de vegetação, a radiação fotossinteticamente ativa apresentou valores em torno $400 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Pode-se observar pela Figura 1, incremento na resistência estomática com o aumento da concentração do elemento químico Al na solução nutritiva. Comportamento diferente foi observado para as plantas submetidas ao tratamento com Ni e Zn, as quais apresentaram maior resistência estomática quando continham 3 e 16,6 ppm na solução nutritiva respectivamente, diminuindo a medida que a concentração foi aumentada. Não houve diferença significativa em relação às concentrações do metal Cd.



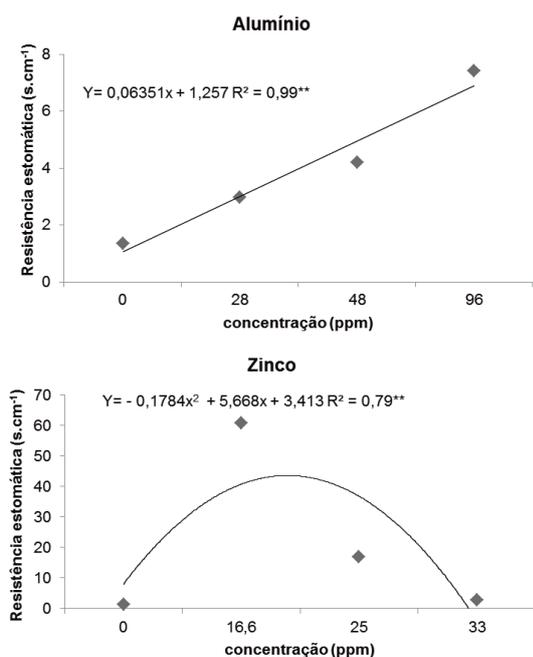


Figura 1 - Taxa da resistência estomática (s.cm⁻¹), de plantas jovens de seringueira, submetidas a diferentes concentrações de Cd, Ni, Al e Zn, em solução nutritiva. Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG, 2006. ** significativo a 1% pelo teste F.

A taxa de transpiração (Figura 2) foi inversamente proporcional à resistência estomática (Figura 1). O aumento da resistência estomática determina uma redução na taxa de perda de vapor de água e representa uma vantagem imediata para prevenir a desidratação do tecido foliar (FAGAN et al. 2005). Este comportamento tem sido constantemente relatado na literatura quando ocorre estresse hídrico (TAIZ; ZIEGLER 2013), incremento na intensidade luminosa e temperatura (SIEBENEICHLER et al., 1998).

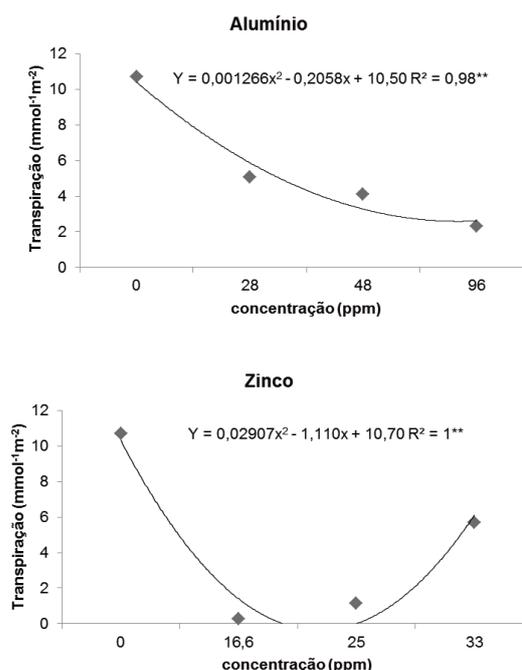
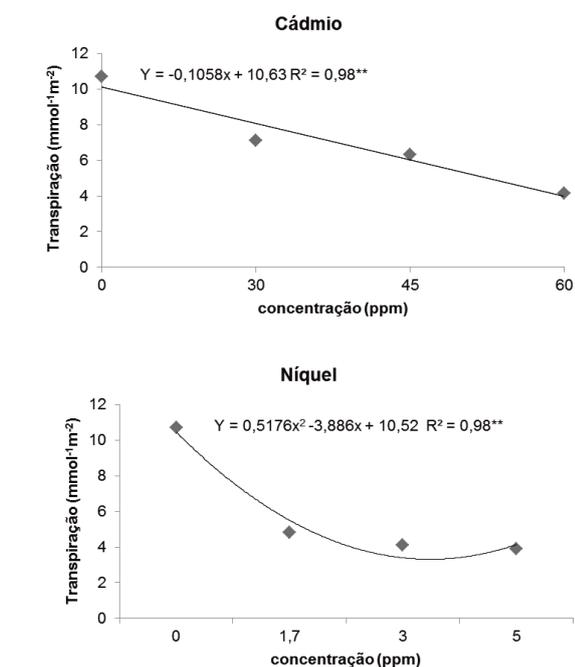


Figura 2 - Taxa da transpiração (mmol⁻¹.m⁻²), de plantas jovens de seringueira, submetidas a diferentes concentrações de Cd, Ni, Al e Zn, em solução nutritiva. Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG, 2006. ** significativo a 1% pelo teste F.

Segundo Leita et al. (1995), o Cd interfere na abertura e fechamento dos estômatos. Primeiramente devido a um aumento no potencial osmótico das folhas, em um segundo momento, em função da ação direta do Cd nas células-guarda e também devido à inibição no crescimento das raízes que limita a absorção de água e promove o fechamento dos estômatos e, quando a concentração do elemento químico se torna elevada, há um declínio metabólico, com perda da turgidez foliar e fechamento estomático hidropassivo.

O potencial hídrico das plantas não foi avaliado em virtude das mesmas terem sido cultivadas em hidroponia. Contudo, observa-se pela Figura 3 redução na densidade estomática em função do aumento da concentração do metal pesado, Cd, Ni e Zn na solução nutritiva das plantas. Resultado semelhante foi observado por Barylá et al. (2001), onde a densidade de estômatos foi visivelmente reduzida em folhas expostas ao Cd, concomitantemente, a condutância estomática foi fortemente diminuída. Gomes et al. (2009), observaram alterações anatômicas em folhas de *E. camaldulensis*, como diminuição na espessura do limbo e do mesofilo e aumento no número de células da epiderme em doses crescentes de Cd. Entretanto, diferentemente do observado no presente trabalho os autores relataram aumento na densidade estomática. Para o elemento químico Al, embora se



tenha observado uma tendência de redução na densidade estomática com o incremento do elemento na solução nutritiva das plantas, não foi verificada diferença estatística entre as concentrações avaliadas.

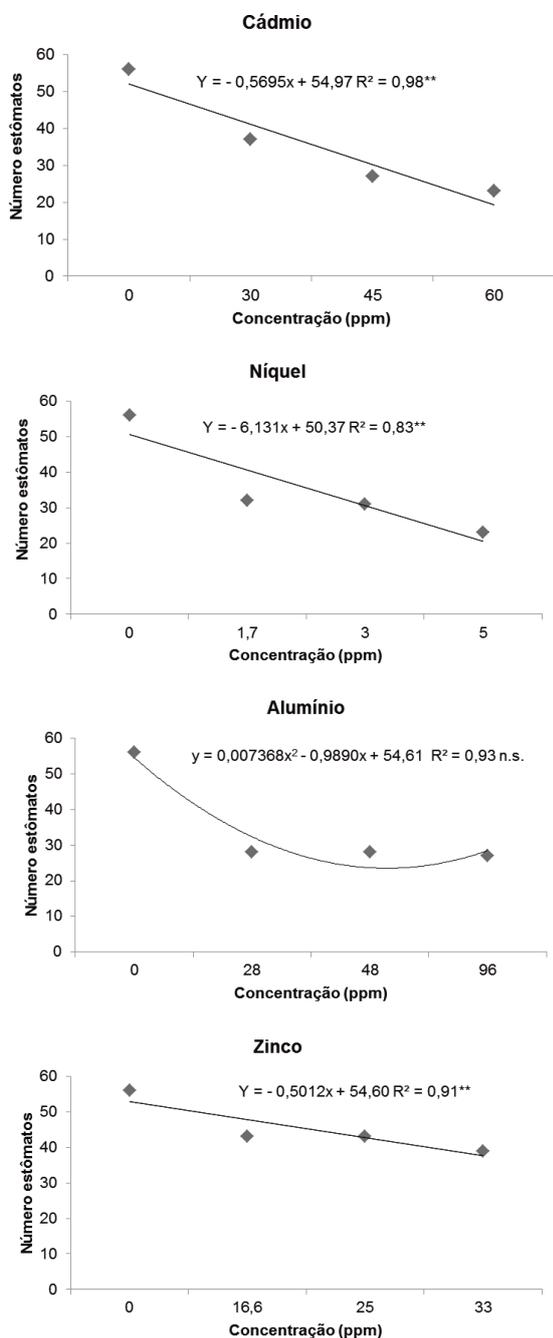


Figura 3 - Densidade estomática em plantas de seringueira, submetidas a diferentes concentrações de Cd, Ni, Al e Zn, em condições de casa de vegetação. Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG, 2006. ** significativo a 1% pelo teste F.

A Figura 4 ilustra os resultados da relação entre fluorescência variável e máxima (Fv/Fm), nas diferentes concentrações de Cd, Ni, Al e Zn. De maneira geral, nota-se oscilação desta variável entre os meses de avaliação e as concentrações dos elementos químico-

cos. Para o Cd observa-se tendência de incremento nos valores de Fv/Fm, no mês de setembro, até a concentração de 45 ppm, com redução em concentração superior. Nos meses de outubro e novembro o valor de Fv/Fm aumentou na concentração de 30 ppm, o qual manteve-se estável em concentrações superiores no mês de outubro, enquanto que, no mês de novembro houve uma redução no valor de Fv/Fm na concentração de 45 ppm que se manteve estável até a concentração de 60 ppm. Em dezembro a variável Fv/Fm ficou estável até a concentração de 30 ppm, apresentando redução em seu valor na concentração de 45 ppm e incremento na concentração de 60 ppm.

Para os metais pesados Ni e Zn, nota-se incremento da variável Fv/Fm com o aumento da concentração dos elementos químicos em todos os meses avaliados, exceção para o elemento Ni, no mês de novembro, e para o elemento Zn, nos meses de outubro e novembro, em que se observa redução nos valores de Fv/Fm. Com relação ao Al, verifica-se nos meses de setembro e novembro redução no valor de Fv/Fm até a concentração de 48 ppm, com incremento acima dessa concentração. No mês de outubro houve queda linear no valor de Fv/Fm, atingindo o menor valor, de 0,73, na maior concentração. Em dezembro o valor de Fv/Fm ficou estável na diferentes concentrações do elemento químico.

No geral, os valores de Fv/Fm permaneceram entre 0,60 e 0,8, Segundo Bolhar-Nordenkampf et al. (1989) e Baker et al. (1984), valores acima de 0,85 indicam uma grande quantidade de moléculas de clorofila incapazes de transferir a energia de excitação para os centros de reação do fotossistema II. Em contrapartida, diminuição nos valores de Fv/Fm indica um declínio na eficiência fotoquímica do fotossistema II (DEMMIG; BJÖRKMAN, 1987).

A razão Fv/Fm indica a utilização da energia radiante absorvida na fotossíntese. Para um grande número de espécies, a relação Fv/Fm varia entre 0,800 e 0,833 (BJÖRKMAN; DEMMIG, 1987). Segundo Siffer et al., (1988), os valores elevados desta razão, significam melhoria na utilização de energia radiante absorvida e elevação das reações do ciclo de Calvin. De acordo com Bolhar-Nordenkampf et al. (1989), os valores de Fv/Fm entre 0,75 e 0,85 são característicos de plantas não estressadas. Isso sugere que as plantas de seringueira, pelo menos no quesito eficiência fotoquímica do fotossistema II, são tolerantes a altas concentrações de metais pesados e Al, haja vista que apesar de apre-

sentarem incrementos nos valores de Fv/Fm com o aumento das concentrações dos metais pesados e Al na solução, não ultrapassaram o valor de 0,85. Baixos valores de Fv/Fm encontrados devem-se, possivelmente, a um maior aumento de Fo em relação a Fm, que implica na redução de Fv.

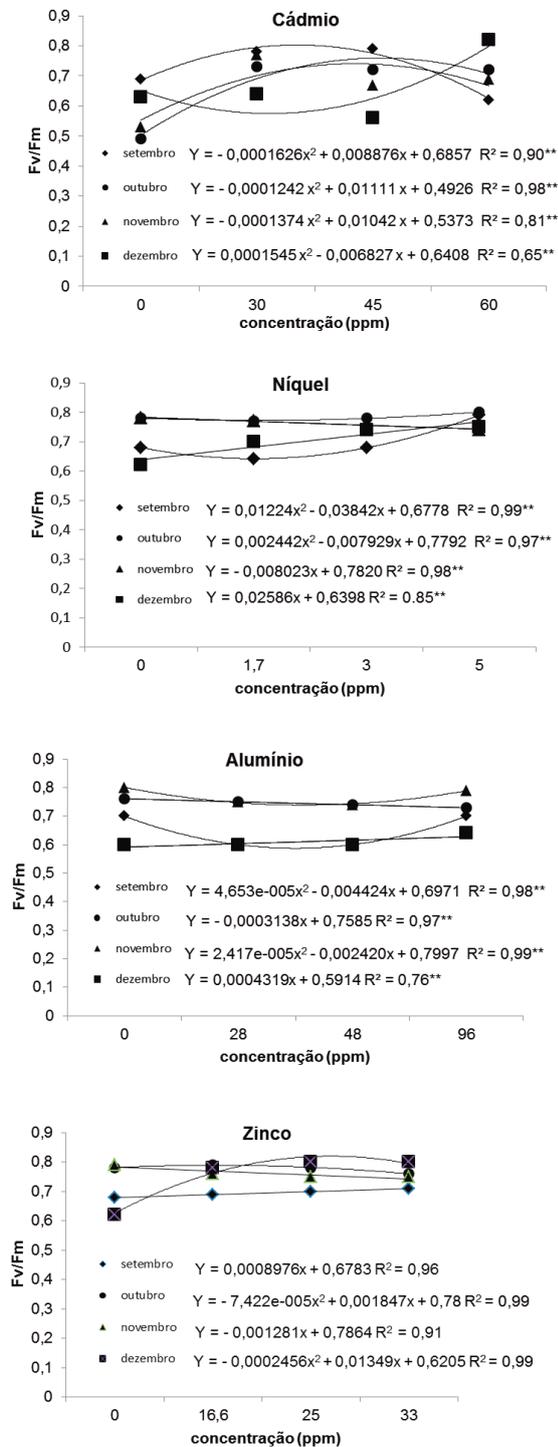
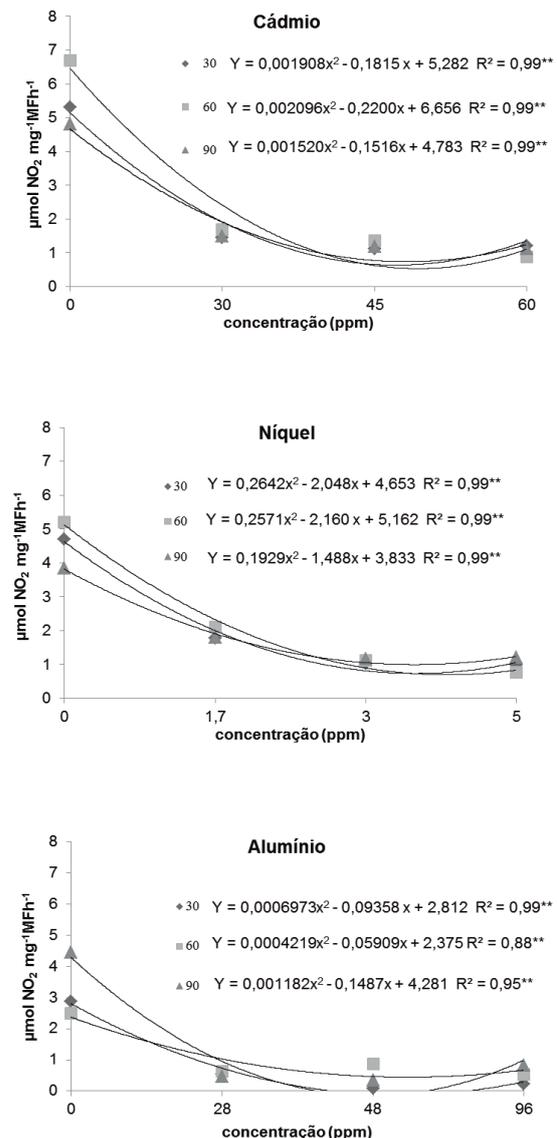


Figura 4 - Variação da fluorescência da clorofila, de plantas jovens de seringueira, submetidas a diferentes concentrações de Cd, Ni, Al e Zn, em solução nutritiva. Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG, 2006. ** significativo a 1% pelo teste F.

Estudos realizados por Miguel et al. (2007) mostraram, em alguns clones de seringueira, cultivados em condição de campo, valores de Fv/Fm em torno de 0,75, valores próximos aos encontrados no presente trabalho. Alfadul; Al-Fredan (2013), avaliando o efeito dos metais pesados Zn, Cu, Cd e Pb em plantas de *Phragmites australis* verificaram uma diminuição significativa nos teores de proteínas solúveis e de clorofilas, alterando grandemente a composição e concentração dos aminoácidos livres. A presença de elevadas concentrações de Cd na solução nutritiva resultou em redução máxima nos teores de proteínas solúveis.

Observa-se pela Figura 5 que o incremento nas doses de todos os metais pesados utilizados interferiram negativamente na atividade da redutase do nitrato.



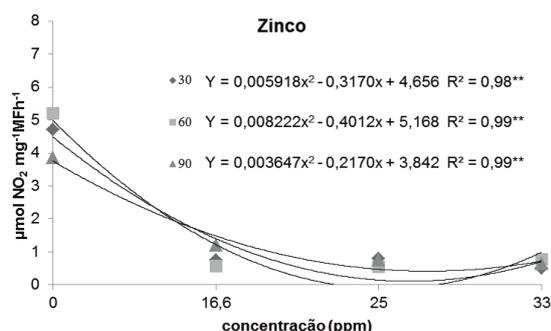


Figura 5 - Atividade da redutase de nitrato em raízes de plantas de seringueira cultivadas em solução nutritiva com diferentes concentrações de Cd, Ni, Al e Zn aos 30, 60 e 90 dias após a indução dos tratamentos. Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG, 2006.

Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG, 2006.

** significativo a 1% pelo teste F.

A enzima redutase do nitrato é a principal porta de entrada de nitrogênio nítrico no metabolismo vegetal, sendo responsável pela redução do nitrato a nitrito no citoplasma celular. Posteriormente, o nitrito produzido é reduzido a amônio nos plastídios, pela enzima redutase do nitrito. O amônio, produto final da redução do nitrato, é então incorporado em aminoácidos pela ação das enzimas de assimilação do amônio, glutamina sintase, glutamato sintase e/ou glutamato desidrogenase (LEA; MIFLIN, 1974). Desta maneira, o efeito inibitório dos metais pesados sobre a atividade da redutase do nitrato afetará a redução do nitrato a nitrito e, como consequência, o mecanismo de assimilação do amônio em compostos orgânicos.

Segundo Panda e Choudhury (2005), os metais Cr, Cu e Zn, quando aplicados em concentrações elevadas em *Polytrichum commune* exerceram efeito inibitório sobre a atividade da RN afetando, conseqüentemente, a assimilação do amônio. Para os autores, em altas concentrações, os metais pesados afetam o grupo SH da enzima redutase do nitrato resultando no declínio de sua atividade. A inibição da enzima redutase do nitrato por metais pesados tem sido relatada na literatura para diversas espécies, como, *Sesamum indicum* (SINGH et al., 1994), *Triticum aestivum* (LUNA et al., 2000) e *Phaseolus vulgaris* (GOUJA et al., 2000).

4 CONCLUSÃO

Incrementos nas concentrações de alumínio até 96 ppm, de níquel até 3 ppm e de zinco até 16,6 ppm aumentam a resistência estomática e diminuem a taxa de transpiração das plantas de seringueira.

Os valores da eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm), em plantas de seringueira, oscilam em função do período de avaliação e da concentração

dos metais pesados cádmio, níquel e zinco e do elemento químico alumínio.

Incrementos nas concentrações de cádmio, níquel e zinco reduzem a densidade estomática de plantas de seringueira.

A atividade da enzima redutase do nitrato, em plantas de seringueira, é reduzida na presença dos metais pesados cádmio, níquel e zinco e do elemento químico alumínio.

REFERÊNCIAS

- ALFADUL, S. M. S.; AL-FREDAN, M. A. A. Effects of Cs, Cu, Pb, and Zn combinations on *Phragmites australis* metabolism, metal accumulation and distribution. **Ara-bian Journal for Science and Engineering**, Dhahran, v. 38, n. 1, p. 11-19, 2013.
- ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals: concepts and applications. **Chemosphere**, v.91, p. 869-881, 2013.
- ALMEIDA, A. A. F. et al. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 83-98, 2007.
- BAKER, N.R. et al. Development of photochemical competence during growth of the wheat leaf. **Biosynthesis of the Photosynthetic Apparatus: Molecular Biology, Development and Regulation**, Colorado, p. 237-255, 1984.
- BARCELO, J.; POSCHENRIEDER, C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, p. 75-92, 2002.
- BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C.H. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. **Suelo y Planta**, v. 2, n. 2, p. 345-361, 1992.
- BARYLA, A. et al. Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium polluted soil: causes and consequences for photosynthesis and growth. **Planta**, Berlin, n. 212, p. 696-709, 2001.
- BJORKMAN, O.; DEMMING, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, Berlin, v. 170, n. 2, p. 489-504, 1987.
- BOLHÀR-NORDENKAMPE, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence

- of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, New York, v. 3, p. 497-514, 1989.
- BOLLE-JONES, E.W. Cooper, its effect on the growth of the rubber plant (*Hevea brasiliensis*). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 10, n. 2, p. 168-178, 1957.
- BURZYNSKI, M.; KLOBUS, G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd, and Pb stress. **Photosynthesis**, v. 42, p. 505-510, 2004.
- CEMPEL, M.; NIKEL, G. Nickel: a review of its sources and environmental toxicology. **Polish Journal of Environmental Studies**, Philadelphia, v. 15, p. 375-382, 2006.
- CHAVES, L. H. G. et al. Crescimento e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-mansão. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 167-176, abr-jun 2010.
- DAS, P.; SAMANTARAY, S.; ROUT, G. R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. **Environmental Pollution**, Barking, n. 98, p. 29-36, 1997.
- DIAS, M. C. et al. Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 1281-1289, 2013.
- DELÚ FILHO, N.; OLIVEIRA, A. L.E.M.; ALVES, J.D. Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.): Otimização das condições de ensaio e ritmo circadiano. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 21, p. 329-336, 1997.
- DEMMIG, B.; BJORKMAN, O. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. **Planta**, Berlin, v. 171, p. 171-184, 1987.
- DUFFUS, J.H. Heavy metals: A meaningless term? **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.
- FAGAN, E. B. et al. Influência de intervalos entre irrigações na fisiologia e produção de meloeiro sob sistema hidropônico. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 429-436, 2005.
- FERREIRA, D.F. **SISVAR – Sistema de análise de variância para dados balanceados**: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos: software. Lavras: UFLA/DEX, 2002.
- GOMES, M. P. et al. Características anatômicas de plantas de eucalipto e ginseng-brasileiro submetidas a doses de Cd em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 12., 2009, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza: SBFV, 2009.
- GOUÏA, H.; GHORBAL, M. H.; MEYER, C. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 38, n. 7-8, p. 629-638, 2000.
- GÖHRE, V.; PASZKOWSKI, U. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. **Planta**, Berlin, v. 223, p. 1115-1122, 2006.
- HERNANDEZ, L. E.; CARPENA-RUIZ, R.; GARATE, A. Alterations in the mineral nutrition of pea seedlings exposed to cadmium. **Journal Plant Nutritional**, New York, n. 19, p.1581-1598, 1996.
- KRUPA, Z. et al. In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 142, n. 06, p. 664-668, 1993.
- LABOURIAU, L.G.; OLIVEIRA, J.C.; SALGADO-LABOURIAU, M.L. Transpiração de *Schizolobium puruhiba* (Vell.) Toledo: Comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 2, p. 237-257, 1961.
- LEA, P. J.; MIFLIN, B. J. Alternative route for nitrogen assimilation in higher plants. **Nature**, London, v. 251, p. 614-516, 1974.
- LEITA, L. et al. Transpiration dynamics in cadmium-treated soybean (*Glycine max* L.) plants. **Journal Agronomy Crop Science**, Berlin, v. 175, p. 153-156, 1995.
- LIU, J. et al. Arbuscular mycorrhizal symbiosis is accompanied by local and systemic alterations in gene expression and an increase in disease resistance in the shoots. **Plant Journal**, Oxford, n. 50, p. 529-544, 2007.
- LUNA, C. M.; CASANO, L. M.; TRIPPI, V. S. Nitrate reductase is inhibited in leaves of *Triticum aestivum* treated with high level of copper. **Physiologia Plantarum**, Sweden, v. 101, p. 103-108, 2000.
- MARQUES, T. C. L. L. S. M.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teores de metais em mudas de espécies arbóreas tropicais em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 121-132, jan. 2000.
- MIGUEL, A. A. et al. Photosynthetic behaviour during the leaf ontogeny of rubber tree clones [*Hevea brasiliensis* (Wild.ex.Adr. de Juss.) Muell. Arg.] in Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 91-97, 2007.
- NAGAJYOTI, P.; LEE, K.; SREEKANTH, T. Heavy

- metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental Chemistry Letters**, Germany, v. 8, n. 3, p. 199–216, 2010.
- NERY, C. C. N. et al. Desenvolvimento inicial da seringueira (*Hevea brasiliensis*) na remediação de solo em área degradada. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 2009, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2009
- NICHOLSON, F. A. et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 311, p. 205-219, 2003.
- OLIVEIRA, L. E. M.; RENA, A. B. Influência do alumínio sobre comportamento nutricional de cultivares de mandioca em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 9, p. 1119-1130, 1989.
- PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; SIQUEIRA, J. O. Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 467-473, 2002.
- PANDA, S. K.; CHOUDHURY, S. Changes in nitrate reductase activity and oxidative stress response in the moss *Polytrichum commune* subjected to chromium, copper and zinc phytotoxicity. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 191-197, 2005.
- PULFORD, I.; WATSON, C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees - a review. **Environment International**, v. 29, n. 4, p.529-540, 2003.
- ROUT, G. R.; DAS, P. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. **Agronomie**, v. 23, p. 3-11, 2003.
- ROY, S. K. et al. Morpho-physiological and proteome level responses to cadmium stress in sorghum. **PLoS ONE**, v. 11, n.11, p. 1-27, 2016
- SIEBENEICHLER, S. C. et al. Alterações na fotossíntese, condutância estomática e eficiência fotoquímica induzidas por baixa temperatura em feijoeiros. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 37-44, 1998.
- SIFFER, P. et al.. Photoynthesis in regenerants of tobacco transformed by plasmids of *Agrobacterium*. II. Fluorescence emission spectra and age induced changes in slow fluorescence induction. **Photosynthetica**, Prague, v. 22, n. 2, p. 214-220, 1988.
- SINGH, R. P.; BHARTI, N.; KUMAR, G. Differential toxicity of heavy metals to growth and nitrate reductase activity of *Sesamum indicum* seedling. **Phytochemistry**, v. 35, n. 5, p. 1153-1156, 1994.
- SOARES, C. R. F. S. et al. 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, 2001.
- SOUZA, C.A.F. de. **Influência do alumínio na mobilização de reservas, nutrição mineral e crescimento de plântulas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.)**. 120 f. 1991. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1991. Lavras.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- YAMAMOTO, Y. et al. Oxidative stress triggered by aluminum in plant roots. **Plant and Soil**, v. 255, p. 239–243, agosto 2003.