

Turfa como indutor do crescimento e tolerância de *Erythrina crista-galli* em solo contaminado com zinco

Peat is a growth and tolerance inducer of *Erythrina crista-galli* in soil contaminated with zinc

Douglas L. Scheid^{1*}, Rudinei De Marco², Rodrigo F. da Silva², Clovis O. Da Ros², Andre L. Grolli² e Evandro L. Missio³

¹ Departamento de Solo, Centro de Ciência Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, Brasil

² Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, Centro de Educação Superior Norte, Universidade Federal de Santa Maria. Campus de Frederico Westphalen, C.P. 54, 98400-000, Frederico Westphalen, Brasil

³ Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa de Recursos Florestais. Distrito de Boca do Monte, Boca do Monte, C.P. 346, 97001970, Santa Maria, Brasil

(*E-mail: douglasscheid@gmail.com)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17217>

Recebido/received: 2017.08.29

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.06.04

Aceite/accepted: 2018.06.25

RESUMO

A contaminação do solo com zinco (Zn) tem aumentado necessitando-se de técnicas para minimizar o seu efeito tóxico. O objetivo do trabalho foi determinar a influência da turfa no crescimento e tolerância de *Erythrina crista-galli* L. a solo contaminado com Zn. O trabalho foi conduzido em estufa por 120 dias, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 x 6): solo (com e sem turfa) e seis doses de Zn (0, 200, 400, 600, 800, 1000 mg kg⁻¹). Avaliou-se a altura das plântulas, diâmetro do colo, massa seca radicular e aérea, os teores e a quantidade acumulada de zinco no sistema radicular e na parte aérea, índice de qualidade de Dickson, índice de tolerância e índice de translocação. Os resultados evidenciaram que o Zn reduziu os parâmetros morfológicos da *E. crista-galli*. A espécie *E. crista-galli* apresentou maior translocação de Zn com 200 mL de turfa L⁻¹ de solo, porém com tolerância moderada ao Zn.

Palavras-chave: Fabaceae, Metal pesado, Corticeira-do-banhado, fitorremediação.

ABSTRACT

The quantity of soil contaminated with zinc (Zn) is increasing and management practices should be implemented to minimize its toxic effect. The objective of this work was to determine the influence of peat on the growth and tolerance of *Erythrina crista-galli* L. to soil contaminated with Zn. The study was conducted in a greenhouse for 120 days, using a completely randomized design in a factorial arrangement (2 x 6): soil (with and without peat) and six doses of Zn (0, 200, 400, 600, 800, 1000 mg kg⁻¹). We evaluated the seedling height, stem diameter, root and shoot dry weight matter the levels and the cumulative amount of Zn in the root system and aerial part, Dickson quality index, tolerance index and translocation index. The results showed that zinc reduces the morphological parameters of *E. crista-galli*. *Erythrina crista-galli* had more translocation of Zn with 200 mL of soil L⁻¹ peat, but has moderate tolerance to Zn.

Keywords: Fabaceae, Heavy metal, Corticeira-do-banhado, phytoremediation.

INTRODUÇÃO

O aumento nos níveis de zinco (Zn) no solo está relacionado com as atividades antropogênicas, que apresentam grande potencial de poluição (Hooda, 2010). Dentre estas atividades destacam-se a mineração, indústrias metalúrgicas, práticas agrícolas

e a disposição de lodo de esgoto (Kabata-Pendias, 2011). Diante disso, são necessários estudos que envolvam técnicas para a recuperação de áreas contaminadas.

Dentre as formas de recuperação, a utilização de plantas representa uma alternativa eficiente e

promissora no processo de descontaminação de metais pesados do solo, cuja prática é conhecida como fitorremediação. De acordo com Kavamura e Esposito (2010), a fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas para remover metais pesados do ambiente pela absorção, acumulação ou transformação do metal em sua biomassa vegetal. No entanto, quando a concentração de metais na solução do solo é alta a ponto de reduzir o crescimento, ou até mesmo impossibilitar o estabelecimento das plantas, a técnica requer a utilização de plantas associados com amenizantes.

A turfa é um material orgânico que pode ser utilizado como amenizante por conter substâncias húmicas (Franchi *et al.*, 2003). Segundo Jacundino *et al.* (2015), o material orgânico humificado atua na retenção de metais diminuindo a disponibilidade de cátions metálicos. Nessa mesma linha, Silva *et al.* (2017) concluíram que a adição de 200 mL L⁻¹ de turfa ao solo contaminado com Zn fornece tolerância e efeito estimulante sobre o crescimento de plântulas de *Eucalyptus grandis*. Dessa forma, a turfa tem potencial de utilização para reduzir a toxidez e disponibilidade de metais no solo.

Entre as espécies arbóreas nativas do Brasil com potencial de uso em áreas degradadas, a *Erythrina crista-galli* L. (nome comum, corticeira-do-banhado) pertencente à família Fabaceae, possui ampla distribuição geográfica e crescimento moderado (Lorenzi, 2008). A utilização de espécies da família Fabaceae é uma prática recomendada para a recuperação da cobertura vegetal, devido a capacidade de incorporação de nitrogênio, deposição de material orgânico e melhoria das propriedades físicas do solo (Manhães *et al.*, 2007). De notar que plantas jovens são mais sensíveis as condições adversas impostas por metais que plantas adultas (Souza *et al.*, 2012). Resultados de estudos encontrados por De Marco *et al.* (2016) indicam a possibilidade da *E. crista-galli* possuir mecanismos de

tolerância ao cobre. Contudo, não há informações sobre o crescimento e tolerância desta espécie a solo contaminado com Zn quando se utiliza turfa para amenizar a contaminação.

Desse modo, a hipótese que permeia este trabalho é que a turfa contribua significativamente para o crescimento de *E. crista-galli* por meio da indução a tolerância à contaminação do solo com Zn. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi determinar a influência da turfa no crescimento e na tolerância de *E. crista-galli* em solo contaminado com Zn.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen, em estufa climatizada, sendo conduzido por 120 dias, entre os meses de maio e setembro de 2014, com plântulas de corticeira-do-banhado.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis repetições em arranjo fatorial (2 x 6): solo (com e sem turfa, adição de 200 mL de turfa L⁻¹ de solo) e seis doses de Zn (0, 200, 400, 600, 800, 1000 mg kg⁻¹). No solo com e sem turfa foi caracterizado o pH em água; Al, Ca e Mg trocáveis extraídos com solução KCl 1,0 mol L⁻¹; P e K disponíveis extraídos com a solução Mehlich-1, conforme metodologias descritas em Silva (2009) e o zinco extraído conforme Mann e Ritchie (1993) (Quadro 1).

As doses de Zn foram aplicadas 30 dias antes do transplante das plântulas na forma de solução de acetato de zinco dihidratado (C₄H₆O₄Zn.2H₂O), sendo diluídas em 50 mL de água para homogeneização no solo por agitação em saco plástico. Primeiramente, as doses de Zn foram misturadas com o solo (sem turfa) permanecendo por

Quadro 1 - Caracterização química e física do solo utilizado para o cultivo das plântulas de *Erythrina crista-galli*

| Substrato | pH-água | Ca+Mg | Al | H+Al | P | K | Zn _{solúvel} | M.O. | Argila |
|-------------|---------|------------------------------------|------|------|---------------------------------|--------|-----------------------|---------------|--------|
| | 1:1 | ----- cmolc kg ⁻¹ ----- | | | ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | ----- % ----- | |
| Solo | 5,2 | 4,23 | 0,33 | 5,34 | 2,16 | 61,52 | 1,45 | 1,15 | 65,00 |
| Solo+turfa* | 5,3 | 15,21 | 0,21 | 6,11 | 43,28 | 368,53 | 1,04 | 4,38 | 57,00 |

*200 mL de turfa L⁻¹ de solo.

15 dias em repouso para estabilização das reações químicas. Na sequência, adicionou-se a turfa, 200 mL de turfa L⁻¹ de solo, permanecendo por mais 15 dias em repouso antes do transplante das plântulas. No momento do transplante, uma amostra de cada tratamento foi separada para a determinação dos teores pseudo-totais de Zn, conforme metodologia 3050b descrita em USEPA (1996).

As unidades experimentais foram compostas por sacos plásticos de polietileno com capacidade volumétrica de 600 cm³, contendo uma plântula de *E. crista-galli*. As sementes foram fornecidas pelo Centro de Pesquisas Florestais da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), unidade de Santa Maria, RS. Para a superação da dormência tegumentar, as sementes permaneceram imersas por 30 minutos em ácido sulfúrico (padrão ACS). Posteriormente, foram lavadas em água corrente por aproximadamente um minuto. A semeadura foi realizada em sementeiras e, ao apresentarem um par de folhas definitivas, as plântulas foram transplantadas para as unidades experimentais.

As irrigações foram diárias, baseadas na pesagem das unidades experimentais, mantendo-se a umidade a aproximadamente 80% da capacidade de campo. As adubações foram realizadas na base, aplicando-se o equivalente a 150 g de N, 700 g de P₂O₅ e 100 g de K₂O por m³ de solo e em cobertura utilizando-se 20 g de N e 15 g de K₂O, diluídos em água e aplicados 50 mL por UE. A aplicação em cobertura foi realizada em três momentos: aos 30 dias após o transplante foi aplicado N e K; aos 60 dias somente N; e aos 90 dias aplicou-se N e K, seguindo as recomendações de Gonçalves e Benedetti (2005). De forma a atender às exigências do delineamento, semanalmente foi realizado rodízio das unidades experimentais.

Ao final do experimento avaliou-se a altura da parte aérea (H), medida com régua graduada desde o colo até ao ápice caulinar; diâmetro do colo (DC), medido com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, e massa seca do sistema radicular (MSR) e da parte aérea (MSPA), ambas as frações foram separadas na região do colo da planta e secas em estufa a 60±1°C até massa constante, pesadas em balança analítica com precisão de 0,001. A massa

seca total (MST) foi obtida pela soma da MSR com MSPA. Conforme metodologia de Tennant (1975) estimou-se a área superficial específica (ASE) das raízes e, através da Equação 1, determinou-se o índice de qualidade de Dickson (IQD) (Dickson *et al.*, 1960).

$$IQD = \frac{(MST)}{\left(\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}\right)} \quad (1)$$

Na equação 1, MST é a massa seca total da plântula (g), H é a altura (cm), DC é o diâmetro do colo (cm), MSPA é massa seca da parte aérea (g) e MSR é a massa seca do sistema radicular(g).

Após pesagem da MSR e da MSPA, o material vegetal foi moído em moinho tipo Wiley (peneira de malha de 10 mesh) para a determinação dos teores de Zn no tecido vegetal (mg kg⁻¹) e da quantidade acumulada de zinco (µg planta⁻¹) na massa seca do sistema radicular (ZnAR), na parte aérea (ZnAPA) e no total da massa seca das plântulas (ZnAT), através de digestão nítrico-perclórica (3:1) e determinação em espectrofotometria de absorção atômica, conforme descrito por Silva (2009).

Com base na MST, ZnAPA e ZnAT, na dose zero de Zn (d₀) e nas doses de 200 a 1000 mg kg⁻¹ (d_n), foi calculado o índice de tolerância (I_{tol}), conforme Equação 2, que mede a habilidade das plântulas crescerem em ambientes com elevada concentração de metal (Wilkins, 1978), e o índice de translocação (I_{tra}) através da Equação 3, que corresponde à percentagem total absorvida de zinco que foi transportado para a parte aérea (Abichequer e Bohnen, 1998).

$$I_{tol} = \frac{MST_{dn}}{MST_{d0}} * 100 \quad (2)$$

$$I_{tra} = \frac{ZnAPA_{dn}}{ZnAT_{dn}} * 100 \quad (3)$$

Na equação 2, I_{tol} é o índice de tolerância (%), MST_{dn} é a massa seca total da plântula (g) nas doses crescentes de Zn adicionadas ao solo e MST_{d0} é a massa seca total da plântula (g) no solo na dose zero de Zn. Na equação 3, I_{tra} é o índice de translocação

(%), $ZnAPA_{dn}$ é o zinco acumulado na parte aérea da plântula ($\mu g \text{ planta}^{-1}$) nas doses crescentes de Zn adicionadas ao solo e $ZnAT_{dn}$ é o zinco acumulado na plântula ($\mu g \text{ planta}^{-1}$) nas doses crescentes de Zn adicionadas ao solo.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando apresentaram interação significativa o fator quantitativo foi submetido à análise de regressão dentro de cada nível do fator qualitativo. Para os parâmetros sem interação significativa, foram desdobrados os efeitos simples, sendo as médias do fator qualitativo comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro e as médias do fator quantitativo submetido à análise de regressão pelo programa SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do solo evidenciou aumento nos teores de Zn proporcionalmente às doses do metal aplicadas ao solo. As concentrações pseudo-totais de zinco no solo, obtidas neste trabalho a partir da dose adicionada de 400 mg kg^{-1} de solo, estão acima do valor máximo de investigação permitido pela resolução nº 420 (CONAMA, 2009) em solos agrícolas que é de 450 mg kg^{-1} (Figura 1), mostrando que a contaminação artificial desse

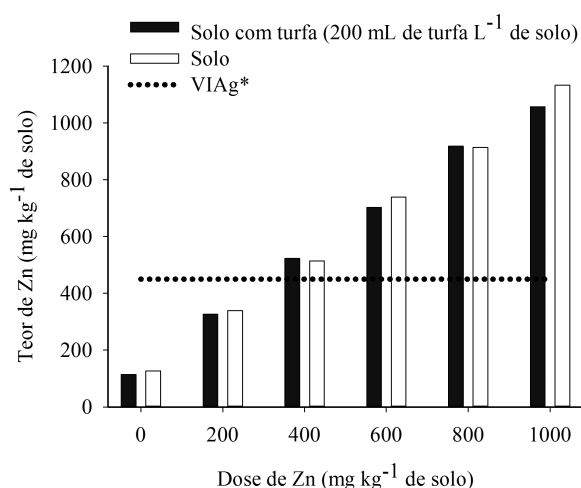


Figura 1 - Teor pseudo-total de Zinco no solo em função das doses de Zinco aplicadas no solo, sem e com adição de turfa ($200 \text{ mL de turfa L}^{-1}$ de solo). *VIAg = Valor de investigação para áreas agrícolas (CONAMA, 2009).

solo foi eficiente, através da adição de solução de acetato de zinco, permitindo assim a realização desse trabalho.

Os resultados evidenciaram interação significativa ($p \leq 0,001$) entre os fatores de variação doses de Zn e turfa para a MSPA, MSR, MST e IQD (Quadro 2; Figura 2). As doses de Zn reduziram a massa seca da parte aérea e radicular nos tratamentos com turfa e sem turfa (Figura 2A). Estes resultados foram semelhantes aos trabalhos de Chaves *et al.* (2010) com pinhão-manso e de Silva *et al.* (2017) com plântulas de *Eucalyptus grandis*, sendo a redução do crescimento de espécies vegetais um dos sintomas mais evidentes de toxicidade por Zn.

Observa-se que a massa seca das plântulas foi maior no tratamento com adição de turfa, independente da dose de Zn (Figura 2A, B e C). A literatura evidencia que a aplicação de matéria orgânica conduz a maior produção de matéria seca da parte aérea (Gabos *et al.*, 2011), que pode estar relacionado a adição de nutrientes pela turfa, bem como tem indicado que a adição de amenizantes resulta

Quadro 2 - Valores de F e teste F para os fatores principais e a interação da Massa Seca Parte Aérea (MSPA), Massa Seca Radicular (MSR), Massa Seca Total (MST), Índice de Qualidade de Dickson (IQD), Teor de Zinco na Parte Aérea (ZnPA) e na Raiz (ZnR), Quantidade acumulada de Zn na parte aérea (ZnAPA) (C) e na raiz (ZnAR), Altura, Diâmetro de colo (DC), índice de translocação (Itra) e índice de tolerância (Itol) das plântulas de *Erythrina crista-galli*

| Avaliação | Dose de Zn | Turfa | Dose de Zn X | |
|-----------|------------|----------|---------------------|--------|
| | | | Turfa | CV (%) |
| MSPA | 77,03** | 287,55** | 8,94** | 21,56 |
| MSR | 61,92** | 256,98** | 6,84** | 23,18 |
| MST | 117,65** | 482,68** | 12,82** | 18,86 |
| IQD | 59,46** | 331,68** | 8,32** | 23,36 |
| ZnPA | 381,15** | 197,25** | 526,98** | 0,62 |
| ZnR | 499,21** | 68,98** | 78,39** | 0,71 |
| ZnAPA | 136,32** | 179,8** | 37,02** | 5,88 |
| ZnAR | 932,05** | 134,95** | 28,12** | 7,57 |
| Altura | 21,13** | 40,80** | 0,313 ^{ns} | 14,27 |
| DC | 23,25** | 143,17** | 2,14 ^{ns} | 15,92 |
| Itra | 5,82* | 35,14** | 2,27 ^{ns} | 6,11 |
| Itol | 32,07** | 41,63** | 2,04 ^{ns} | 22,35 |

* $p < 0,05$; ** $p < 0,001$; ns, não significativo; CV, Coeficiente de Variação.

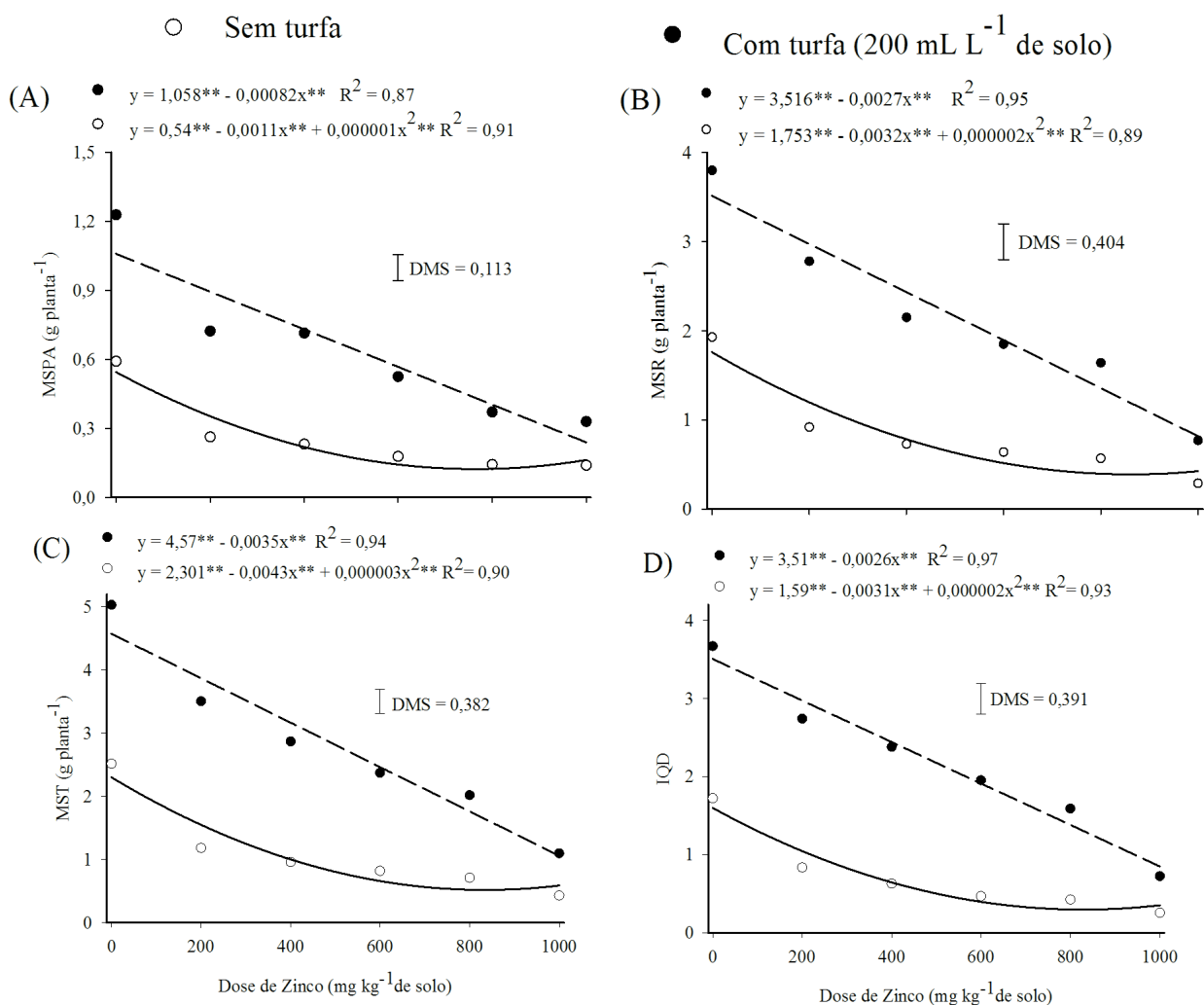


Figura 2 - Massa seca da parte aérea (MSPA) (A), massa seca radicular (MSR) (B), massa seca total (MST) (C) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (D) de plântulas de *Erythrina crista-galli* submetidas a doses de zinco e tratamentos com e sem turfa. DMS: diferença mínima significativa (Tukey < 0,05). **p<0,001.

em aumento da massa seca da parte aérea e radicular das plântulas (Pereira *et al.*, 2013), e isso pode favorecer o acúmulo de metais nessas partes da planta (De Marco, 2015). Esse resultado é importante, pois as raízes têm um papel importante na fitorremediação, dado que podem agir na agregação e estabilização do solo, bem como absorver os metais pesados (Brunner *et al.*, 2008).

A qualidade das plântulas, avaliada pelo IQD, diminui com o aumento das doses de Zn nos tratamentos com e sem turfa e também foi significativamente maior com adição de turfa em todas as doses de Zn (Figura 1D). Resultados de pesquisa indicam sensibilidade de plântulas de *E. crista-galli* à contaminação do solo com Cu, com redução

significativa na sua qualidade (De Marco, 2015). O IQD considera a proporção entre as variáveis do crescimento vegetal e o seu aumento representa plantas menos susceptíveis a estresses no campo (Dickson *et al.*, 1960). Desta maneira o uso de turfa propiciou melhor IQD e consequentemente plantas com maior potencial de sobrevivência em áreas contaminadas.

Os teores de Zn na parte aérea e nas raízes aumentaram linearmente com as doses de Zn, sendo significativamente menores no tratamento com adição de turfa (Figura 3A e B). Provavelmente, os compostos húmicos da turfa adsorveram maior quantidade de Zn, diminuindo a disponibilidade no solo, pois os colóides orgânicos do solo têm alta

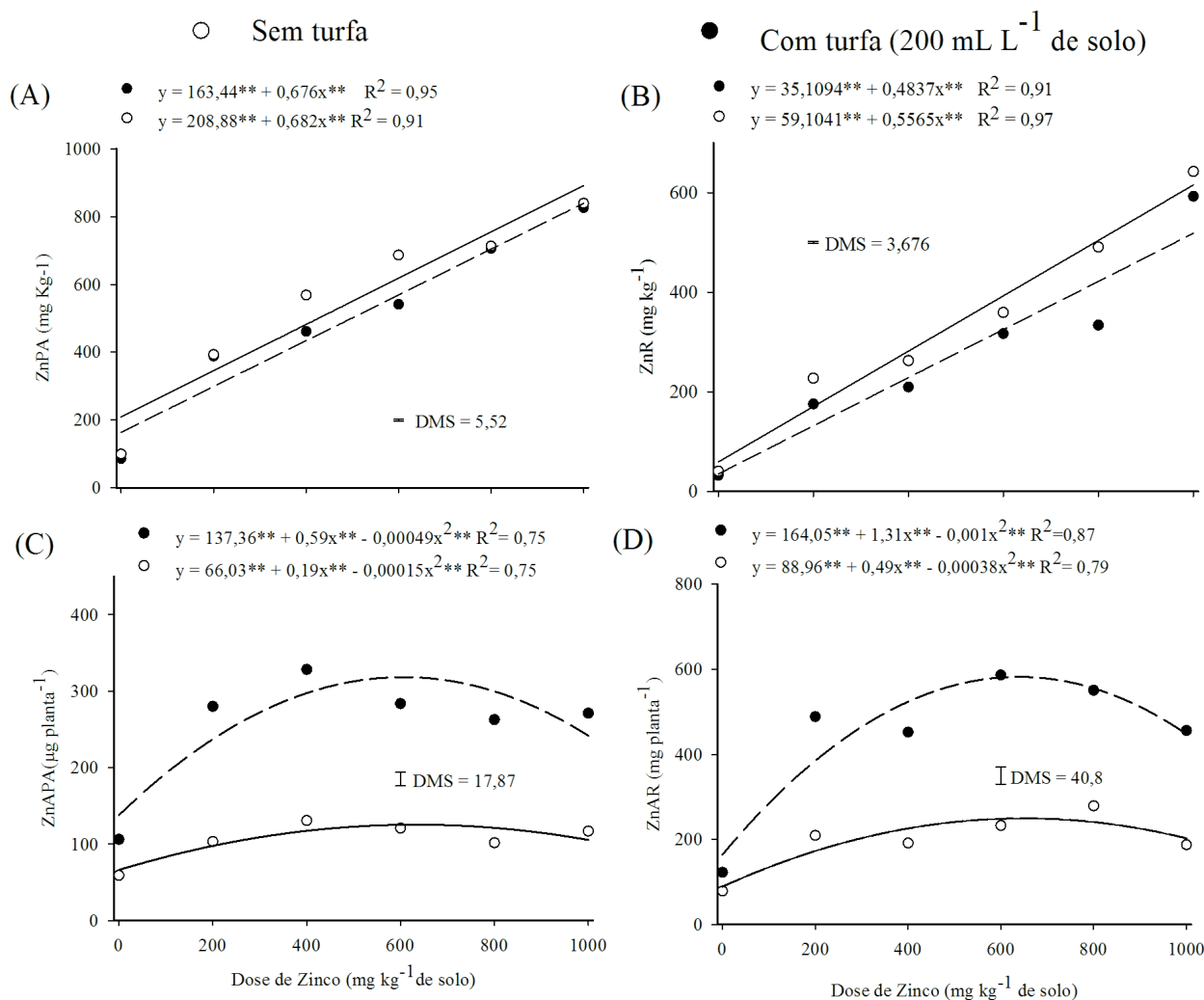


Figura 3 - Teor de zinco na parte aérea (ZnPA) (A) e na raiz (ZnR) (B), quantidade acumulada de Zn na parte aérea (ZnAPA) (C) e na raiz (ZnAR) (D) de plântulas de *Erythrina crista-galli* submetidas a doses de zinco e tratamentos com e sem turfa. DMS: diferença mínima significativa (Tukey < 0,05). **p<0,001.

capacidade de adsorver zinco em formas estáveis (Kabata-Pendias, 2011).

A quantidade acumulada de Zn na parte aérea e nas raízes das plântulas de *E. crista-galli* foi maior nos tratamentos com turfa (Figura 3C e 3D). Os pontos de máxima eficiência com o uso da turfa foram nas doses estimadas de 602 e 655 mg Kg⁻¹ de Zn para a parte aérea e raiz, respectivamente. Isso se deve a maior massa seca das plantas quando utilizado turfa e não ao aumento da concentração do Zn na fitomassa, como encontrado para o Cu por González *et al.* (2014). O maior acúmulo de Zn na raiz corrobora os resultados de Magalhães *et al.* (2011) que também constataram maior acúmulo de Zn na raiz de *Eucalyptus saligna*. Ainda assim,

Pereira *et al.* (2013) ressaltam a importância da utilização de resíduos amenizantes na manutenção do crescimento de plantas por ocorrer precipitação, adsorção ou complexação do metal pesado, de forma a reduzir a biodisponibilidade de Zn, melhorando o desempenho das espécies vegetais.

Não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre os fatores de variação para os parâmetros altura, diâmetro do colo, índice de translocação e de tolerância de Zn nas plântulas *E. crista-galli* (Quadro 2; Quadro 3).

As doses de Zn reduziram linearmente a altura e o diâmetro do colo das plântulas de *E. crista-galli* em 39,6 e 45,3%, respectivamente, com a dose máxima

Quadro 3 - Efeito simples dos fatores de variação doses de Zinco e turfa na Altura, diâmetro de colo (DC), índice de translocação (Itra) e índice de tolerância (Itol) das plântulas de *Erythrina crista-galli*

| Avaliações | Doses de Cu ²⁺ (mg kg ⁻¹) | | | Turfa ⁽²⁾ | |
|-------------|--|----------------|-----------------------|-----------------------|---------|
| | Equação de regressão | R ² | PR (%) ⁽¹⁾ | Sem | Com |
| Altura (cm) | y = 11,370** - 0,0045x** | 0,96 | -39,6 | 8,30 B ⁽³⁾ | 10,90 A |
| DC (mm) | y = 10,813** - 0,0049x** | 0,98 | -45,3 | 6,48 B | 10,23 A |
| Itra (%) | y = 40,981** - 0,008x** | 0,31 | -19,5 | 36,01 B | 37,85 A |
| Itol (%) | y = 67,836** - 0,0459x** | 0,97 | -67,7 | 32,76 B | 47,74 A |

⁽¹⁾ Percentual de redução com a dose máxima de Zinco aplicada (1000 mg kg⁻¹).

⁽²⁾ Adição de 200 mL L⁻¹ de solo. ⁽³⁾ Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV: coeficiente de variação. **p<0,001.

de Zn aplicado (1000 mg kg⁻¹) (Quadro 3). Analisando o efeito da turfa, verificou-se que a altura e o diâmetro do colo foram significativamente maiores com o uso de turfa. Isso se deve ao aumento dos teores de nutrientes disponíveis no solo (Ca, Mg, P e K) com a adição da turfa (Quadro 1), que provavelmente contribuiu para a melhor nutrição e o crescimento das plantas. Silva *et al.* (2017) quando utilizaram 200 mL de turfa L⁻¹ de solo também encontraram maior altura e diâmetro do colo de plântulas de *Eucalyptus grandis* em solo contaminado com Cu. Contudo, Magalhães *et al.* (2011) estudaram a fitoestabilização do solo contaminado com Zn em duas espécies de eucalipto (*E. urophylla* e *E. saligna*) e observaram que a aplicação de resíduos siderúrgicos (escória de aciaria e carepa de laminação) ao substrato com altas concentrações de Zn afetou positivamente o desenvolvimento das duas espécies estudadas, reduzindo o efeito do metal contaminante. Dessa forma, os resultados obtidos demonstram que a utilização da turfa proporcionou maior disponibilidade de macronutrientes possibilitando maior altura e diâmetro de colo das plantas de *E. crista-galli* e possivelmente agiu como material amenizante, reduzindo os teores de Zn na parte aérea e nas raízes (Figura 3A e B).

A elevação das doses de Zn no solo também influenciou negativamente o índice de translocação e de tolerância, sendo respectivamente 19,5 e 67,7% menor na dose 1000 mg de Zn kg⁻¹ de solo, quando comparado ao tratamento sem aplicação do metal (Quadro 3). Concluiu-se que a alta concentração

de Zn no solo tem efeito tóxico e consequentemente redução nesses índices em plântulas de *E. crista-galli*.

O índice de translocação foi significativamente maior com adição de turfa (Quadro 3). A turfa teve um efeito estimulante no crescimento das plantas de *E. crista-galli* e proporcionado assim uma maior absorção de nutrientes entre eles o Zn. Alguns autores consideram o Zn como altamente móvel, enquanto outros o consideram com mobilidade intermediária (Chaves *et al.*, 2010; Kabata-Pendias, 2011). No entanto, de acordo com os valores médios, observou-se que a translocação de Zn para a parte aérea foi inferior a 38% (Quadro 3). Assim, os valores do índice de translocação indicam baixa translocação deste metal em plântulas de *E. crista-galli*, sugerindo que esta espécie pode possuir um mecanismo fisiológico que impeça a translocação de Zn para a parte aérea das jovens plantas.

O índice de tolerância também foi significativamente maior com turfa (Quadro 3). A utilização de turfa apresentou efeitos positivos sobre a quantidade de massa seca de *E. crista-galli* e, mesmo aumentando a tolerância na ordem de 15% em relação ao tratamento sem turfa, resultou em tolerância moderada, pois segundo Lux *et al.* (2004), valores de tolerância entre 35 e 60% são considerados com tolerância moderada. Nesse contexto, a espécie *E. crista-galli* demonstrou ser moderadamente tolerante (35%) até à dose de Zn estimada de 715,38 mg kg⁻¹ de solo.

De forma geral, a utilização de 200 mL de turfa L⁻¹ de solo aumentou os parâmetros morfológicos e a tolerância das plântulas de *E. crista-galli* em altas concentrações de Zn. Além disso, a presença de turfa aumentou a quantidade acumulada do metal na planta, resultado almejado ao se pensar na escolha de espécies para descontaminação de solo.

Os resultados obtidos neste trabalho representam importante alternativa ao uso de materiais orgânicos como amenizantes de solos contaminados com metais pesados. Diante disso, é necessário a realização de estudos que englobem outros materiais orgânicos como alternativas de amenizantes para uso em projetos de fitorremediação de áreas contaminadas.

CONCLUSÕES

O uso de 200 mL de turfa L⁻¹ de solo proporciona aumento nos parâmetros morfológicos e maior translocação de Zn em plântulas de *Erythrina crista-galli* cultivadas em solo contaminado com zinco.

Doses elevadas de zinco reduzem o crescimento e o índice de tolerância de plântulas de *Erythrina*

crista-galli, porém a turfa proporciona melhores condições para o crescimento das plântulas, resultando em tolerância moderada desta espécie a solo contaminado com zinco. Ensaio com outras espécies vegetais e outros materiais orgânicos podem confirmar o potencial de utilização desses materiais como amenizantes ou indutores de crescimento em solo contaminado com metais pesados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abichequer, A.D. & Bohnen, H. (1998) – Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 22, n. 1, p. 21-26. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000100003>
- Brunner, I.; Luster, J.; Günthardt-Goerg, M.S. & Frey, B. (2008) – Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution*, vol. 152, n. 3, p. 559-568. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.07.006>
- Chaves, L.H.G.; Mesquita, E.F.; Araujo, D.L. & França, C.P. (2010) – Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 41, n. 2, p. 167-176. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000200001>
- CONAMA (2009) – *Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009*. Conselho Nacional do Meio Ambiente. [cit. 2015-12-18]. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>
- De Marco, R. (2015) – *Crescimento, tolerância e acúmulo de cobre em mudas de Senna multijuga e Erythrina crista-galli e uso de turfa como amenizante de solo contaminado por cobre*. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Frederico Westphalen, Universidade Federal de Santa Maria. 73 p.
- De Marco, R.; Silva, R.F.; Andrezza, R.; Da Ros, C.O.; Scheid, D.L. & Bertollo, G.M. (2016) – Copper Phytoaccumulation and Tolerance by Seedlings of Native Brazilian Trees. *Environmental Engineering Science*, vol. 33, n. 3, p. 176-184. <http://dx.doi.org/10.1089/ees.2015.0307>
- Dickson, A.; Leaf, A.L. & Hosner, J.F. (1960) – Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, vol. 36, n. 1, p. 10-13. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Ferreira, D.F. (2011) – Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 36, n. 6, p. 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Franchi, J.G.; Sigolo, J.B. & Lima, J.R.B. (2003) – Turfa utilizada na recuperação ambiental de áreas mineradas – metodologia para avaliação laboratorial. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 33, n. 3, p. 255-262.
- Gabos, M.B.; Casagrande, G.; Abreu, C.A. & Paz-Ferreiro, J. (2011) – Uso da matéria orgânica como mitigadora de solo multicontaminado e do girassol como fitoextratora. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, n. 12, p. 1298-1306. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001200012>
- Gonçalves, J.L.M. & Benedetti, V. (2005) – *Nutrição e Fertilização Florestal*. 2ª ed. Piracicaba, IPEF, 427 p.
- González, I.; Neaman, A.; Cortés, A. & Rubio, P. (2014) – Effect of compost and biodegradable chelate addition on phytoextraction of copper by *Oenothera picensis* grown in Cu-contaminated acid soils. *Chemosphere*, vol. 95, p. 111-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.046>
- Hooda, P.S. (2010) – *Trace Elements in Soils*. 1ª ed. Chichester, Wiley-Blackwell, 616 p.
- Jacundino, J.S.; Santos, O.S.; Santos, J.C.C.; Botero, W.G.; Goveia, D.; Carmo, J.B. & Oliveira, L.C. (2015) – Interaction between humin and potentially toxic metals: Prospects for its utilization as an environmental repair agent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 3, n. 2, p. 708-715. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2015.03.032>
- Kabata-Pendias, A. (2011) – *Trace elements in soils and plants*. 4. ed. London, CRC Press, 534 p.

- Kavamura, V.N. & Esposito, E. (2010) – Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. *Biotechnology Advances*, vol. 28, n. 1, p. 61-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.09.002>
- Lorenzi, H. (2008) – *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 5ª ed., vol. 1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 368 p.
- Lux, A.; Šottnínová, A.; Opatrná, J. & Greger, M. (2004) – Differences in structure of adventitious roots in *Salix* clones with contrasting characteristics of cadmium accumulation and sensitivity. *Physiologia Plantarum*, vol. 120, n. 4, p. 537-545. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0031-9317.2004.0275.x>
- Magalhães, M.O.L.; Sobrinho, N.M.B.A.; Santos, F.S. & Mazur, N. (2011) – Potencial de duas espécies de eucalipto na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, n. 3, p. 805-812. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000300029>
- Manhães, C.M.C.; Gama-Rodrigues, E.F.; Moço, M.K.S. & Gama-Rodrigues, A.C. (2007) – Caracterização da fauna do solo e da serapilheira de leguminosas florestais em pastagem na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Agroecologia*, vol. 2, n. 2, p. 1220-1223.
- Mann, S.S. & Ritchie, G.S.P. (1993) – The influence of pH on the forms of cadmium in four west Australian soils. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 31, n. 3, p. 255-270. <http://dx.doi.org/10.1071/SR9930255>
- Pereira, A.C.C.; Sobrinho, N.M.B.A.; Sampaio Junior, J.; Oliveira, J.A.; Santos, F.S. & Mazur, N. (2013) – Comportamento da *Cordia africana* Lam. cultivada em solo contaminado por metais pesados e tratado com materiais amenizantes. *Ciência Florestal*, vol. 23, n. 3, p. 329-336. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509810544>
- Silva, F.C. (2009) – *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p.
- Silva, R.F.; De Marco, R.; Negrini, A.; Basso, C.J.; Silva, V.R.; Swarowsky, A.; Scheid, D.L.; Matsuoka, M.; Da Ros, C.O. & Welter, P.D. (2017) – Peat influence on Zn tolerance, bioconcentration and bioaccumulation in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *African Journal of Agricultural Research*, vol. 12, n. 5, p. 320-326. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.12020>
- Souza, S.C.R.; Andrade, S.A.L.; Souza, L.A. & Schiavinato, M.A. (2012) – Lead tolerance and phytoremediation potential of Brazilian leguminous tree species at the seedling stage. *Journal of Environmental Management*, vol. 110, p. 299-307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.015>
- Tennant, D.A. (1975) – Test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, vol. 63, n. 3, p. 995-1001.
- USEPA (1996) – *Method 3050 B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils*. United States Environmental Protection Agency. Washington, 12 p. [cit. 2015-12-18] <http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>
- Wilkins, D.A. (1978) – The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root grown. *New Phytologist*, vol. 80, n. 3, p. 623-633. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1978.tb01595.x>