



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

## **CINÉTICA DE ABSORÇÃO DE ZINCO EM PLANTAS DE ALFACE-D'ÁGUA (*Pistia stratiotes*)**

**Ana Carolina Dornelas Rodrigues<sup>(1)</sup>; André Marques dos Santos<sup>(2)</sup>; Fabiana Soares dos Santos<sup>(3)</sup>; Ana Carolina Callegario Pereira<sup>(4)</sup>; Nelson Moura Brasil do Amaral sobrinho<sup>(5)</sup>**

(1) Professora do Departamento de Tecnologia e Engenharias do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA; [kroldornelas@yahoo.com.br](mailto:kroldornelas@yahoo.com.br); (2) Professor do Departamento de Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ; [amarques.ufrj@outlook.com.br](mailto:amarques.ufrj@outlook.com.br); (3) Professora do Departamento de Engenharia de Agronegócios da Universidade Federal Fluminense; [fabianasoaes@id.uff.br](mailto:fabianasoaes@id.uff.br); (4) Professora do Departamento de Tecnologia e Engenharias do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA; [ana.callegario@foa.org.br](mailto:ana.callegario@foa.org.br); (5) Professor do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ; [nelmoura@ufrj.br](mailto:nelmoura@ufrj.br).

**Eixo Temático:** 2. Saúde, Segurança e Meio Ambiente

**RESUMO** – A absorção de metais pesados pelas plantas representa uma ameaça, visto que esses elementos podem provocar efeitos danosos irreversíveis e serem introduzidos na cadeia alimentar, causando problemas a saúde humana, desequilibrando o ambiente como um todo. Por outro lado, essa absorção pode constituir uma forma muito útil de se remediar ambientes contaminados por esses elementos por meio das técnicas de fitorremediação. Com o objetivo de conhecer o potencial de absorção de zinco (Zn) pela Alface-d'água (*Pistia stratiotes*), foi realizado um estudo de cinética de absorção desse elemento por essa macrófita. Foram avaliadas duas concentrações diferentes de Zn (1,8 e 18 mg.L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva de Hoagland a 10%, com 3 repetições cada, totalizando 6 unidades experimentais. Alíquotas das soluções contaminadas foram coletadas de 15 em 15 minutos na primeira hora, de 30 em 30 minutos na segunda hora e de hora em hora até a estabilização dos teores do metal na solução. Foram avaliadas a produção de biomassa, os teores de metais e os parâmetros cinéticos de absorção ( $K_m$  e  $V_{max}$ ). Os resultados demonstraram que o pH das soluções não foi afetado pelo cultivo da Alface-d'água e que as maiores velocidades de absorção de Zn foram encontrados nas maiores doses de contaminação da solução, o que demonstra potencial para sua utilização em projetos de remediação de corpos hídricos contaminados. A produção de biomassa foi afetada negativamente pela contaminação, porém esses resultados não interferiram na velocidade de absorção desses metais pela planta.

**Palavras-chave:** Proteínas transportadoras. Contaminação. Metais pesados. Macrófitas aquáticas.

**ABSTRACT** - The absorption of heavy metals by plants poses a threat, as these items can cause irreversible harmful effects and be introduced into the food chain, causing problems to human health, unbalancing the environment as a whole. Furthermore, this absorption may constitute a very useful way of remedying



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [pocos.com.br](http://pocos.com.br)

environment contaminated by these elements by means of phytoremediation techniques. In order to meet the zinc absorption potential (Zn) by waterlettuce (*Pistia stratiotes*), it was carried out an absorption kinetics study of this element for this macrophyte. We assessed two different concentrations of Zn (1.8 to 18 mg.L<sup>-1</sup>) in Hoagland solution 10%, with 3 replications each, totaling six experimental units. Aliquots of contaminated solutions were collected from 15 to 15 minutes in the first hour, 30 for 30 minutes in the second hour, and each hour until stabilization of metal levels in solution. We evaluated the production of biomass, the metal content and the kinetic parameters of absorption ( $K_m$  and  $V_{max}$ ). The results showed that the pH of the solutions was not affected by the cultivation of waterlettuce and the highest Zn uptake rates were found in larger doses contamination of the solution, which demonstrates its potential for use in remediation projects water bodies contaminated. Biomass production was negatively affected by contamination, but these results did not affect the rate of absorption of these metals by the plant.

**Keywords:** Protein carriers. Contamination. Heavy metals. Macrophytes.

## Introdução

A Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) é uma macrófita aquática que, nos últimos anos, tem sido muito estudada e citada quanto a sua tolerância a contaminação por metais pesados, rápido crescimento e elevada produção de biomassa (VESELY et al., 2012; DAS; GOSWAMI; TALUKDAR, 2014; FARNESE et al., 2014). Essas características conferem um alto potencial de fitoextração para metais, como zinco (Zn), sendo considerada como eficiente para utilização na despoluição de reservatório aquáticos contaminados.

Para o manejo adequado dessa espécie, é importante se conhecer, além do metabolismo dessa macrófita, a velocidade de absorção desses contaminantes. Dessa forma, torna-se possível relacionar os níveis de contaminação do corpo hídrico a ser recuperado com a cinética de absorção do elemento pela planta e, indiretamente, estimar o tempo de “manutenção” da planta empregada na recuperação do reservatório.

A cinética de absorção relaciona o sistema de transporte com a absorção do elemento tóxico pela planta. Para tal, dois parâmetros são utilizados:  $V_{max}$ , que descreve a máxima velocidade de absorção quando todos os transportadores estão saturados, e a constante de Michaelis-Menten -  $K_m$ , que descreve a afinidade da proteína transportadora com o elemento a ser absorvido (ALVES et al., 2016).

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a cinética de absorção de Zn pela Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) como forma de conhecer seu potencial para utilização na remediação de ambientes aquáticos contaminados por esses elementos.

## Material e Métodos

As macrófitas foram coletadas no lago do Pavilhão de Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) – campus Seropédica-RJ, e



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

levadas para Universidade Federal Fluminense (UFF), campus Volta Redonda, para condução do experimento. No local, as plantas foram lavadas em água corrente e mantidas em água destilada para aclimatação por uma semana. Antes da realização do experimento, as plantas foram pesadas e selecionadas com peso aproximado de 50 gramas cada uma.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando vasos plásticos com capacidade para 5 litros, preenchidos com 3 litros de solução nutritiva de Hoagland a 10%, onde foram adicionadas as doses de contaminação por zinco: 1,8 e 18 mg L<sup>-1</sup> correspondentes a 27,5 e 275 µmols L<sup>-1</sup> respectivamente. O pH da solução inicial foi ajustado a 5,5 e aferido a cada tempo de coleta da solução. O ambiente de condução do experimento foi controlado a temperatura de 20 a 25°C e, aproximadamente 60% de umidade relativa do ar.

Alíquotas de 1,5 mL de solução foram coletadas de cada vaso, inicialmente, de 15 em 15 minutos na primeira hora do experimento e de 30 em 30 minutos durante a segunda hora. Em seguida, as alíquotas foram coletadas de hora em hora até que a concentração dos metais se estabilizasse na solução nutritiva, conforme OLIVEIRA et al. (2001).

Os teores de Zn nas alíquotas coletadas foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Os parâmetros cinéticos da absorção ( $V_{max}$  e  $K_m$ ) de Zn foram determinados a partir da diminuição na concentração desse íon na solução nutritiva (CLAASSEN; BARBER, 1974). A curva de depleção e os cálculos dos parâmetros cinéticos foram realizados por meio de método gráfico matemático desenvolvido por Ruiz (1985) e Cometti et al. (2006), utilizando-se o programa CineticaWin 1.0 (UFV). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 2 doses de contaminação e 3 repetições cada, totalizando 6 unidades experimentais.

## **Resultados e Discussão**

A Figura 1 apresenta a variação de pH nas soluções nutritivas com diferentes concentrações de zinco (Zn = 1,8 e 18 mg.L<sup>-1</sup>) ao longo do tempo de cultivo da *Alface-d'água*. As medições do pH foram realizadas a cada coleta de solução.

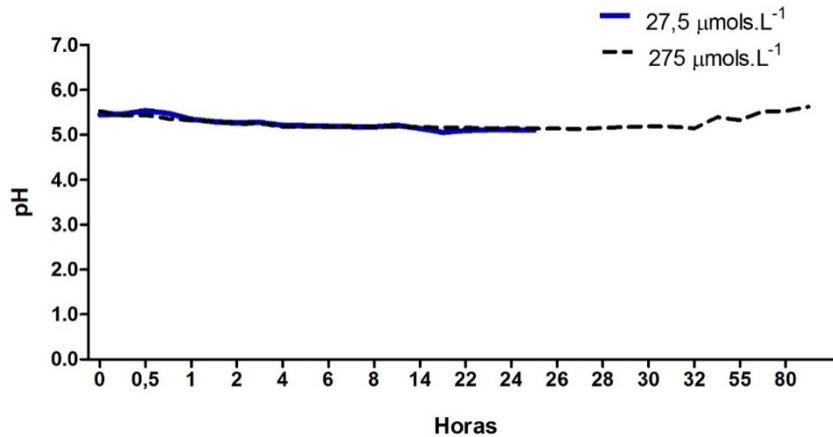


# XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)



**Figura 1.** Efeito da absorção de Zn pela Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) no pH das soluções nutritivas com diferentes doses de contaminação.

Obs.: Algumas coletas foram ocultadas no gráfico para melhor visualização.

O pH inicial da solução nutritiva com diferentes doses de zinco foi ajustado a 5,5 a fim de garantir a biodisponibilidade deste metal para as plantas. Não houve variação significativa no pH destas soluções ao longo do tempo, ocorrendo um leve declínio inicial até aproximadamente a primeira hora de cultivo, mantendo-se estabilizado em torno de 5,2 até o final do cultivo na menor dose avaliada (27,5  $\mu\text{mols.L}^{-1}$ ) e até 32 horas de cultivo para a maior dose de contaminação, onde iniciou um leve incremento no pH em relação ao inicial (5,7), até a última coleta (93 horas de cultivo). Não houve uma variação marcante em todos os tempos de coleta, em comparação ao pH inicial das soluções (Figura 1).

A absorção de alguns cátions metálicos é mediada por um grupo de transportadores pertencente à família ZIP, onde ZRT1 e ZRT2 (transportador regulado de zinco) são designados pelo transporte de zinco de alta e baixa afinidade respectivamente (GUERINOT, 2000). Esses transportadores são caracterizados até o momento pelo transporte ativo do tipo uniporte, ou seja, de uma única espécie, sem troca por outro íon ou molécula (SAIER, 2000), o que justifica a manutenção do pH das soluções nutritivas mesmo com absorção de Zn pela Alface-d'água.

A Figura 2 demonstra que soluções nutritivas com diferentes concentrações de zinco (27,5 e 275  $\mu\text{mols.L}^{-1}$ ), tiveram seus níveis de contaminação reduzidos ao longo do tempo de cultivo até o ponto de estabilização, evidenciando a absorção do contaminante pelas plantas.

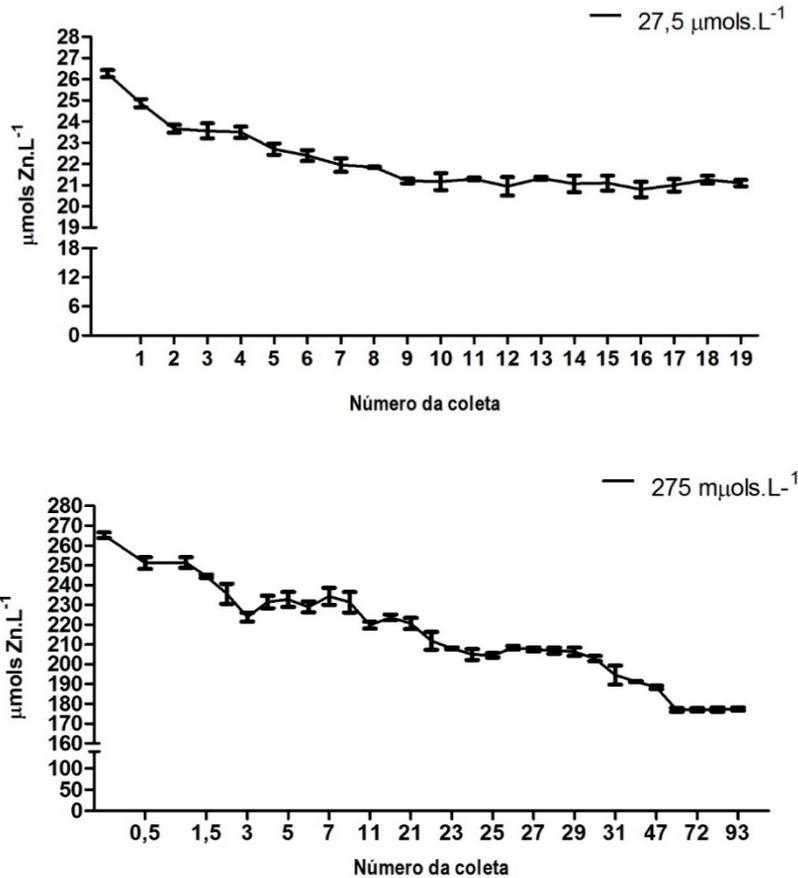


# XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)



**Figura 2.** Depleção de Zn em soluções nutritivas com diferentes concentrações em função da absorção pela Alface-d'água ao longo do tempo de cultivo.

Obs.: Algumas coletas foram ocultadas para melhor visualização do gráfico.

Observa-se o mesmo padrão de depleção de zinco nas soluções nutritivas com diferentes concentrações desse elemento (Figura 2), havendo uma fase de redução rápida, seguida por uma mais lenta, até a sua estabilização nas soluções. Entretanto, os períodos de cada etapa variaram com a concentração inicial de Zn na solução. A solução de menor concentração ( $Zn = 27,5 \mu\text{mols.L}^{-1}$ ) teve uma redução rápida até 45 minutos de cultivo, dando início a uma segunda etapa de redução, porém mais lenta, atingindo uma estabilização dos teores de zinco nessa solução nutritiva por volta de 5 horas de cultivo. Contudo, a solução mais concentrada ( $Zn = 275 \mu\text{mols.L}^{-1}$ ) apresentou uma etapa inicial caracterizada por uma redução acentuada, até aproximadamente 3 horas de cultivo, seguida por uma fase mais lenta, e alcançando uma estabilização mais tardiamente que a solução anterior, cerca de 47 horas de cultivo, devido a maior disponibilidade do elemento nessa solução.



# XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 pocos.com.br

Esses resultados indicam que, na solução nutritiva de menor concentração de zinco ( $Zn = 27,5 \mu\text{mols.L}^{-1}$ ) atuaram os transportadores de membrana de alta afinidade, que operam quando há baixas concentrações do elemento na solução, o que explica sua fase inicial de redução e final de estabilização mais rápida, quando comparada a solução mais concentrada ( $Zn = 275 \mu\text{mols.L}^{-1}$ ). Entretanto na solução de maior concentração de zinco ( $Zn = 275 \mu\text{mols.L}^{-1}$ ), possivelmente, houve a atuação de um mecanismo duplo, onde, inicialmente os transportadores de baixa afinidade, associados a maior disponibilidade desse íon, operaram. Com a redução das concentrações do elemento, devido à absorção pela Alface-d'água, os transportadores de alta afinidade passaram a agir. Segundo FAQUIN, (2005), quando a faixa de variação na concentração do íon é muito ampla, observa-se a atuação de um mecanismo duplo, com os transportadores de alta afinidade operando em baixas concentrações, e os de baixa afinidade em elevadas concentrações. Os dados de depleção do metal na solução foram utilizados no software CineticaWin para obtenção dos parâmetros cinéticos da absorção de zinco pela Alface-d'água (*Pistia stratiotes*). Esses dados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros cinéticos da absorção de Zn pela Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) cultivada em soluções nutritivas com diferentes concentrações do elemento.

Conc. Solução ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	Parâmetro cinéticos	
	$K_m$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	$V_{max}$ ( $\mu\text{mol.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )
27,5	1,590 b	0,080 b
275,0	61,240 a	0,189 a
	cv = 9,3%	cv = 13,17%

Letras iguais em mesma coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na menor concentração de zinco testada ( $Zn = 27,5 \mu\text{mols.L}^{-1}$ ), foi verificada a maior a afinidade desse elemento pelo seu transportador (menor  $K_m$ ) e menor velocidade de absorção pela Alface-d'água ( $V_{max}$ ). O menor  $K_m$  (maior afinidade) é explicado pela atuação dos transportadores de alta afinidade de zinco nas menores concentrações, entretanto, a baixa  $V_{max}$ , possivelmente, refletiu a menor quantidade de transportadores de alta afinidade nessa planta. Com o aumento da disponibilidade de zinco na solução ( $275 \mu\text{mols.L}^{-1}$ ), houve uma redução da afinidade do transportador pelo elemento ( $K_m$ ) e incremento da velocidade de absorção ( $V_{max}$ ), provavelmente devido ao processo duplo de captação desse elemento, como discutido anteriormente.

ZHAO; EIDE, (1996) explicam que os transportadores de zinco de alta e baixa afinidade (ZRT1 e ZRT2 respectivamente) atuam em diferentes parâmetros,



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

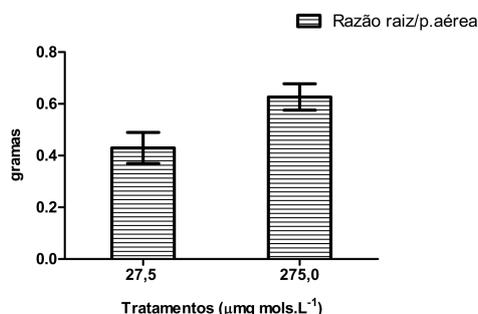
sendo encontrado um  $K_m$  na faixa de  $1 \mu\text{mol L}^{-1}$  em ambientes com baixas concentrações deste metal, indicando a atuação dos transportadores de alta afinidade e um  $K_m$  na faixa de  $10 \mu\text{mol L}^{-1}$  em ambientes com maiores concentrações, relacionando a atividade dos transportadores de menor afinidade pelo Zn.

Os resultados obtidos nesse experimento demonstram que há um incremento na velocidade de absorção de zinco pela Alface-d'água nas maiores concentrações desse elemento na solução nutritiva, característica que torna essa planta muito promissora para utilização em projetos de recuperação de corpos hídricos contaminados com esse metal.

A Figura 3 apresenta a variação da biomassa e da razão raiz/parte aérea da Alface-d'água cultivada nas soluções nutritivas em diferentes doses de contaminação, a fim de demonstrar o efeito da absorção de Zn no desenvolvimento da planta.

Após 93 horas de cultivo, foi observado que os diferentes tratamentos afetaram negativamente o crescimento da Alface-d'água, reduzindo 15 e 10% da sua massa na menor e maior dose de contaminação, respectivamente ( $27,5$  e  $275 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ). A razão raiz/parte aérea permaneceu abaixo de 1 nos dois tratamentos avaliados, evidenciando uma maior participação da parte aérea na massa total da planta.

Esses resultados sugerem que a planta sob estresse, priorizou o desenvolvimento da parte aérea em detrimento das raízes, possivelmente, para manutenção da atividade fotossintética para sua sobrevivência e também devido a maior toxicidade do zinco nesse órgão que teve contato direto com a solução contaminada e maior acúmulo deste metal. A menor participação das raízes neste cenário não afetou os parâmetros cinéticos de absorção (Tabela 1), provavelmente, devido ao elevado número de sítios de absorção, como já comentado anteriormente.



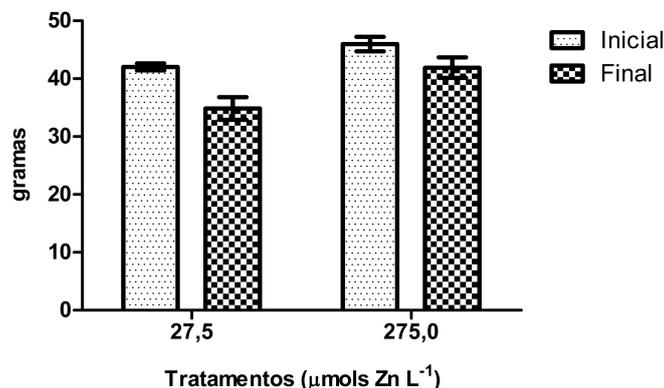


# XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [pocos.com.br](http://pocos.com.br)



**Figura 3.** Variação da biomassa da Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) e razão raiz/parte aérea após 93 horas de cultivo em solução nutritiva contaminada com diferentes doses de zinco.

## Conclusões

- A absorção de Zn pela Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) não provocou variações significativas no pH das soluções nutritivas com as diferentes doses avaliadas, devido ao transporte desses elementos ser do tipo uniporte;
- A absorção de Zn pela Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) apresentou duas fases, sendo uma considerada rápida e uma fase lenta de remoção do elemento;
  - As maiores velocidades de absorção ( $V_{max}$ ) de Zn pela Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) foi alcançada nas maiores concentrações do metal na solução, favorecendo sua utilização em projetos de fitoextração;
  - As maiores doses de contaminação de Zn influenciaram negativamente a produção de biomassa da Alface-d'água.

## Agradecimentos

FAPERJ, PPGCTIA, UFRRJ, UFF e UniFOA.

## Referências Bibliográficas

ALVES, L. S., JUNIOR, T., VERGARA, C., FERNANDES, M. S., SANTOS, A. M. D., & SOUZA, S. R. D. (2016). Soluble fractions and kinetics parameters of nitrate and ammonium uptake in sunflower ("Neon" Hybrid). *Revista Ciência Agronômica*, 47(1), 13-21.

CLAASSEN, N; BARBER O. Roots of Intact Plants. *Plant physiology*, v. 54, n. 4, p. 564–568, 1974. ER, S a. A Method for Characterizing the Relation between Nutrient Concentration and Flux int.

DAS, S.; GOSWAMI, S.; TALUKDAR, A. Das. A study on cadmium phytoremediation potential of water lettuce, *Pistia stratiotes* L. *Bulletin of Environmental Contamination and*



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS  
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016  
[www.meioambiente.pocos.com.br](http://www.meioambiente.pocos.com.br)

Toxicology, v. 92, n. 2, p. 169–174, 2014.

FAQUIN, Valdemar. *Nutrição Mineral De Plantas*. Ufla/Faepe, p. 183p., 2005. Disponível em: <[http://www.dcs.ufla.br/site/\\_adm/upload/file/pdf/Prof\\_Faquin/Nutri%C3%A7%C3%A3o\\_mineral\\_de\\_plantas.pdf](http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Nutri%C3%A7%C3%A3o_mineral_de_plantas.pdf)>.

FARNESE, F. S., OLIVEIRA, J. A., LIMA, F. S., LEÃO, G. A., GUSMAN, G. S., & SILVA, L. C. (2014). Evaluation of the potential of *Pistia stratiotes* L.(water lettuce) for bioindication and phytoremediation of aquatic environments contaminated with arsenic. *Brazilian Journal of Biology*, 74(3), S108-S112.

GUERINOT, M. L. The ZIP family of metal transporters. *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*, v. 1465, n. 1-2, p. 190–198, 2000.

OLIVEIRA, J. A. D., CAMBRAIA, J., CANO, M. A. O., & JORDÃO, C. P. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e de salvínia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 13, n. 3, 2001.

SAIER, M H. A functional-phylogenetic classification system for transmembrane solute transporters. *Microbiology and molecular biology reviews : MMBR*, v. 64, n. 2, p. 354–411, 2000.

VESELY, T., NEUBERG, M., TRAKAL, L., SZAKOVA, J., TLUSTOJA, P. Water lettuce *pistia stratiotes* L. response to lead toxicity. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 223, n. 4, p. 1847–1859, 2012.

ZHAO, H; EIDE, D. The yeast ZRT1 gene encodes the zinc transporter protein of a high-affinity uptake system induced by zinc limitation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 93, n. March, p. 2454–2458, 1996.