

Potencial de remoção de cobre do solo por técnica de fitorremediação

A contaminação por cobre está relacionada com rejeitos de mineração e a agricultura sendo que um dos contaminantes é o fungicida sulfato de cobre. A fitorremediação tornou-se uma possibilidade muito viável, com baixo custo de implantação e resultados satisfatórios. E neste processo são utilizadas espécies vegetais na recuperação de ambientes contaminados. Este trabalho objetivou: a verificação da eficiência das espécies vegetais *Chrysopogon zizanioides* e *Cyperus rotundus* na absorção de cobre; a redução da quantidade de cobre no solo tratado; o tempo necessário para o efeito das plantas na redução da concentração de cobre, e analisou parâmetros físicos e químicos do solo tratado. O experimento foi realizado em três blocos inteiramente casualizados, com diferentes concentrações, com base nos valores orientadores de qualidade, prevenção e intervenção estabelecidos pela CETESB. Foram coletadas amostras, de solo, raízes e partes aéreas das plantas, e estatisticamente, foram catalogados os resultados de eficácia do tratamento.

Palavras-chave: Fitorremediação; Tratamento; Eficiência de remoção; Descontaminação.

Potential for removing copper soil by phytommediation technique

Contamination by copper is related with mining tailings and agriculture and one of these poisonings is copper sulfate fungicide. Fitorremediation became a very viable possibility with low cost and satisfactory results. And, in this process, plant species are used in the recovery of contaminated environments. This research work was aimed at: verification of the efficiency of plant species *Chrysopogon zizanioides* and *Cyperus rotundus* in the copper absorption; reduction of the amount of copper in treated soil; the time required for the effect of the concentration of copper and analysis of the physical and chemical parameters of treated soil. The experimente was made in three fully casual blocks, in diferent concentrations, based on the guiding values of quality, prevention and intervention settled down by CETESB. It was collected soil, roots and aerial pars of plants samples and, statistically, treatment efficacy results were cataloged.

Keywords: Phytoremediation; Treatment; Removal efficiency; Decontamination.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **01/04/2021**

Approved: **28/04/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Alexandre Tourino Mendonça 
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8953958720405447>
<http://orcid.org/0000-0001-6339-392X>
alexandretourino@gmail.com

Caio Cesar Andrade dos Santos
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9969110866857988>
professorcaiocesar@hotmail.com

Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques 
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6991929220004023>
<http://orcid.org/0000-0001-6646-0809>
rosangela.marques@unincor.edu.br

Alisson Souza de Oliveira 
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6716188774645620>
<http://orcid.org/0000-0001-7885-9542>
alissonso@hotmail.com

Claudiomir da Silva Santos 
Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7460335760795185>
<http://orcid.org/0000-0002-0007-7273>
claudiomirsilvasantos@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0040

Referencing this:

MENDONÇA, A. T.; SANTOS, C. C. A.; MARQUES, R. F. P. V.; OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, C. S.. Potencial de remoção de cobre do solo por técnica de fitorremediação. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.4, p.520-529, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0040>

INTRODUÇÃO

O lançamento de resíduos na atmosfera, na água ou no solo, caracteriza poluição ambiental. A partir da revolução industrial ações antrópicas têm aumentado a exploração dos recursos naturais para o progresso e desenvolvimento da população.

O Brasil situa-se entre os países mais poluidores do mundo (BRAGA, 2005). Dejetos humanos, resíduos industriais e produtos químicos utilizados na agricultura vêm poluindo o solo e água, assim como os gases liberados por veículos e fábricas poluem a atmosfera constantemente.

A contaminação dos solos por metais pesados representa uma grave forma de poluição, os metais são considerados os poluentes ambientais que mais abalam a saúde pública. A presença dos mesmos no solo ocorre naturalmente, porém quando adicionado a ações antrópicas podem causar vários danos. Os metais pesados necessitam de maior atenção dentre os contaminantes, pois são tóxicos em pequenas concentrações. A bioacumulação é outra característica importante, este processo afeta todos os níveis tróficos da cadeia alimentar e é chamado de biomagnificação (ALI et al., 2013). A toxicidade dos metais afeta o desenvolvimento das plantas (ROMEIRO et al., 2013; ALMEIDA, 2008; ARAUJO et al., 2013) e o comportamento das comunidades de micro-organismo do solo.

O uso de tecnologias adequadas e com menor custo, ou seja, sistemas de tratamento com baixo consumo de energia e alto grau de eficiência tornaram-se indispensáveis. As técnicas convencionais de tratamento de áreas contaminadas são, geralmente, caras, necessitam de muita mão de obra, atingem negativamente os microrganismos do solo e, além do mais, existe o risco de contaminação secundária na utilização de outras substâncias químicas ou no transporte do material removido para áreas adequadas (USEPA, 2000). Neste contexto, a fitorremediação vem despertando o interesse como alternativa para o tratamento de ambientes poluídos utilizando plantas na absorção de contaminantes no solo e água (USEPA, 2000; ALI et al., 2013).

Os mecanismos de fitorremediação mais conhecidos são: fitoextração, fitofiltração, fitoestabilização e fitovolatização. No meio desses mecanismos a fitoextração tem apresentado maior interesse dos pesquisadores devido à possibilidade de certas espécies de plantas serem hiperacumuladoras de metais pesados. Na tentativa de maximizar a fitoextração e o corte sucessivo da parte aérea das espécies, plantas com alta capacidade de rebrotação podem viabilizar a técnica e as novas brotações e folhas jovens atuam como dreno de reservas (ZENY et al., 2016).

Este trabalho tem como objetivo: identificar o potencial das espécies vegetais *Chrysopogon zizanioides* (Capim Vetiver) e *Cyperus rotundus* (Tiririca) no tratamento de solos contaminados por cobre; observar a redução da quantidade de cobre em solo tratado com as espécies vegetais; estimar o tempo necessário para o efeito das plantas na redução da concentração de cobre, minimizando o risco de contaminação do lençol freático, e analisar parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo tratado com essas espécies.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em ambiente protegido da fazenda experimental da Universidade Vale do Rio Verde – UNINCOR. A fazenda experimental fica localizada na cidade de Três Corações – MG, a posição geográfica da fazenda é latitude 21°43'06-97 "S"; longitude 45°13'55-14W "O". O município de Três Corações possui clima quente e temperado, classificado como Cwa de acordo com a Koppen e Geiger, a temperatura média é de 20.2 °C, fevereiro é o mês mais quente com temperatura média de 23.2°C e junho é considerado o mês mais frio com temperatura média de 16.2°C.

A montagem do experimento ocorreu no dia 04/10/2018. Os recipientes utilizados no experimento eram de polietileno preto, com capacidade para 5,5 litros. Os recipientes foram perfurados na parte inferior para que se evitasse o acúmulo de água. O solo utilizado na realização do experimento é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférrico. Utilizou-se 2,5 kg de solo, retirado a uma profundidade de 25 cm com auxílio de um trado holandês e colocados nos recipientes, os quais posteriormente, foram dispostos em ambiente protegido, para que não houvesse interferência de intempéries.

Para a montagem do experimento foram utilizadas concentrações baseadas na legislação CETESB, que estabelece valores orientadores de qualidade 35 mg.Kg-1, prevenção 60 mg.Kg-1, e intervenção 400 mg.Kg-1. O cobre foi aplicado como solução de sulfato pentahidratado (CuSO₄. 5H₂O) puro para análise. Entretanto, se fez necessário a realização de cálculos estequiométricos para se obter a quantidade de cobre purificado para o desenvolvimento do trabalho. Na estequiometria desenvolvida foram estabelecidos os valores de 219,77 mg, para valores de qualidade, 376,75 mg, para valores de prevenção e 2511 mg, para valores de intervenção.

Foram utilizadas as espécies vegetais *Crypsopogon zizanioides* (Capim Vetiver) e *Cyperus rotundus* (Tiririca) pelo rápido desenvolvimento e grande capacidade de absorção de contaminantes do solo, de acordo com a literatura. O Capim Vetiver desenvolve um enraizamento muito intenso e bastante profundo, alcançando cinco metros de profundidade, favorecendo a formação de biofilme e potencializando a estabilização da matéria orgânica presente no tratamento (PEREIRA, 2006).

As espécies vegetais foram coletadas no horto da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Estas foram acondicionadas e transportadas para o local do experimento. Posteriormente foram transplantadas, sendo o plantio uma muda pra cada recipiente totalizando 12 plantas por tratamento.

Coleta e Análises laboratoriais

Visando identificar o potencial de fitorremediação e possíveis influências do cobre nas espécies vegetais e no solo, foi realizada a caracterização química do solo (no início e ao final do experimento) e das espécies vegetais, as quais foram realizadas no Laboratório SEMEAR da Universidade Vale do Rio Verde, de acordo com metodologia proposta por Silva (2009).

Para análise de solo no início do experimento, sem a mistura com o sulfato de cobre, foi coletada

uma amostra simples de solo deformada na camada de 0 a 30 centímetros, sendo retirados os primeiros 5 centímetros de modo a separar a camada superficial de matéria orgânica, com auxílio do trado holandês. A amostra composta foi totalizada em 300 gramas para posterior análise do solo, e esta análise foi retirada no intuito de verificar a quantidade de cobre presente no solo antes da realização do experimento. Ao final do experimento coletaram-se amostras de cada recipiente de maneira a amostrar a superfície e profundidade, sendo homogeneizada com intuito de verificar a quantidade de contaminante presente no solo após o experimento de fitorremediação.

As variáveis do solo analisadas foram: Fósforo (P), Potássio (K), Sódio (Na), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al). Para as espécies vegetais foram realizadas análises laboratoriais de folha, caule e raiz da *Cyperus rotundus* (Tiririca) e de *Chrysopogon zizanioides* (Capim Vetiver) ao final do experimento, decorrentes da saturação pelas plantas e susceptibilidade, como aconteceu para a *Cyperus rotundus* dia 15/10/2018, após 4 dias de plantio ou ao final do ciclo de cultivo como no caso do Capim Vetiver, sendo as análises realizadas no dia 07/01/2019, 80 dias de experimento, conforme mencionado anteriormente.

As amostras foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente encaminhadas ao laboratório para as análises de macro e micronutrientes. Dentre os macronutrientes foram avaliados: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), e Enxofre (S), e os micronutrientes análises de: Cobre (Cu), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Ferro (Fe).

Delineamento Experimental e caracterização do experimento

O delineamento experimental utilizado no experimento foram blocos inteiramente casualizados num esquema fatorial 3x4, com 3 tratamentos plantas (sendo controle, tiririca e capim vetiver) e 4 concentrações (0 mg.L⁻¹, 219,77 mg.L⁻¹, 376,75 mg.L⁻¹, 2511 mg.L⁻¹). Com três repetições totalizando 36 parcelas, ou seja, 12 tratamentos x 3 repetições. A variável resposta a ser avaliada no experimento será a quantidade de cobre absorvida.

Análises estatísticas

Os dados amostrados foram submetidos a análise de variância, ao teste de média de Scott-Knott a nível de significância 5%, sendo também realizado análise de regressão pelo programa SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise nutricional e demanda pelas espécies vegetais

Segundo Troung et al. (2008), *Chrysopogon zizanioides* e *Cyperus rotundus* possuem grande tolerância a secas prolongadas, inundações e a temperaturas que variam desde -15° C a +55° C, sendo também tolerante a uma faixa de pH no solo que vai de 3,3 a 12,5. O mesmo autor ressalta ainda, a sua alta

tolerância a Al, Mn e a metais pesados, como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se, Cu e Zn, suportando, também, solos salinos e sódicos e com alto índice de Manganês. Outras características citadas são a sua tolerância a herbicidas e pesticidas e a eficiência em absorver N, P, Hg, Cd e Pb dissolvidos em corpos hídricos, podendo, assim, ser usado em técnicas de biorremediação. Na tabela abaixo pode-se observar os resultados das análises de solo antes da implantação das espécies vegetais e ele não apresenta nenhum fator que impossibilitasse o desenvolvimento das plantas). A análise de nutrientes no solo está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Análise de nutrientes do solo antes do início do experimento.

Solo início do experimento										
P	K	Na	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg. dm ⁻³			cmolc. dm ⁻³			mg. dm ⁻³				
1,44	46,00	0,00	0,56	0,61	0,00	0,12	1,30	27,20	4,50	0,30

Potencial de remoção do cobre pelas espécies vegetais

Na Tabela 2 e Figura 1 são apresentados os resultados das análises estatísticas das espécies *Cyperus rotundus* e *Chrysopogon zizanioides* na remoção de cobre do solo.

Tabela 2: Análise estatística das plantas fitorremediadoras (Tiririca e Vetiver) em função das diferentes concentrações de cobre.

Planta	Tratamento			
	C0	C1	C2	C3
Vetiver	161,98Aa	1242,33Aa	1239,33Aa	1244,33Aa
Tiririca	261,98Aa	41420,00Ab	27990,00Ab	58870,00Ab

*Valores seguidos da mesma letra maiúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si dentro para as diferentes concentrações de cobre, assim como valores seguidos da mesma letra minúscula na vertical não diferem entre plantas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

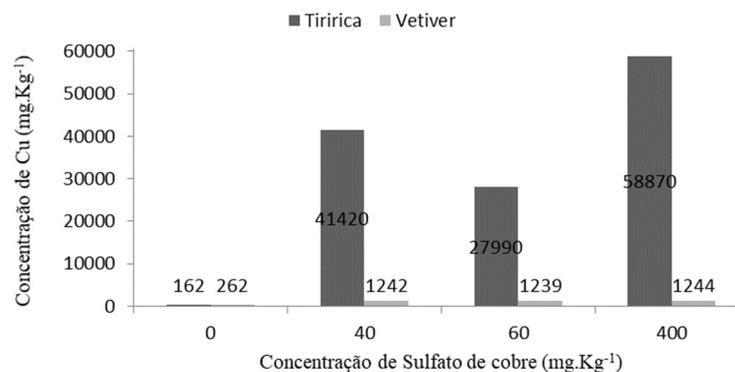


Figura 1: Concentração de cobre nas plantas fitorremediadoras (Tiririca e Vetiver) em função das diferentes concentrações de cobre (mg.Kg⁻¹).

Nas plantas 1 e 2 (tiririca e vetiver) não foi observado diferença significativa entre as médias em relação às diferentes concentrações. A variação entre os valores das médias foi de 161,98 mg.Kg⁻¹ a 58870 mg.Kg⁻¹ e 262,0 mg.Kg⁻¹ a 1244,0 mg.Kg⁻¹ para os tratamentos de 0 mg.Kg⁻¹ (C0) e 400 mg.Kg⁻¹ (C3), para a tiririca e vetiver respectivamente.

Entre as plantas observou-se diferença estatística para os tratamentos C1, C2 e C3, sendo que a espécie *Cyperus rotundus* mostrou-se mais eficiente na remoção de cobre. Para a concentração 0 não houve diferença significativa, podendo ser explicado possivelmente pelas características fisiológicas das plantas,

sendo que a *Cyperus rotundus* apresenta em seu metabolismo um potencial maior de absorção do elemento em estudo. De acordo com Tavares et al. (2012), o potencial de fitorremediação de metais pesados é alto em espécies que possibilitam vários cortes da parte aérea sem necessidade de replantio e as plantas em estudo possuem as mesmas características.

A capacidade fitorremediadora da espécie vegetal *Cyperus rotundus* na remoção de chumbo foi estudada por Romeiro et al. (2007). As concentrações de chumbo utilizadas no estudo foram 100, 200 e 400 mmol.L⁻¹. As plantas acumularam a maior parte do chumbo em seu sistema radicular, removendo em média 80% das concentrações.

O período entre o plantio e a coleta das amostras foi de 4 dias, sendo este considerado curto devido ao grande potencial de remoção apresentado pela espécie vegetal *Cyperus rotundus*. A absorção excessiva causou a morte da planta e se fez necessário a remoção da mesma, evitando uma recontaminação por meio da sua decomposição, e recomendado o descarte da mesma em local apropriado, sendo este em aterro sanitário de classe 1, devido às características de periculosidade. Com isso, a espécie torna-se uma excelente opção para tratamento de áreas poluídas com cobre.

Deve-se ressaltar, porém, que a introdução da Tiririca apesar de ter uma eficiência elevada, é necessário a manutenção desses sistemas diariamente e a retirada do material quando da morte das plantas, para evitar a poluição. Andrade et al. (2007) ressalta que a viabilidade econômica da fitorremediação varia, pois, depende da composição de preços no processo, como, por exemplo, os custos com a mão de obra e local de insumos agrícolas e as condições climáticas também podem influenciar nos custos e na eficácia da tecnologia.

A espécie vegetal *Chrysopogon zizanioides* apresentou maior resistência ao contato com o poluente, ficando exposta ao mesmo por 80 dias, no entanto seu potencial de remoção foi inferior aos resultados apresentados pela espécie *Cyperus rotundus*. Segundo Philippe et al. (2015) é necessário selecionar espécies tolerantes que sejam capazes de produzir grande biomassa na parte aérea e desenvolver um sistema radicular saudável, e a planta em questão apresenta tais características fisiológicas, justificando sua permanência e desenvolvimento em exposição ao cobre.

Lima et al. (2009) avaliando a capacidade de *Chrysopogon zizanioides* em desenvolver técnica de fitorremediação de solos contaminados com cádmio e chumbo, utilizou o espectômetro de absorção atômica com chama para as leituras dos metais, os dados foram promissores e apontaram potencial de absorção de chumbo (17,35 mg.kg⁻¹) e cádmio (12,65 mg.kg⁻¹), sendo a maior concentração dos elementos foi observada nas partes áreas das plantas (folhas).

Comparando as tecnologias existentes, a fitorremediação comprova que é viável, mesmo havendo custos com monitoramento e práticas agrícolas, uma vez que sua aplicação é "in situ". O desenvolvimento desta prática é de duas a quatro vezes menores do que os custos para escavação e aterramento do solo contaminado (SCHNOOR, 2002).

Na Figura 2 são apresentados os resultados do balanço com as concentrações do solo após a remoção de Cobre pelas espécies vegetais (Tiririca e Vetiver) e é possível observar que as maiores concentrações

presentes no solo foram com a remoção da Tiririca que, apesar de ter absorvido as maiores concentrações, muito possivelmente foi devido ao curto período de tempo que a mesma suportou ao experimento.

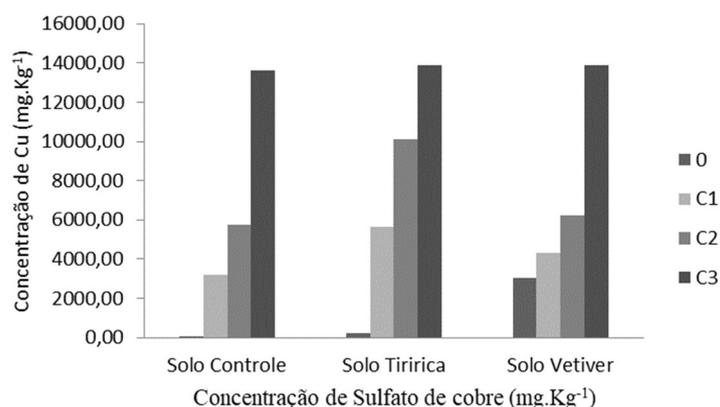


Figura 2: Concentração de sulfato de cobre nas plantas fitorremediadoras (Tiririca e Vetiver) em função das diferentes concentrações de cobre (mg.Kg⁻¹).

Características dos Solos

Na Tabela 3 são apresentados os testes estatísticos para as diferentes concentrações de cobre no solo ao final do experimento. A análise estatística foi realizada através da comparação das concentrações residuais (C0, C1, C2 e C3) nos 3 tipos de solo (Tiririca (1), Vetiver (2) e Controle (3)).

Tabela 3: Análise estatística das concentrações de cobre residuais no solo a final do experimento.

Solos	Solo tiririca	Solo c. Vetiver	Solo controle
Concentração (0)	635,33 Aa	3050,00 Ba	1174,33 Ca
Concentração (1)	5660,00 Aa	4329,00 Ba	3214,00 Ca
Concentração (2)	10105,90 Ab	6213,66 Ba	5754,33 Ca
Concentração (3)	13865,33 Aa	13863,66 Ba	13611,68 Ca

*Valores seguidos da mesma letra minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si para as diferentes concentrações de cobre, e valores seguidos de letra maiúscula na horizontal diferem em tipos de solo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Observa-se que não houve diferença significativa entre os diferentes tipos de solo, ou seja, as concentrações residuais podem ser consideradas iguais. Houve diferença significativa somente no solo Tiririca em relação aos demais solos (Vetiver e Controle). No solo Tiririca a concentração C2, a quantidade de cobre residual foi maior (10105,90 mg.Kg⁻¹), o que pode ser entendido como maior retenção de Cu por esse solo. No solo Vetiver concentração C0 verificou-se uma elevada concentração de cobre, que pode ser entendida como uma possível contaminação originada pelo vento que levou grãos de sulfato e cobre até o recipiente C0.

Nos dados observa-se que no solo onde não houve intervenção com as plantas a quantidade de cobre residual é menor que a quantidade verificada no solo tratado com *Cyperus rotundus* e *Chrysopogon zizanioides*, porém não foram verificadas diferenças significativas. Em relação às menores concentrações observadas no solo controle, pode-se associar a um maior processo de lixiviação, haja vista a inexistência de espécies vegetais.

Algumas espécies de plantas como *Cyperus rotundus* e *Chrysopogon zizanioides* têm a capacidade de estabilizarem metais pesados na rizosfera (SALT, 1998; ARAÚJO, 2000; GUILHERME, 2002), minimizando o

potencial de lixiviação pela adsorção do poluente na raiz, pela capacidade de troca catiônica radicular, ou com a absorção e acumulação nas raízes via apoplasto ou precipitação dentro da rizosfera (GUILHERME, 2002). Podendo ocorrer também pela estabilização da erosão do solo com a cobertura vegetal e na modificação dos metais em formas menos deletérias (ZENY et al., 2016). Esses fatores determinam que solos sem vegetação estão mais propensos a sofrer lixiviação e explica a diferença de cobre residual encontrado no solo controle (sem planta) e no solo em tratamento com as espécies vegetais.

Corroborando com os resultados de menores concentrações no solo controle (Tabela 3) é apresentado na Tabela a seguir (Tabela 4), características de solos e sua influência no processo de adsorção de íons metálicos.

Tabela 4: Valores médios da análise química das características que afetam o processo de adsorção (pH, CTC, e t) do solo no início e no final do experimento.

Tipo	Concentrações	pH	T (cmolc. dm ⁻³)	t (cmolc. dm ⁻³)
Solo Antes	-	6,13	2,59	1,29
Solo Controle	C0	5,85	4,18	2,46
	C1	5,23	6,85	3,16
	C2	4,99	13,49	4,91
	C3	4,49	31,11	6,9
Solo Tiririca	C0	6,05	5,84	1,74
	C1	5,03	11,27	6,86
	C2	4,88	19,59	5,57
	C3	4,24	46,28	6,02
Solo Vetiver	C0	5,96	4,61	2,64
	C1	5,17	10,55	2,67
	C2	5,08	12,27	2,16
	C3	4,38	38,95	8,41

Legenda: pH em água e CaCl₂ - Relação 1:2,5; H + Al- Extrator: SMP; SB= Soma de Bases Trocáveis CTC;(t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0.

A capacidade de troca catiônica (CTC) é uma medida da distribuição das cargas elétricas disponíveis na superfície das partículas do solo para a retenção de água e cátions dispersos na solução do solo. Os valores de CTC de um solo dependem da classe textural, do tipo de mineral de argila presente e do teor de matéria orgânica (COSTA, 1999). Latossolos tem predominância de argila, e pH entre 5 e 7, tendem a apresentar CTC elevada (BRADY, 1989), tais características estão presentes no solo em estudo.

Segundo Rocha (2018) o adsorvente em solução aquosa pode adsorver íons OH⁻ ou H⁺, sendo que a carga superficial das partículas irá depender do pH. Assim, os grupamentos superficiais de cada sítio ativo do adsorvente podem dissociar ou associar prótons da solução, dependendo das propriedades do adsorvente e do pH da solução. No presente estudo, observa-se um pH inferior a 7,0, sendo considerado ácido e, como consequência a superfície dos sítios ativos torna-se positivamente carregada quando se associa com os prótons provenientes da solução (ROCHA, 2018). Sendo ainda que os cátions presentes (K, S, Na, Ca, Mg, Al) concorram com o Cobre, aumentando a disponibilidade do contaminante no solo, fazendo que o mesmo lixivie para as camadas mais profundas, é possível explicar a lixiviação no solo controle justificando maiores concentrações de cobre ultrapassando os valores de qualidade, prevenção e controle no mesmo.

CONCLUSÕES

O resultados apresentados pelas análises feitas, mostraram que as espécies vegetais *Chrysopogon zizanioides* (Capim Vetiver) e *Cyperus rotundus* (Tiririca) possuem potencial para fitorremediação de solo contaminado por cobre. A espécie vegetal *Cyperus rotundus* (Tiririca), mostrou grande potencial na remoção de cobre, sua permanência em contato com o contaminante foi por um breve período, quatro dias, devido a suscetibilidade da planta ao contaminante. Já a espécie *Chrysopogon zizanioides* (Capim Vetiver) permaneceu em contato com o contaminante por um período maior de tempo, 80 dias, porém os resultados apresentados foram menores, a planta absorveu uma quantidade inferior q a *Cyperus rotundus* (Tiririca). Mas é importante ressaltar que o Capim Vetiver apresenta uma viabilidade maior de implantação, pois o mesmo é mais resistente ao contaminante, o que diminui gastos com os processos de retirada das plantas mortas, o que aconteceria com muita mais frequência com a Tiririca.

Nas análises estatísticas do solo, não houve diferenças significativas. No entanto o solo controle, ou seja, sem tratamento com as plantas observou-se uma quantidade menor de cobre residual, este resultado se dá pela ausência de cobertura vegetal, que facilita o processo de lixiviação do cobre. O solo tratado com as espécies vegetais teve um percentual maior de cobre residual, enfatizando a importância de plantas para minimizar a quantidade de material lixiviado.

Independente da quantidade de cobre absorvido, o desenvolvimento da técnica de fitorremediação na remoção de cobre do solo se mostrou eficaz tanto na absorção feita pelas plantas quanto na redução da quantidade de cobre que poderia ser lixiviado para camadas mais profundas do solo atingindo e contaminando águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A.. Phytoremediation of heavy metals: concepts and applications. **Chemosphere**, v.91, n.7, p.869-881, 2013.

ALMEIDA, D. L.. **Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro**. Itaguaí, 2008.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F.. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. DOI: <http://doi.org/10.15628/holos.2013.1852>

ARAÚJO, B. S.. **Tolerância e metabolismo de compostos xenobióticos por raízes de *Daucus carota* transformados pela *Agrobacterium rhizogenes***. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Alagoas, Maceió, 2000.

BRADY, N. C.. **Natureza e propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRAGA, B.. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

COSTA, A. C. S.; TORINO, C. A.; RAK, J. G.. Capacidade de troca catiônica dos colóides orgânicos e inorgânicos de latossolos do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**.

Agronomy, v.21, p.491-496, 1999. DOI: <http://doi.org/10.4025/actasciagron.v21i0.4262>

FERREIRA, D. F.. **Sistemas de análise estatística para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2006.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.. Elementos traços em solos, sedimentos e águas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5. **Anais**. Belo Horizonte, 2002.

LIMA, F. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; SIVA, F. B. V.; CARVALHO, V. G. B.; RIBEIRO FILHO, M. R.. Lead concentration and allocation in vegetable crops grown in a soil contaminated by battery residues. **Hortic. Bras.**, Brasília, v.27, n.3, p.362-365, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0102-05362009000300019>

PEREIRA, A. R.. Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas. **Boletim Técnico**, v.1, n.3, 2006.

PHILIPPE, A. G.; PETIT, M.; MASOTTI, V.; MONNIER, Y.; MALLERET, L.; COULOMB, B.; COMBROUX, I.; BAUMBERGER, T.; VIGLIONE, J.; LAFFONT-SCHWOB, I.. Selection of wild macrophytes for use in constructed wetlands for phytoremediation of contaminant mixtures. **Journal of**

Environmental Management. v.147, p.108-123, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.009>

ROCHA, A. F. B.. **Avaliação de materiais alternativos como adsorventes na remoção de ureia em efluentes industriais.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

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**, v.66, n.2, p.327-334, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0006-87052007000200017>

SALT, D. E.; SMITH, R. D.; RASKIN, I.. Phytoremediation. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Biol.**, v.49, p.643-668, 1998. DOI: <http://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643>

SCHNOOR, J. L.. Phytoremediation of Soil and Groundwater.

In: **Bioremediation and Bioeconomy.** Ground Water Remediation Technologies Analysis Center, 2002. p.589-608. DOI: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-802830-8.00023-X>

SILVA, F. C. S.. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

TAVARES, S. R. L.; OLIVEIRA, S. A.. **Fitorremediação de metais pesados em solo induzido por agente quelante utilizando o capim vetiver.** Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2012.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Introduction to Phytoremediation.** Cincinnati: USEPA, 2000.

ZENY, B.; TROJAN, D. G.. Hormônios de plantas: uma prospecção sobre suas descobertas e aplicações. **Revista Techno Eng.**, v.1, n.11, 2016.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.