



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## AVALIAÇÃO DA PRESSÃO DE INJEÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE FERRO PARA REMEDIAÇÃO DE UM SOLO ARGILOSO CONTAMINADO COM CROMO HEXAVALENTE

### **Cleomar Reginatto**

Professor Dr. Universidade, Passo Fundo  
cleomar@upf.br

### **Marcos Mognon**

Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental. Universidade Passo Fundo  
marcosmonhon@hotmail.com

### **Ramiro Reginatto**

Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental. Universidade Passo Fundo  
ramiro\_regnato@hotmail.com

### **Antônio Thomé**

Professor Dr. Universidade, Passo Fundo  
thome@upf.br

### **Jordana Flores**

Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental. Universidade Passo Fundo  
Jor\_flores@hotmail.com

**Resumo.** As atividades antrópicas, inevitavelmente geram resíduos, muitos destes perigosos, como o cromo hexavalente. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a influência da pressão na remediação de um solo argiloso, contaminado com cromo hexavalente, utilizando nanopartículas de ferro zero valente. O ensaio foi realizado em um equipamento de coluna, conforme a norma ASTM D4874, utilizando corpos de prova deformados, contaminados com cromo hexavalente. Nos corpos de prova foi percolado uma suspensão de nano ferro zero valente (4g/L) em diferentes pressões: 10kPa, 30kPa e 100kPa. Após a percolação, os corpos de prova foram desestruturados e analisados conforme as normas USEPA 3060A e USEPA 7196A. O melhor valor de eficiência foi de 47,21%, para a pressão de 100 kPa. A formação de oxi-hidróxidos de ferro e cromo reduziram a mobilidade do nano ferro no solo e conseqüentemente a sua eficiência.

**Palavras-chave:** Nanopartículas de ferro  
Cromo hexavalente; solo argiloso.

### **1. INTRODUÇÃO**

Toda atividade antrópica gera resíduo. As atividades industriais exigem maior atenção pela quantidade e periculosidade dos seus resíduos. Dentre as atividades industriais, existem vários processos que utilizam cromo hexavalente, e que geram resíduos ou efluentes contendo esse contaminante. A presença de várias indústrias deste tipo, aliado a falta de informação sobre a situação das áreas chama ainda mais atenção para o problema (Moreaes et.al [1]).

O cromo hexavalente é tóxico, pode induzir a patologias mutagênicas em um nível crônico de exposição e consideravelmente móvel no solo (Ohgami [2], Bhattacharya [3]). Por outro lado, a sua expressão reduzida, o cromo trivalente é

pouco tóxico e menos móvel (Conceição [4]).

Diversas tecnologias vindo sendo desenvolvidas e aplicadas, para remediação dessas áreas contaminadas. Dentre as diversas tecnologias, o uso de nano materiais como o nano ferro de valência zero vem se destacando pela sua viabilidade econômica, baixa toxicidade, e elevada reatividade. (Anjun [5], Padmavathy [6]). Outra característica importante, por estar em escala nano, o nFeZ possui grande área superficial, tornando a reação mais rápida e eficiente Wang e Zhang [7]. O nano ferro pode ser aplicado para o tratamento de compostos orgânicos como inorgânicos presentes em águas ou solo (Saccocio et al. [8]).

Para a aplicação in situ a mobilidade das nanopartículas no solo contaminado se faz importante. Nesse sentido o objetivo do trabalho, foi avaliar a remediação de um solo argiloso, contaminado com cromo hexavalente, com o uso de nanopartículas de ferro zero valente testando a influência de diferentes pressões de injeção

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Geotécnica Ambiental, localizado no Centro de Tecnologia (CETEC) da Universidade de Passo Fundo (UPF), no município de Passo Fundo.

### 2.1 Solo

O solo utilizado na pesquisa, foi coletado no horizonte B, a uma profundidade de 1,5 metros a partir de uma vala aberta no campus experimental de geotecnia da UPF. O mesmo é caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico húmico. Segundo estudo prévio realizado por Cecchin et al. [9] o solo tem como características: argila 68%, silte 5%, areia fina 27%, pH 5,4, porosidade 54%, condutividade hidráulica  $1,39E^{-5}$ cm/s, peso específico real dos grãos  $26,7$ kN/m<sup>3</sup>, umidade de campo 34%.

Os corpos de prova foram moldados, em 5 camadas de 1cm, com escarificação entre as camadas, para se ter um corpo de prova mais homogêneo. Suas dimensões foram de 5cm de diâmetro e 5cm de altura. A moldagem foi feita com um o auxílio de um moldador e compactado de forma estática, buscando assemelhar a amostra com suas características de campo. Sabendo que a umidade do solo aumenta conforme se adiciona contaminante em forma aquosa, o volume e a concentração da solução contaminante adicionado foi previamente calculado, de modo a umidade final do solo contaminado ser igual à de campo ou 34%.

### 2.2. Contaminante

O contaminante utilizado nos experimentos foi o cromo hexavalente (Cr VI), em função da sua grande toxicidade e mobilidade no meio. O solo foi contaminado antes da moldagem, com um valor de contaminação de 2 vezes o valor de intervenção para áreas industriais descrito na resolução CONAMA 420 [10] que corresponde ao valor de 800 mg/Kg. A contaminação foi feita a partir de uma solução comercial padronizada de 10000 mg/L.

### 2.3 Nano Ferro de valência zero

Para a realização dos ensaios de remediação, foi adquirido o nano ferro em pó da empresa NANOIRO s.r [11], com o nome comercial de Nanofer Star. Seguindo as orientações do fabricante, o mesmo foi ativado, batendo em um dispersor com alta rotação (liquidificador industrial 800W) utilizando uma relação de 100g de nano ferro para 400 ml de água, por 10 min, formando assim uma suspensão com 250 g/L.

Segundo o fabricante, o nFeZ utilizado possui uma área superficial de 20-25m<sup>2</sup>/g, e constituição em massa (%), de 65 a 80 de Ferro (fe) e 20 a 30 de Magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). A Fig. 1 apresenta o equipamento utilizado

para a ativação e a suspensão de nano ferro ativada.

A partir do nano ferro ativado, foram realizadas as diluições necessárias e posteriormente os ensaios.



Figura 1. Suspensão de nFeZ ativado

## 2.4 Ensaio de remediação

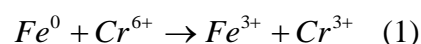
Para realização dos ensaios, foi utilizado o equipamento de coluna de parede flexível, com fluxo ascendente, baseado na norma ASTM D4874 [12]. Foram testadas diferentes pressões de injeção do nano ferro no corpo de prova – 10kPa, 30kPa e 100kPa para testar a influência na mobilidade das nanopartículas e na eficiência para a descontaminação do solo. A pressão confinante foi sempre de 20kPa superior a pressão de injeção. Em todos os ensaios foi utilizada uma relação de 1000mg de nFeZ para cada 23 mg de Cr (VI), sendo esta a relação que conseguiu atingir no mínimo o valor de 150 mg/Kg residual, ficando dentro do que preconiza a resolução CONAMA 420 [10], para uma área agrícola (em torno de 85% de eficiência) em ensaios prévios em bancada.

Após a passagem da suspensão de nFeZ, tanto o corpo de prova como o lixiviado foi analisado para determinação da eficiência nas diferentes pressões utilizadas.

Para melhor validação dos dados os resultados foram analisados a partir da análise de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95% ( $P < 0,05$ ), utilizando o software Statistica 5.5.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os nóx mais comum do Ferro na natureza é +2 e +3. Assim, o nano Ferro Zero-valet (nFeZ) tem o excesso de elétrons como sua principal característica, o tornando um ótimo agente redutor, atuando em uma reação de contato conforme a Eq. (1).



Os resultados da eficiência média de remoção dos corpos de prova estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados de redução de Cr (VI)

Pressão	Eficiência
10kPa	15,46%
30kPa	44,50%
100kPa	47,21%

Os valores baixos de redução do contaminante, demonstram que uma maior pressão influencia na eficiência da redução do contaminante. É possível observar a maior eficiência para a pressão de 100kPa. A análise de variância dos resultados (demonstrada na Fig.3), com um fator P de 0,022841 indica valores iguais de eficiência para as pressões 30kPa e 100kPa, mas diferente dos resultados para a pressão 10kPa.

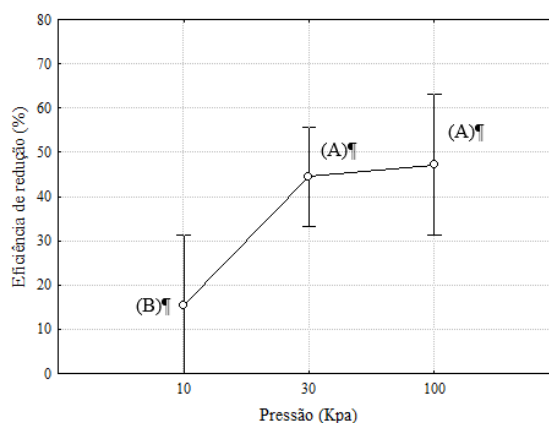


Figura 2. Análise estatística dos dados

Os valores baixos de redução do contaminante demonstram, que ocorre uma baixa mobilidade das nanopartículas, e tem-

se um considerável efeito de filtração das nanopartículas no solo. Essa baixa eficiência pode ser devido a formação de uma camada de oxi-hidróxido de ferro (FeOOH), incorporando o Cr(III) reduzido, diminuindo a reatividade e mobilidade das nanopartículas no meio. Com a formação de uma camada passiva de cromo reduzido, as nanopartículas de ferro acabam perdendo eficiência, visto que essa camada impede que todo o nano ferro seja oxidado e assim reduzir o contaminante.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C, E.; MAXIMIANO, A, M, S. Gerenciamento de áreas contaminadas. 1ª Edição. São Paulo: Páginas Letras Editora e Gráfica. 398p,2013.
- [2] OHGAMI, N. Carcinogenic risk of chromium, copper and arsenic in CCA-treated wood. *Environmental Pollution*, Nagoya, v.2016, p.546-460, 2015.
- [3] BHATTACHARYA, M. et al. Computational and experimental study of chromium (VI) removal in direct contact membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, Durgapur, v.450, p.447-456, 2014.
- [4] CONCEIÇÃO, D. et al. Redução de cromo hexavalente por bactérias isoladas de solos contaminados com cromo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, n.6, p.1661-1667, 2007.
- [5] ANJUM, M. et al. Remediation of wastewater using various nano-materials. *Arabian Journal of Chemistry*, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.10.004>>. Acesso em 31 set. 2017.
- [6] PADMAVATHY, K. S. et al. A study on effects of pH, adsorbent dosage, time, initial concentration and adsorption isotherm study for the removal of hexavalent chromium (Cr (VI)) from wastewater by magnetite nanoparticles. *Science Direct*, Kelara, 2015.
- [7] SACCOCCIO, E. M. et al. Nanotecnologia e o meio ambiente: Nanopartículas metálicas no tratamento de águas e solos contaminados por organoclorados. II Simpósio Paulista de Nanotecnologia, Bauru, 2010. Disponível em: [http://www.cmdmc.com.br/spnano2010/especific\\_files/papers/N543.pdf](http://www.cmdmc.com.br/spnano2010/especific_files/papers/N543.pdf)>. Acesso em 15 de set. de 2017.
- [8] CECCHIN, I. et al. Nanobioremediation: Integration of nanoparticles and bioremediation for sustainable remediation of chlorinated organic contaminants in soils. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.027>>. Acesso em 7 de set. de 2017.
- [9] WANG, C. e ZHANG W., Synthesizing Nanoscale Iron Particles for Rapid and Complete Dechlorination of TCE and PCBs. *Environmental Science & Technology*, Pennsylvania, v.31, 1997.
- [10] CONAMA 420. Conselho Nacional do Meio Ambiente 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620> > Acesso em : 7 set. 2017
- [11] NANOIRON. Characteristics of iron nanoparticles. *Nanoiron Future Technology*, 2008. Disponível em: <<http://www.nanoiron.cz/en/characteristics-of-iron-nanoparticles>>. Acesso em 05 nov. 2016.
- [12] ASTM D4874. Standard Test Method for Leaching Solid Material in a Column Apparatus. 1995. Disponível em: <<https://www.astm.org/Standards/D4874.htm>> Acesso em 05 nov. 2016.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O nano ferro pode ser utilizado para remediação de solo contaminado com cromo hexavalente. As pressões entre 30kPa e 100 kPa apresentam os melhores valores de eficiência, chegando a valores médios de 47,21%. A formação do oxi-hidróxido de ferro, aumenta o efeito de filtração no solo, limitando ainda mais a mobilidade das nanopartículas no meio, e conseqüentemente a eficiência de remoção do contaminante.