

REMOÇÃO DE METAIS PESADOS (Pb) DE SOLOS CONTAMINADOS VIA REMEDIAÇÃO ELETROCINÉTICA

Nice Mika Sakamoto Kaminari, nice.kaminari@gmail.com¹

Renata Bachmann Guimarães Valt, revalt@ufpr.br¹

Michele Maidel, michele.maidel@gmail.com¹

Maria José Jerônimo de Santana Ponte, mponte@ufpr.br¹

Haroldo de Araújo Ponte, hponte@ufpr.br¹

¹Universidade Federal do Paraná, Rua Cel. Francisco H. dos Santos, S/N – Centro Politecnico – Jardim das Americas – Usinas-Piloto B, Laboratório de Tecnologia Ambiental – Cx. P. 19011 – CEP 81531-990 – Curitiba – Paraná.

Resumo: Em muitas áreas no mundo, o solo tem sido seriamente contaminado, devido às práticas de disposição inadequadas e atividades industriais poluentes. O solo poluído torna-se uma ameaça ao meio ambiente por apresentar substâncias tóxicas, entre estas substâncias podemos citar os metais pesados. É importante considerar que os metais, além de causar danos ao meio ambiente, também oferecem sérios riscos à saúde humana. Como alternativa para solucionar esta ameaça, técnicas são desenvolvidas na tentativa de extrair estes contaminantes do solo, sendo uma delas a técnica da remediação eletrocinética, que tem sido considerada promissora porque apresenta um excelente potencial de recuperação de locais contaminados por metais pesados. O processo de remediação eletrocinética consiste na aplicação de uma corrente direta de baixa intensidade através do solo entre dois ou mais eletrodos. Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de remoção dos íons chumbo através da técnica de remediação eletrocinética em solos contaminados alterando parâmetros do processo como potencial aplicado, tempo de remediação e quantidade de caulim no solo. A fim de se verificar a influência destas variáveis foi utilizada a técnica de planejamento fatorial completo, buscando como função resposta a eficiência de remoção (R) do íon metálico chumbo.

Palavras-chave: remediação eletrocinética; remoção de metais pesados, planejamento fatorial completo.

1. INTRODUÇÃO

O uso de tecnologias limpas na resolução de problemas de poluição e, mais especificamente, na remoção de metais pesados de efluentes e de solos contaminados, tem levado pesquisadores (Hamed et al, 1991; Pamukcu e Wittle, 1992; Acar e Alshwabkeh, 1993; Hicks e Tondorf, 1994, Pedrazzoli, 2004, Iryoda, 2008 e Guaracho et al, 2009) a analisarem a utilização de reatores eletrocinéticos. É importante considerar que os metais, além de causar danos ao meio ambiente, também oferecem sérios riscos à saúde humana. Existe também um problema de ordem econômica devido aos custos de disposição em aterros associado ao custo da matéria prima em si (metal) que é perdida. Várias técnicas remediadoras têm sido desenvolvidas e aplicadas, algumas técnicas atualmente existentes são bastante eficientes em solos arenosos, onde os contaminantes praticamente não são adsorvidos, facilitando assim a retirada por bombeamento. No entanto, na presença de bolsões de argila os quais possuem alta capacidade de adsorção do contaminante, a remediação eletrocinética é uma opção efetiva na qual melhora a eficiência de remoção de contaminantes do solo ou até mesmo viabiliza quando as técnicas tradicionais apresentam limitações.

A remediação eletrocinética é uma técnica inovadora empregada em solos de grãos finos que consiste na aplicação de uma diferença de potencial entre eletrodos através de um volume de solo no qual é gerado um fluxo eletrosmótico e migração dos íons, sendo estes os principais mecanismos de transporte.

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de remoção de íons chumbo através da técnica de remediação eletrocinética em solos contaminados. Para tanto serão estudados parâmetros que contribuam para otimização do processo como: concentração de caulim no solo contaminado com uma solução de nitrato de chumbo (2000 ppm), potencial aplicado e tempo de remediação. Para melhor compreensão dos resultados obtidos, foi analisada a concentração de íons chumbo ao longo do reator e com o auxílio de ferramentas estatísticas obteve-se uma equação empírica que reproduziu as condições experimentais.

1.1. Remediação Eletrocinética

A remediação eletrocinética, também conhecida como processamento eletrocinético do solo, eletromigração, descontaminação eletrocinética, ou eletrocorreção, pode ser usada para extrair metais pesados e alguns tipos de resíduos orgânicos de solos e sedimentos (Acar e Alshawabkeh, 1993; Acar et al, 1995; Krishna e Supraja, 1999; Pedrazzoli, 2004; Baptista, 2005; Guaracho et al, 2009).

Esta técnica baseia-se, de uma forma geral, na aplicação de uma corrente direta de baixa intensidade, na ordem de mA/cm², ou de um potencial pelo solo entre dois ou mais eletrodos. Os contaminantes são mobilizados na forma de espécies carregadas ou partículas. A corrente aplicada mobiliza espécies carregadas eletricamente, partículas e íons no solo. Uma consequência desta técnica é a ocorrência de reações paralelas, como a redução do hidrogênio ou geração de oxigênio, que consomem energia reduzindo a eficiência do processo.

Com a remediação eletrocinética, contaminantes podem ser isolados para reduzir a permeabilidade do resíduo para valores menores do que 10⁻⁷ m/s (U.S. EPA apud Mulligan et al, 2001). De qualquer forma, a seleção do mais apropriado método de remediação do solo depende das características do local, concentração dos metais e os tipos destes poluentes (Guaracho, 2009).

Uma variação desta tecnologia é a aplicação do campo elétrico ao solo contaminado, causando transporte por migração de espécies contaminantes para serem então removidas nos cátodos ou ânodos. Neste caso, podem-se inibir as reações paralelas pela seletividade das superfícies de anodos e catodos com conseqüente aumento da eficiência energética.

O sucesso da remediação eletrocinética depende, entretanto, da estrutura mineralógica do solo. Vários estudos têm mostrado que o processo de remediação eletrocinética é aplicado efetivamente a argilas com baixa sorção e capacidade tampão (Hamed et al, 1991).

São vários os estudos de tratamentos de remediação eletrocinética de solos contaminados com contaminantes metálicos catiônicos, tais como: chumbo, cobre e cádmio (Hamed et al, 1991; Pamukcu e Wittle, 1992; Acar e Alshawabkeh, 1993; Hicks e Tondorf, 1994).

O tipo de material necessário em processos eletrolíticos varia desde eletrodos que apresentam baixo sobrepotencial até aqueles que apresentam alto sobrepotencial para a reação de interesse. Na maioria desses processos, o uso de um ânodo com baixo sobrepotencial leva a considerável redução de custos, pois reduz a diferença de potencial operacional da célula (Andrade et al, 2004). Em alguns processos eletrolíticos, entretanto, é desejável que o sobrepotencial para a reação de desprendimento de oxigênio seja o mais alto possível. Um dos eletrodos que tem demonstrado um bom potencial para este tipo de ânodo é o óxido de estanho (IV), SnO₂ (Lipp e Pletcher, 1997 apud Andrade et al, 2004). Nos últimos anos, tem se estudado o uso desse óxido depositado sobre o titânio (Ti-SnO₂) como ânodo para oxidação, parcial ou completa, de poluentes orgânicos ou inorgânicos em efluentes (Comninellis, 1994). Os filmes de SnO₂ sobre substratos podem ser obtidos por diversos processos como: o de pirólise de spray, o de vapor químico, o de decomposição térmica, etc. (Andrade et al, 2004).

1.2. Solo

Segundo Vieira (1988), o solo é definido como uma superfície inconsolidada constituída de camadas que são diferidas pela natureza física e química, mineralógica e biológica, que se desenvolvem com o tempo sob a influência do clima e da própria atividade biológica. Portanto, a mineralogia é o fator que controla a forma, tamanho dos grãos e as atividades físicas e químicas do solo. Essas partículas são compostas em sua maioria por minerais cristalinos, que podem ser argilominerais ou minerais não argílicos.

Os argilominerais compõem cerca de 95% dos solos tropicais existentes, na qual a caulinita é o mineral que perfaz a maior parte de sua fração, e é de particular importância para os problemas de contaminação do solo devido as suas características físico-químicas que interagem com os contaminantes, interferindo de forma significativa no seu transporte e remediação (Iryoda, 2008).

Uma amostra de solo obtida na região de Maringá – PR foi analisada no trabalho de Costa (2002), indicando que a composição percentual de caulinita compreende na faixa de 60%, como pode ser observado na Tab. (1).

Tabela 1– Composição percentual de argila nos solos da região de Maringá – PR

Composição (%)	Tipos de solo		
	Latossolo	Neossolo	Vertissolo
Fe ₂ O ₃	16	14	6
Gibbsita	6	6	0
Caulinita	68	65	54
Argilas (2:1)	10	15	40

Fonte: Costa, 2002

O caulim é um material/minério formado por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente a caulinita e a haloisita.

A estrutura da caulinita possui grande vantagem em muitos processos devido a sua alta estabilidade química e baixo coeficiente de expansão. Portanto, quando interage com outros elementos existentes no solo contribui para a estabilidade mecânica do solo.

No entanto, as interações dos metais pesados (cátions) com a caulinita podem afetar sua estrutura, influenciando em suas propriedades mecânicas e químicas tais como capacidade em aumentar seu tamanho, capacidade de compactação e comportamento da dupla camada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Para a realização deste estudo foi projetada e montada uma unidade experimental representada esquematicamente na Fig. (1), sendo constituída pelos seguintes componentes:

- Reator eletrocinético;
- Bomba Peristáltica Pump Drive PD5002 da marca Heldolph na qual possui uma variação ampla de velocidade (máximo de 240 rpm).
- A fonte empregada foi a DC Power Supply E3645A com faixa de trabalho de 0 – 35V/2,2A e 0 – 60V/1,3A da marca Agilent.

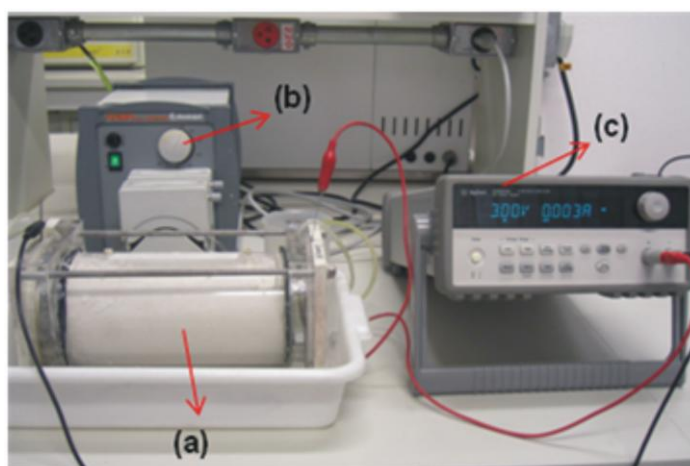


Figura 1 – Representação da unidade experimental: (a) reator eletrocinético, (b) bomba peristáltica e (c) fonte

O reator eletrocinético foi projetado e construído segundo Yeung et al (1997), é constituído de um corpo em acrílico de 19cm de comprimento e 9cm de diâmetro, na qual é acoplada câmaras de 2cm de largura em suas extremidades também em acrílico. Entre eles há um suporte de sustentação em PVC para conter o solo existente dentro dele. Nas extremidades do reator está localizada, como placa alimentadora de corrente o cátodo e como contra-eletródo o ânodo. A fixação destas placas metálicas (ânodo e cátodo) nas respectivas bases foi feita utilizando cola de silicone. Finalmente a fixação do conjunto base com placas metálicas (compartimentos anódico e catódico) e cilindro foram realizadas através de 4 tirantes de aço. O corpo do reator eletrocinético possui também orifícios onde foram colocados tubos de teflon porosos para facilitar a coleta da solução contaminada.

Para a obtenção da concentração foi utilizada a metodologia de potenciometria, utilizando um sistema referencial de Ag/AgCl da Analion, modelo R-684 que é empregado tanto para medição de pH quanto para potencial Redox, eletrodos de íons seletivos de chumbo (Pb-642) e titulações potenciométricas.

Para o estudo voltamétrico foi utilizado um potenciostato Voltalab PGZ 301 da Radiometer Analytical e o software Voltmaster 4 acoplado a um microcomputador. Foi utilizado um eletrodo auxiliar composto por uma tela de platina, um eletrodo de referência Hg/Hg₂Cl₂/KCl Sat.(SCE) e um eletrodo de trabalho. A solução utilizada para a análise voltamétrica foi 0,5M de NaNO₃ (eletrólito suporte).

2.2.1. Sistema Sólido Fluido

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um solo preparado com sais metálicos para simular condições de um solo típico contaminado.

O leito foi constituído por areia e caulim compactado de forma a se obter uma porosidade típica de leito fixo em torno de 0,4. As partículas de areia apresentam como característica, uma esfericidade próxima de 0,9.

O solo foi composto por areia devido a sua propriedade de ser um solo inerte. Esta areia foi devidamente tratada com HCl (10%) para evitar a formação de óxidos na superfície da solução e com H₂SO₄ (10%) para a eliminação de

compostos orgânicos. A solução contaminante utilizada nos experimentos foi preparada utilizando água deionizada e nitrato de chumbo (P.A.) na concentração de 2000 ppm de íons chumbo.

A solução de eletrólito suporte utilizada neste experimento foi de 0,5M de NaNO_3 concentração esta utilizada nos trabalhos realizados pelo grupo de pesquisa do laboratório.

2.2. Métodos

A fim de que os objetivos desse trabalho fossem alcançados fez-se necessário o cumprimento das seguintes etapas:

- Planejamento Experimental: uma vez especificadas as variáveis a serem estudadas, definiu-se os valores que tais variáveis iriam assumir nas corridas experimentais e quais dados de respostas seriam obtidos.

- Preparação e realização dos experimentos: após o ajuste das variáveis de acordo com o planejamento experimental, realizaram-se os experimentos e obteve-se os resultados necessários.

- Tratamento dos dados obtidos: com os dados provenientes das corridas experimentais, de acordo com a técnica de planejamento utilizada, ajustou-se a função que relacionou as respostas desejadas com as variáveis independentes especificadas.

Planejamento Experimental

Devido à inexistência de modelos matemáticos que se adaptem ao sistema e de sua complexidade, optou-se pela utilização de técnicas estatísticas para a obtenção das respostas desejadas como funções empíricas das variáveis escolhidas. A técnica utilizada foi o planejamento estatístico fatorial – em especial o planejamento fatorial completo com dois níveis (-1 e 1) e três variáveis (2^3), com três repetições do ponto central (0) apresentada na Tab. (2).

Tabela 2. Matriz de experimentos.

Corrida experimental	Caulim	Tempo	Potencial
1	1	1	1
2	1	1	-1
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	-1	-1	-1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

O planejamento fatorial tem sido muito aplicado em pesquisas básicas e tecnológicas e é classificado como um método do tipo simultâneo, em que as variáveis de interesse que realmente apresentam influências significativas na resposta são avaliadas ao mesmo tempo. Um dos aspectos favoráveis deste tipo de planejamento é a realização de poucos experimentos (Kaminari, 2005, 2007, Guaracho, 2009).

Para a realização desse trabalho foram selecionados 3 variáveis (fatores) para avaliar a influência na eficiência de remoção do íon chumbo. Estes fatores foram o potencial, o tempo de remediação e a quantidade de caulim misturada à areia. Outra variável muito importante é o pH que foi mantido constante em torno de aproximadamente 4.

As curvas de polarização catódicas foram realizadas para os eletrodos de aço inox e de Pb/Sb com velocidade de varredura de 1 mV/s, que a velocidade recomendada para sistemas eletroquímicos. As curvas foram realizadas em soluções 0,5 M de nitrato de sódio para definir qual o melhor eletrodo a ser utilizado como catodo.

Realização dos experimentos

Para a realização de cada corrida experimental foram seguidas as seguintes etapas:

- Preparação do solo conforme a matriz de planejamento;

- Preenchimento do reator de maneira uniforme e compacta;

- Regular a fonte de acordo com o potencial e ligar os eletrodos à mesma;

- Ligar a bomba dosadora para circulação de eletrólito suporte, A velocidade foi ajustada no mínimo, resultando em uma vazão de 90mL/h na qual foi injetada a solução do eletrólito suporte ($\text{NaNO}_3 - 0,5\text{M}$) na câmara anódica. A mesma vazão foi utilizada para a retirada da solução presente na câmara catódica.

- Ligar a fonte para aplicação do potencial e dar início à reação eletrocinética por um intervalo de tempo pré-estabelecido, ambos de acordo com matriz de planejamento.

- Foram retiradas alíquotas de solução nos intervalos de tempo estabelecidos e ao longo do reator para a determinação da concentração do íon, além da monitoração de pH.

Tratamentos dos dados

Os resultados de concentração final obtidos foram utilizados para calcular eficiência de remoção, utilizando-se a Eq. (1):

$$R = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo:

R = eficiência de remoção do íon (%);

C_i = concentração inicial do íon (ppm);

C_f = Concentração final do íon, no respectivo tempo da matriz de planejamento.

3. RESULTADOS

Dentre os materiais (Pb/Sb e aço inox 304) testados para ser utilizado como catodo o aço inox 304 foi um dos que resistiram mais ao problema de oxidação em sua superfície apesar de apresentar um maior sobrepotencial de reação de redução de hidrogênio, conforme apresentado na Fig. (2).

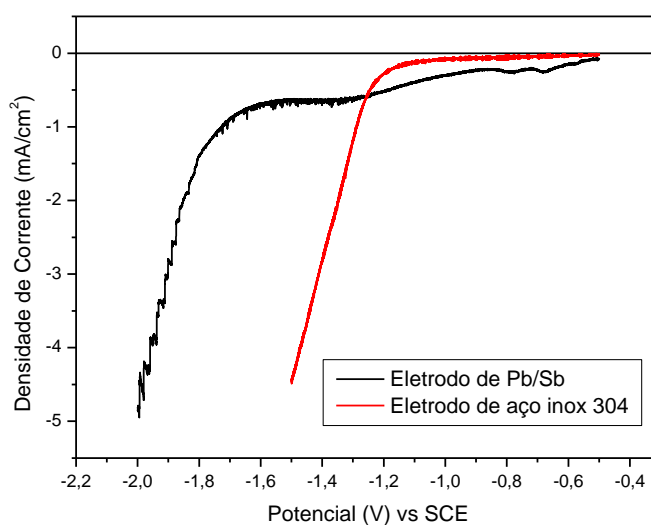


Figura 2 – Curva de polarização catódica para o eletrodo de aço inox 304 e Pb/Sb

A reação mais significativa no catodo é a quebra da água que gera hidroxila elevando-se assim o pH:



Como anodo o material escolhido entre o grafite e o aço inox 304 foi o aço inox 304, pois com a aplicação de potencial ocorre a degradação do mesmo.

Também foi feito um procedimento para se determinar o potencial de polarização do sistema. Foi realizada uma voltametria cíclica, Fig. (3), em uma célula de eletrodo plano na solução de NaNO₃ 0,5M e eletrodo de aço inox 304.

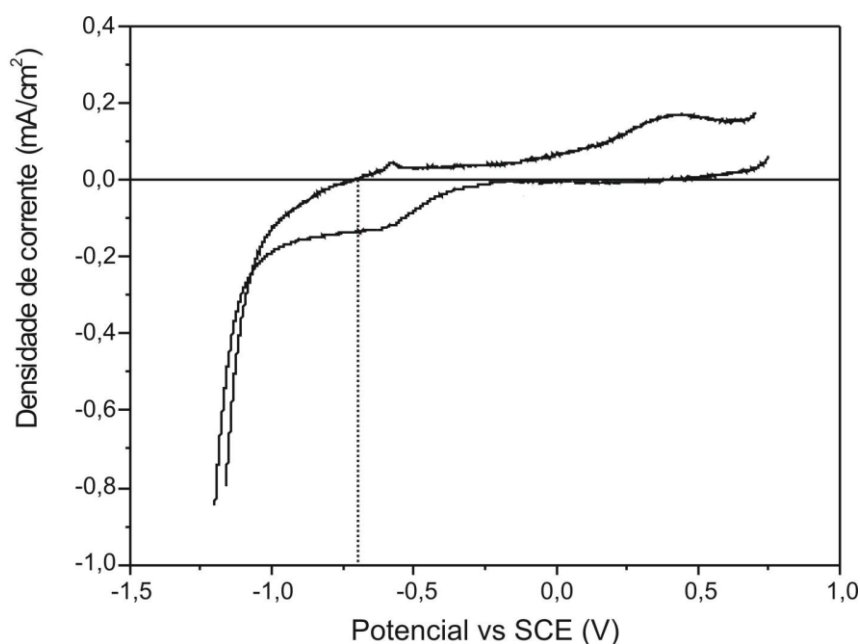


Figura 3 – Voltametria cíclica do aço inox 304 em solução de 0,5 M de NaNO₃

O potencial de equilíbrio obtido para o sistema foi de -0,72V com a utilização do eletrodo de calomelano saturado (SCE). Foi então escolhido um potencial deslocado em cerca de 500mV mais negativo para polarização de cátodo, correspondendo a um potencial de -1,22V (SCE).

Segundo Alshawabkeh (1999), normalmente se utiliza um campo elétrico em torno de 50V/m.

Neste trabalho optou-se por avaliar um valor de campo cujo potencial no eletrodo estivesse cerca de 500mV mais negativo que o potencial de equilíbrio do sistema, pois neste experimento não há injeção de ácido no sistema para despolarização do eletrodo. Para tanto, foi feita a avaliação do comportamento do potencial do eletrodo com relação ao potencial aplicado pela fonte, resultando um valor de potencial da fonte de 1,89V.

A fim de evitar reações paralelas, optou-se por utilizar um potencial de 1,5V, correspondendo a um potencial no eletrodo de aproximadamente de -850mV (SCE).

O campo elétrico aplicado, portanto, corresponde a 7,9V/m, sendo bastante inferior aos 50V/m indicado em trabalhos na literatura.

Com este estudo foi possível definir os potenciais a serem utilizados nos experimentos através da codificação das variáveis apresentada na Tab. (3).

Tabela 3. Codificação das variáveis.

Variáveis	-1	0	1
Tempo (horas)	0,5	1	1,5
Potencial (Volt)	0	1,5	3
Caulim (% m/m)	0	30	60

3.1. Eficiência de Remoção do chumbo

A concentração final utilizada para o cálculo do R foi da amostra retirada no final de cada experimento, sendo que cada experimento foi realizado em duplicatas. O pH foi monitorado ao longo das corridas experimentais.

Utilizando-se a técnica dos mínimos quadrados e com o auxílio de um software estatístico, foram estimados os coeficientes para a Eq. (3) do tipo:

$$R = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 t + \beta_3 E + \beta_{12} C.t + \beta_{13} C.E + \beta_{23} t.E \quad (3)$$

Sendo:

β = coeficientes

R = eficiência de remoção do chumbo [%]

t = tempo de remediação [h]

C = quantidade de caulim

E = potencial aplicado [V].

Pelo Diagrama de Pareto (Fig. 4) pode-se observar que as variáveis que mais influenciaram na resposta foram o tempo e a quantidade de caulim aliada ao tempo de remediação no solo.

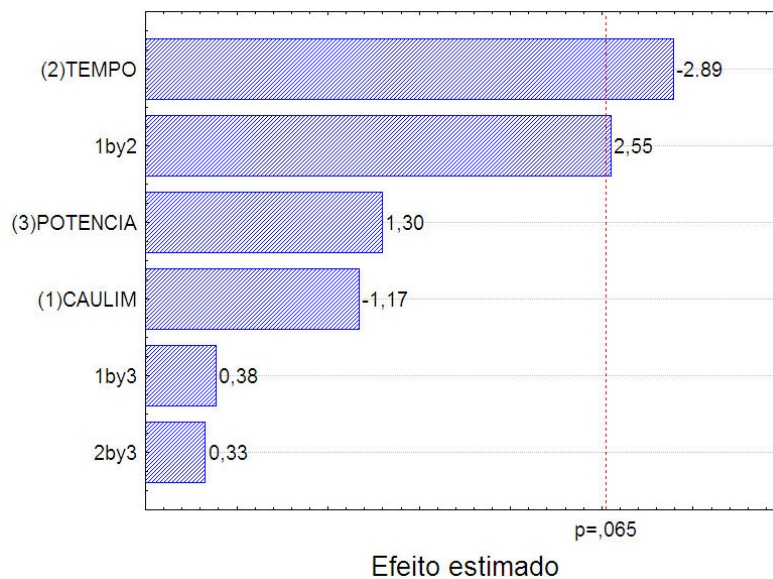


Figura 4 – Diagrama de Pareto para a eficiência de remoção dos íons chumbo

Portanto a Eq. (3) a ser ajustada apresenta a seguinte forma:

$$R = 86,59 + 6,34t + 5,59C.t \quad (4)$$

O coeficiente de correlação múltipla (R^2) foi de 67,02% indicando que o modelo conseguiu representar razoavelmente os dados experimentais. A Figura 5 fornece uma boa visualização desse ajuste, na qual se verifica que os valores para a remoção de chumbo experimental estão razoavelmente próximos dos valores encontrados pela Eq. (4) de ajuste. Isto significa que 67,02% da variação total em torno da média é explicada pela regressão, ficando 32,98% com os resíduos.

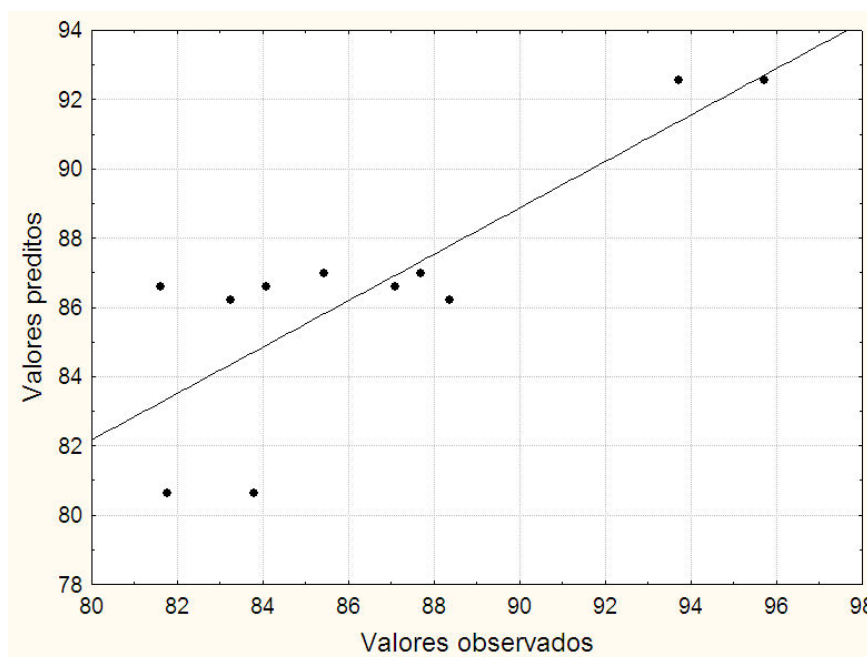


Figura 5 – Diagrama de Pareto para a eficiência de remoção dos íons chumbo

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho foram satisfatórios, pois proporcionou uma boa análise da interferência das variáveis na remediação eletrocinética do chumbo. Através de análises estatísticas percebemos que o fator de maior importância na técnica foi o tempo de remediação, porém ao longo deste a porcentagem de caulim também causou interferência na remoção. Dentre os dois eletrodos estudados (Pb/Sb e aço inox) o de aço é que melhor resistiu as condições de oxidação no meio em que foi trabalhado.

Considera-se, portanto, que o valor de potencial máximo aplicado pode ser ainda bastante aumentado antes que sejam iniciadas reações paralelas. Com maior potencial aplicado, pode-se obter maior eficiência energética e menor custo de implantação do sistema (menor número de eletrodos por área remediada). A condição ótima foi a obtida no experimento 7, sem caulim, duração de 30 minutos e 3,0V de potencial, com 95,72% de remoção de chumbo. Os valores estão em concordância com a literatura, em que a quantidade de caulim apresenta efeito de redução da remoção de chumbo, como também observado nestes experimentos.

A remediação eletrocinética mostrou-se um eficiente processo com grande potencial para aplicação na remoção de contaminantes em misturas de areia e caulim. Esta eficiência foi comprovada pela influência da migração, através da redução da concentração do íon chumbo em relação aos processos que envolvem apenas fluxo, sem a aplicação de potencial.

5. AGRADECIMENTOS

À UFPR (Universidade Federal do Paraná), à CAPES, ao GEA (Grupo de Eletroquímica Aplicada da UFPR), ao LACAUT (Laboratório de Análises de Combustíveis Automotivos da UFPR), ao LAMIR (Laboratório de Análises de Minerais e Rochas da UFPR).

6. REFERÊNCIAS

- Acar, Y.B.; Alshawabkeh, A.N., 1993, "Principles of electrokinetic remediation", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 27, No. 13, pp. 2638-2647.
- Acar, Y.B.; Gale, R.J.; Alshawabkeh, A.N.; Marks, R.E.; Puppala, W.; Brickad, M.; Parkere, R., 1995, "Electrokinetic remediation: Basics and technology status", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 40, pp. 117-137.
- Alshawabkeh, A.N.; Yeung, A.T.; Bricka, M.R., 1999. "Practical Aspects In-Situ Electrokinetic Extraction", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 125, pp. 27-35.
- Andrade, L.S.; Rocha-Filho, R.C.; Bocchi, N.; Biaggio, S.R., 2004, "Estudo de efeito dos sais precursores sobre as propriedades eletrocatalíticas de eletrodos de Ti-SnO₂/Sb preparados por decomposição térmica", *Quím. Nova*, Vol. 27, No. 6, pp. 866-872.
- Baptista, A., 2005, "Avaliação do potencial de recuperação de metais de catalisadores equilibrados através da técnica de remediação eletrocinética", 136f, Dissertação, Universidade Federal do Paraná.
- Cominellis, C., 1994, "Electrocatalysis in the electrochemical conversion/combustion of organic pollutants for waste water treatment", *Electrochim. Acta*, Vol. 39, pp. 1857-1862.
- Costa, A.C.S.; Almeida, V.C.; Lenzi, E.; Nozaki, J., 2002, "Determinação de cobre, alumínio e ferro em solos derivados do basalto através de extrações sequenciais", *Quím. Nova*, Vol. 25, pp. 548-552.
- Guaracho, V.V.; Kaminari, N.M.S.; Ponte, M.J.J.S.; Ponte, H.A., 2009, "Central Composite experimental design applied to removal of lead and nickel from sand", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 172, pp. 1087-1092.
- Hamed, J.; Acar, Y.B.; Gale, R.J., 1991, "Pb (II) removal from kaolinite by electrokinetics", *Journal Geotech Eng*, Vol. 17, pp. 241-271.
- Hicks, R.E.; Tondorf, S., 1994, "Electrorestoration of metal-contaminated soils", *Environ Sci Technol*, Vol. 28, pp. 2203-2210.
- Iryoda, K.I., 2008, "Estudo da influência da caulinita na remediação eletrocinética em solo contaminado com chumbo", 71f., Dissertação, Universidade Federal do Paraná.
- Kaminari, N.M.S.; Ponte, M.J.J.S.; Ponte, H.A.; Neto, A.C., 2005, "Study of the operational parameters involved in designing a particle bed", *Chemical Engineering Journal*, Vol. 105, No. 3, pp. 111-115.
- Kaminari, N.M.S.; Schultz, D.R.; Ponte, M.J.J.S.; Ponte, H.A., 2007, "Heavy Metals Recovery from Industrial Wastewater Using Taguchi Method", *Chemical Engineering Journal*, Vol. 126, pp. 139-149.
- Krishna, R.R.; Supraja C., 1999, "Electrokinetic Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soils Under Reducing Environments", *Waste Management*, Vol. 19, pp. 269-282.
- Lipp, L.; Pletcher, D., 1997, "The preparation and characterization of tin dioxide coated titanium electrodes", *Electrochimica Acta*, Vol. 42, pp. 1091-1099.
- Pamukcu S.; Wittle J.K., 1992, "Electrokinetic Removal of Selected Heavy-Metals from Soil", *Environ Prog*. Vol. 11, No. 3, pp. 241-250.
- Pedrazzoli, C.D., 2004, "Remediação Eletrocinética de Chumbo em Resíduos Industriais", Dissertação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Puppala, S.K.; Alshawabkeh A.N.; Acar, Y.B.; Gale, R.J.; Bricka, M., 1997, "Enhanced electrokinetic remediation of high sorption capacity soil", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 55, pp. 203-220.
- Yeung, A.T.; Scott, T.B.; Gopinath, S.; Menon, R.M.; Hsu, C., 1997, "Design, fabrication and assembly of an apparatus for electrokinetics remediation studies", *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 20, pp. 199-210.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores, Nice Mika Sakamoto Kaminari, Renata Bachmann Guimarães Valt, Michele Maidel, Maria José Jerônimo de Santana Ponte e Haroldo de Araújo Ponte, são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso neste trabalho.

HEAVY METAL (Pb) BY ELECTROKINETIC REMEDIATION

Nice Mika Sakamoto Kaminari, nice.kaminari@gmail.com¹

Renata Bachmann Guimarães Valt, revalt@ufpr.br¹

Michele Maidel,¹ michele.maidel@gmail.com

Maria José Jerônimo de Santana Ponte, mponte@ufpr.br¹

Haroldo de Araújo Ponte, hponte@ufpr.br¹

¹Federal University of Parana, Cel. Francisco H. dos Santos Street, S/N – Centro Politecnico – Jardim das Americas – Usinas-Piloto, Block B, Environmental Technology Laboratory – PO Box 19011 – Zip Code 81531-990 – Curitiba – Parana

Abstract: *There are many places in the world, where the soil has been seriously contaminated due to inappropriate disposal practices, industrial activities and pollutants. The polluted soil becomes a threat to the environment due to toxic substances present as heavy metals. It is important to consider that these metals, besides causing damage to the environment, also offer serious risks to human health. Alternative techniques are developed to remove these contaminants from soil. The electrokinetic remediation technique has been considered promising because it has excellent potential for restoration of sites contaminated by heavy metals. The electrokinetic remediation process consists of applying a low intensity direct current through the ground between two or more electrodes. Thus, the objective of this research is to evaluate the lead ions removal efficiency using the electrokinetic remediation of contaminated soil. The variables chosen were following: the applied potential, the remediation time and amount of kaolin contained in the soil. In order to verify the influence of these variables was used the full factorial design to obtain the desired response (removal efficiency) as empirical function.*

Keywords: *electrokinetic remediation, heavy metal removal, full factorial design.*

The authors, Nice Mika Sakamoto Kaminari, Renata Bachmann Guimarães Valt, Michele Maidel, Maria José Jerônimo de Santana Ponte and Haroldo de Araújo Ponte are the only responsible for the printed material included in this paper.