

AVALIAÇÃO TÉCNICA DA REMEDIAÇÃO DE SOLO UTILIZANDO PERSULFATO/ PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

EVALUATION OF THE TECHNIQUE USING PERSULFATE IN SOIL REMEDIAÇÃO

HERMANO GOMES FERNANDES

Mestrando em Engenharia Química. UFRN.
E-mail: hermano_eq@yahoo.com.br

OSVALDO CHIAVONE FILHO

Doutor em Engenharia Química. UFRN.
E-mail: osvaldo@eq.ufrn.br

Envio em: Setembro de 2013

Aceite em: Outubro de 2013

RESUMO

Passivos ambientais oriundos de acidentes na indústria varejista do petróleo, principalmente nas zonas urbanas, têm representado um sério problema cujo impacto atinge o subsolo, a saúde das pessoas e ainda prejuízos econômicos no processo de remediação. A mineralização desses contaminantes via injeção de substâncias oxidantes diretamente na área impactada é utilizada na forma de diversas técnicas, promissoras e eficientes, porém de difícil equacionamento devido aos diferentes tipos de solo e variedade do perfil dessas contaminações. Nesse estudo, foram realizados experimentos em escala de bancada com o objetivo remediar solo do tipo arenoso contaminado com diesel, aplicando os oxidantes persulfato de sódio e/ou peróxido de hidrogênio de forma a gerar radicais livres ($\text{OH}\bullet$ -, $\text{SO}_4\bullet$ -, $\text{HO}_2\bullet$ -, $\text{O}_2\bullet$ - e $\text{S}_2\text{O}_8\text{-}2$) responsáveis por "queimar" os hidrocarbonetos contaminantes bem como outros orgânicos (liberando O_2 e CO_2). Íon de ferro metálico (sulfato ferroso) também foi utilizado para ativação dos respectivos oxidantes. Foi considerado que o óleo diesel possui 82,4% de carbono em sua composição, sendo utilizado esse parâmetro para avaliar a variável resposta e consequente eficiência no comparativo entre as técnicas. O teor de carbono total nas amostras de solo foi analisado utilizando o equipamento SSM-5000A de marca Shimadzu, no módulo sólido. A técnica (Fenton-like) com H_2O_2 e $\text{Fe}+2$ apresentou oxidação satisfatória, porém inferior ao melhor resultado. A adição de alta concentração de ferro prejudica a oxidação. O persulfato ativado somente por temperatura não apresentou boa eficiência. A técnica viabilizada no estudo teve o perfil de concentração com $2,2 \times 10^{-1}$ mol.L⁻¹ de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ativado com o $6,53 \times 10^{-1}$ mol.L⁻¹ de H_2O_2 , com conversão superior a 90% em menos de um dia, contaminado com 66.667mg de diesel por kg de solo arenoso limpo.

Palavras-Chave: Remediação de Solo. Persulfato. Fenton-like. Peróxido. Postos revendedores de combustíveis.

ABSTRACT

Environmental liabilities arising from accidents in the petroleum and fuel suppliers and distributors industry, particularly in urban areas, has represented a serious problem whose impact is in groundwater, people's health and even economic losses during the remediation process. The mineralization of these contaminants by delivery oxidizing substances in the impacted area is used like various techniques, promising and efficient, but with difficult equation due to different soil types and variety of the profile of these contaminations. In this study, experiments were performed in a lab scale in order to remedy the type sandy soil contaminated with diesel, applying the oxidizing sodium persulfate and/or hydrogen peroxide to generate free radicals ($\text{OH}\bullet$ -, $\text{SO}_4\bullet$ -, $\text{HO}_2\bullet$ -, $\text{O}_2\bullet$ - e $\text{S}_2\text{O}_8\text{-}2$) for "burn" hydrocarbons and other organic contaminants (releasing O_2 and CO_2). Metallic iron ion (ferrous sulfate) was also used for activation of the respective oxidants. It was considered that the diesel has 82.4% carbon in its composition, this parameter being used to assess the response variable and the resulting efficiency comparison between techniques. The total carbon content in the soil samples was analyzed using equipment SSM-5000A from Shimadzu, solid module. The technique (Fenton-like) with H_2O_2 and $\text{Fe}+2$ oxidation showed satisfactory, but much less than the best result. The addition of too much iron oxidation get bad results. The persulfate activated not only by temperature showed a good efficiency. A technical study was made possible in the concentration profile with $2,2 \times 10^{-1}$ mol.L⁻¹ of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ activated with $6,53 \times 10^{-1}$ mol.L⁻¹ of H_2O_2 conversion with more than 90% in less than one day, contaminated 66.667mg with diesel per kg of sandy soil clean.

Keywords: Soil Remediation. Persulfate. Fenton-like. Peroxide. Gas stations.

INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo é uma das principais responsáveis pelo impacto na qualidade do solo e das águas subterrâneas, devido às contaminações decorrentes de vazamentos que acontecem desde a fase de exploração, processamento (MARIANO, 2001), mas principalmente na etapa de distribuição e consumo desses derivados. De acordo com vários autores (CORSEUIL et al. 1997; WENDLAND et al. 2013) em muitos desses casos, o impacto é localizado no subsolo de ambientes urbanos proveniente de vazamentos causados por perda de estanqueidade dos estoques de armazenamento desses combustíveis. Há diversas opções disponíveis para atenuação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente devido aos referidos vazamentos, divididas entre os processos físicos, químicos e/ou métodos biológicos, obedecendo à subdivisão entre essas metodologias, dentre elas as que necessitam retirar o solo contaminado para tratamento fora do site, denominadas *ex situ*; e as técnicas que realizam a remediação no próprio local da contaminação, sem necessitar remover o solo, chamadas técnicas *in situ* (CAPPUYNS, 2013; SOARES, 2008; ZUQUETTE et al. 2013; SIEGRIST et al., 2000; FRTR, 2007) porém seus efeitos são incertos, pois dependem das interações entre os reagentes utilizados, natureza dos contaminantes e os diferentes tipos de solos. De forma geral, estudos mais sistemáticos usando como variável o tipo de solo ainda são restritos mesmo sendo esta variável considerada crítica para o resultado da remediação.

Uma forma inovadora e eficiente de remediação de solo é estudada nesse trabalho, utilizando a oxidação química dos contaminantes a partir da ativação do persulfato utilizando o peróxido de hidrogênio, de forma que a hidroxila inicie toda a cadeia de formação dos outros radicais, da mesma forma que os radicais sulfatos podem estimular a formação de radicais hidroxila. Ambos reagindo de forma seletiva, onde as hidroxilas destroem os contaminantes mais reativos e os sulfatos, eliminando os compostos mais recalcitrantes, melhorando a eficiência e eficácia no processo de eliminação dos riscos químicos dos contaminantes oriundo dos referidos vazamentos.

Dentre as técnicas de oxidação química, segundo (CHIAVONE et al., 2006), o peróxido de hidrogênio é altamente reativo com hidrocarbonetos e é o oxidante mais comum e com mais dados na literatura, sendo capaz de oxidar uma vasta gama de contaminantes (SILVA et al., 2012; MARTINS, L. P. et al., 2006; SILVA et al., 2005) com resultados satisfatórios para derivados de petróleo, sendo essa técnica utilizando o H_2O_2 ativado com Fe^{2+} também chamada de Fenton-like (WATTS et al, 1996). Entretanto sua eficiência não é consensual em solo de-

vido à limitação desse oxidante quanto sua estabilidade em algumas matrizes (SILVA, S. S. et. al., 2006), onde rapidamente se decompõem, restringindo seu transporte e sua eficácia. Em solução aquosa o H_2O_2 apresenta um potencial padrão de óxi-redução de 1,776V de acordo com (LIDE, 2006). Existem ainda outros importantes oxidantes como o persulfato, cujo potencial é 2,01V sendo esse valor comparável à do ozônio que é 2,07V, sendo esse último um importante oxidante muito utilizado na atualidade (DOMINGUEZ et al., 2012) porém por ser gasoso apresenta um baixo raio de eficácia. O permanganato (1,70V) também tem sido muito utilizado para oxidação de hidrocarbonetos poliaromáticos (SILVA et. al., 2010, 2012).

Apesar de ser um oxidante potente, o ânion persulfato por si só apresenta taxas de reação cineticamente lentas para a maioria dos contaminantes recalcitrantes, porém segundo estudos (CONFER et al 2004; CUYBERS et al., 2002; HUANG et al., 2005; LIANG et al., 2013; PAULINO et al 2006; ZHANG et al 2011) essas taxas podem ser substancialmente incrementadas por diversos processos de ativação e consequente geração dos radicais sulfatos, apresentando vantagens frente às outras técnicas oxidativas, como a rapidez cinética, estabilidade, principalmente se comparado ao radical hidroxila. O sulfato tem maior capacidade de ser transportado a distâncias maiores na sub-superfície e ainda menor atração por orgânicos naturais do solo, quando comparado ao íon permanganato (BROWN, 2003) sendo, portanto, mais eficaz em solos com alta demanda orgânica natural (NOM).

O persulfato é muito reativo tanto em pH ácido, menor que 3, quanto em solução alcalina, sendo essa última condição uma das formas de ativação desse oxidante, de acordo com (CONFER et al, 2004) uma razão molar de 0,4 KOH/Persulfato, por exemplo, é necessária para atingir um pH acima de 10 garantindo a ativação e remediação eficaz, para isso a acidez presente no solo deve ser levada em consideração. Outra forma de ativação, validada por (WATTS et al., 2005) é através dos minerais inerentes ao solo que reagem com os oxidantes ativando-os, gerando os respectivos radicais livres. Segundo os resultados de (SILVA et al., 2005, 2006), com o objetivo de ativação, podem ser utilizados metais de transição, sendo o cátion ferroso (Fe^{+2}), ativador bastante utilizado na forma de sulfato ferroso ($FeSO_4$) e o cloreto ferroso ($FeCl_2$), sendo a concentração média de 100 a 250 $mg.L^{-1}$ de ferro necessários para efetivamente ativar o persulfato. A adição de ferro ferroso em excesso, mais do que 750 $mg.L^{-1}$, pode levar a uma rápida decomposição do oxidante e perda de desempenho da remediação. O ferro II é oxidado pelo persulfato em ferro III, o qual, a pH acima de 4, se torna insolúvel, (MEYERS, 2002) estudou o efeito da precipitação de ferro na perda de ativação

do persulfato em aplicações de campo apresentando o problema de transportabilidade nessa técnica.

2 METODOLOGIA

Foram avaliadas no presente estudo as técnicas de remediação de solos contaminados artificialmente, adicionando 5g de solo arenoso contaminados com óleo diesel, em frascos cor âmbar, sem agitação, a temperatura controlada e 30ml de solução contendo os oxidantes e ativadores, sendo objeto do estudo as técnicas de peróxido de hidrogênio e o persulfato de sódio ativados sob diferentes formas. Foi utilizado o reagente persulfato de sódio P.A. teor 99,0%, pó branco e de massa molar 238,11g.mol⁻¹, da marca Labsynnth Produtos para Laboratórios Ltda e lote 118187. Já o peróxido de hidrogênio foi utilizado o P.A. 30%wt da marca Vetec Química Fina, de massa molar 34,02 g.mol⁻¹, massa específica 1,11 kg.L⁻¹ e lote 1209452. O sulfato (ferroso) de Ferro II Heptahidratado P.A. teor 99,0%; de massa molar 278,01 g.mol⁻¹ foi da marca Neon Comercial Ltda e lote 13006.

A amostra de solo arenoso foi coletada no campus universitário da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil (5°50'37.11"S e 35°11'43.19"O) em profundidade de 30 cm com auxílio de trado manual, foi quarteada e passada por peneira de 2mm para remoção de pedras e raízes. O material passante foi destorroado com almofariz e mão de gral e colocadas na estufa a 55°C por 24 horas. A fração maior que 2mm (pedregulho) foi examinada qualitativamente. Uma das alíquotas da fração menor que 2mm foi en-

viada para análise granulométrica (estudo do tamanho das partículas que compõem este solo) e outra foi submetida à contaminação por óleo diesel para posterior remediação. A contaminação do solo foi simulada utilizando solo arenoso real coletado e diesel comercial adquirido em posto revendedor situado nas proximidades do campus universitário.

A concentração mássica de 66.667mg.kg⁻¹ de óleo diesel comum por solo limpo foi utilizado como perfil de contaminação padrão para todos os experimentos previstos no planejamento experimental, adaptando o procedimento proposto por (RIAZA-FRUTOS et al. 2007, WANG et. al. 2006 e BOGAN et. al. 2003). Foi adicionado 20g de diesel em um balão volumétrico, completando para marca de 100ml com n-hexano (cujo objetivo é diluir o diesel de forma a maximizar a homogeneização, tendo em vista a volatilização do solvente), adicionados a 300g de solo arenoso em um recipiente adequado para a etapa seguinte no misturador automático rotativo a 120rpm durante um período de 1 hora para mistura íntima entre as fases. O solo contaminado ficou exposto na capela durante 72 horas para evaporação dos voláteis (principalmente o n-hexano utilizado para homogeneização do diesel no solo na etapa de mistura.

Foi utilizado planejamento experimental com objetivo de avaliar o desempenho das técnicas oxidativas, primeiramente utilizando peróxido de hidrogênio ativado por ferro ferroso (II) em dois níveis de concentração, depois avaliando o oxidante persulfato de sódio ativado por temperatura, íon ferroso e peróxido, em três níveis de concentração, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Nível de concentração dos oxidantes e catalisador

Nível do Experimento	[H2O2] mol.L-1	[Na2S2O8] mol.L-1	[Fe+2] mol.L-1
-1	6,3x10-1	2,2x10-1	2,5x10-2
0	-	5,1x10-1	-
+1	1,30x100	1,0x100	2,5x10-1

Com o objetivo de avaliar o efeito da partição do contaminante inicialmente presente no solo dissolvido para a fase aquosa, foram estabelecidos frascos de solo contaminado com água deionizada, chamados controles, para cada intervalo de tempo. Cada técnica foi analisada durante 5 intervalos de tempo: 0, 6, 24horas, 7 e 15 dias sendo um total de cinco frascos mais o controle para cada técnica. Em cada frasco foram adicionados 5g de solo contaminado e volume total de 30ml das soluções de oxidantes, catalisador e/ou água deionizada (controle).

A determinação do teor de carbono total nas amostras foi realizada no equipamento TOC-V_{CPH} acoplado ao mó-

dulo de sólidos SSM-5000A da Shimadzu que converte o carbono das moléculas orgânicas características da contaminação por hidrocarbonetos no solo em CO₂ através de queima a 900°C, gerando áreas gráficas a partir de detector com tecnologia de infravermelho não dispersivo (NDIR). Esse método tem sensibilidade desde 4ppb até 4000ppm para carbono total. Foi utilizado gás oxigênio de alta pureza, a uma pressão de 200kpa e vazão de 0,6 litros por minuto para queima no forno. Para cada amostra foram pesadas quantidades por volta de 0,5g nas respectivas barcas de cerâmica para análise no equipamento, sendo gasto tempo médio de 10 minutos para cada amostra (barca), análi-

ses realizadas em duplicata, triplicata caso desvio padrão superior a 0,1%. Foi adotado o resultado da concentração de carbono a partir das análises serem apresentadas em percentual mássico de carbono total, carbono que representa a contaminação e matéria orgânica inerente ao solo. Foi utilizada glucose PA para calibração do equipamento, sendo utilizados cinco pontos para determinação de cada curva utilizada nos experimentos.

3 RESULTADOS

A curva resultante da análise granulométrica realizada nas peneiras para avaliar a distribuição dos tamanhos dos grãos é apresentada na figura 1, sendo o diâmetro apresentado em escala logarítmica e inversa em função do percentual passante em cada malha avaliada.

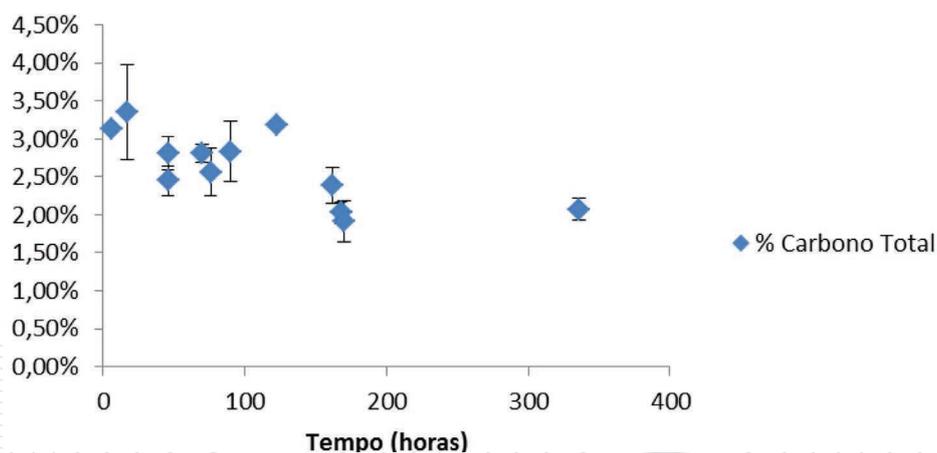
Figura 1 - Curva granulométrica do solo arenoso



O solo analisado isento de contaminação, apresenta valor baixo de matéria orgânica, sendo apenas 0,13% o teor de carbono total na amostra. Já o solo contaminado com diesel a 66.667mg.kg^{-1} , após a etapa de preparação do solo, ou seja, o maior teor de contaminação apresenta 3,93% de carbono total (concentração inicial).

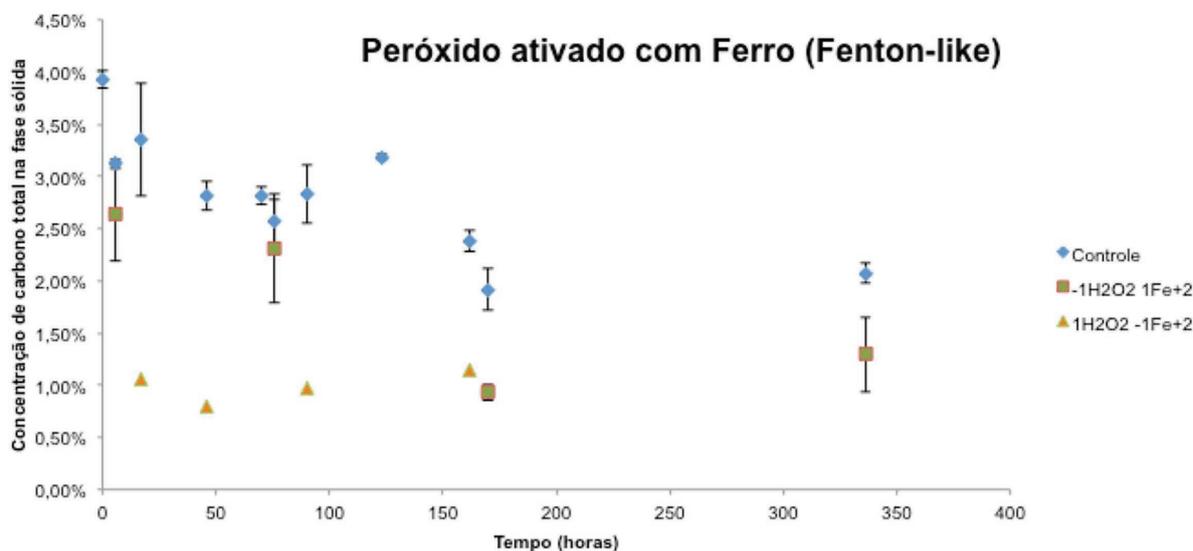
O gráfico apresentado na figura 2 demonstra a queda no percentual de carbono nas amostras de solo saturada com água deionizada, definida para controle de partição entre as fases. Isso devido à perda de carbono da fase sólida para a fase líquida.

Figura 2 - Variação no teor de carbono em solo contaminado com diesel (5g) em água deionizada (30ml)



A redução percentual do teor de carbono determina a eficiência das técnicas oxidativas estudadas, o resultado do peróxido de hidrogênio com adição de íon ferroso em diferentes concentrações é apresentado na tabela 2.

Figura 3 - Variação no teor de carbono em solo contaminado com diesel (5g) em solução de H₂O₂ ativado com Ferro (30ml)



Como resultado da técnica Fenton-like, apresenta cerca de 80% na conversão dos hidrocarbonetos em até 15 dias. O efeito da concentração do peróxido é propor-

cional à eficiência da remediação, porém uma alta concentração no ativador metálico (Fe²⁺) diminuiu a agressividade da reação.

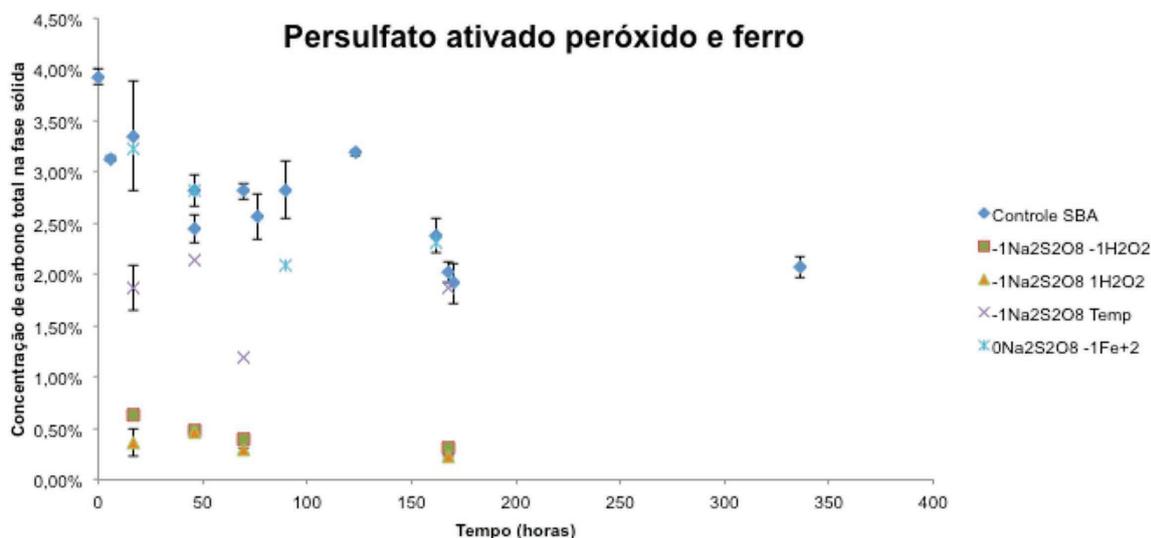
Tabela 2 - Eficiência na remoção de carbono total em solo arenoso por peróxido

Tempo	Controle	(-1)H ₂ O ₂ (+1)Fe ⁺²	(+1)H ₂ O ₂ (-1)Fe ⁺²
24 horas	15,99%	32,90%	73,03%
15 dias	38,91%	76,36%	79,68%

O melhor resultado foi obtido utilizando o persulfato de sódio ativado com peróxido de hidrogênio, reduzindo

a 90% o carbono dos hidrocarbonetos nas primeiras 24 horas, conforme tabela 3.

Figura 4 - Variação no teor de carbono em solo contaminado com diesel (5g) em solução de persulfato ativado com peróxido e ferro (30ml)



O persulfato de sódio ativado via temperatura apresentou resultado insatisfatório, bem como a utilização de ferro para ativação do oxidante, sendo ineficiente tal técnica

onde se iguala ao controle no decaimento das concentrações dos contaminantes.

Tabela 3 - Eficiência na remoção de carbono total em solo arenoso por persulfato

	Controle	(-1) Na ₂ S ₂ O ₈	(-1) Na ₂ S ₂ O ₈ (-1) H ₂ O ₂	(-1) Na ₂ S ₂ O ₈ (+1) H ₂ O ₂	(0) Na ₂ S ₂ O ₈ (-1) Fe ⁺²
24 horas	14,70%	52,25%	84,00%	90,83%	17,85%
15 dias	41,27%	69,56%	91,95%	94,25%	41,05%

4 CONCLUSÕES

O Persulfato de sódio e peróxido de hidrogênio demonstraram ótimas eficiências na aplicação em técnicas de remediação de solos arenosos contaminados com diesel. Os perfis mais eficientes foram - a técnica chamada Fenton-like - onde o peróxido é ativado com íon ferroso, representando uma descontaminação de até 80% em 15 dias, suficiente em muitos casos e - a técnica com persulfato de sódio ativado com peróxido - que

por utilizar ambos oxidantes, mineralizou 90% do carbono em menos de um dia sendo assim a técnica mais eficaz dentre as estudadas. O persulfato ativado por íon ferroso não apresentou oxidação e o aumento da concentração desse íon diminuiu a eficiência do oxidante, causando efeito inverso à ativação. A utilização de persulfato ativado com o peróxido e ferro pode incrementar ainda mais as taxas de eficiência do processo, sendo perfil proposto para estudos futuros na remediação de solos contaminados.

REFERÊNCIAS

- BLOCK, P.A.; BROWN, R.A.; ROBINSON, D. Novas Tecnologias de Ativação para Oxidação Química In Situ Com Persulfato de Sódio. **Conferência Internacional de Remediação de Compostos Clorados e Recalcitrantes**, 2004.
- BOGAN, B. W.; TRBOVIC, V. Effect Of Sequestration On Pah Degradability With Fenton's Reagent: Roles Of Total Organic Carbon, Humic, And Soil Porosity. **Journal Of Hazardous Materials B**. v.100, p.285-300, 2003.
- BROWN, R.A.; ROBINSON, D.; SKLADANY, G.. Response To Naturally Occurring Organic Material: Permanganate Versus Persulfate, Consoil 2003, **Ghent Belgium**, 2003.
- CAPPUYNS, V. Environmental Impacts Of Soil Remediation Activities: Quantitative And Qualitative Tools Applied On Three Case Studies. **Journal Of Cleaner Production**, v. 52, n. X, p. 145-154, Mar. 2013.
- CONFER, Q.; CLORADOS, C. **Novas Tecnologias de Ativação para Oxidação Química**. 2004.
- CORSEUIL, H. X.; DAL, M.; MARINS, M. **Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema É Grave?** 1, 50-54, 1997.
- CUYPERS, C. Et Al. Amorphous And Condensed Organic Matter Domains: The Effect of Persulfate Oxidation on the Composition Of Soil/Sediment Organic Matter. **Chemosphere**, v. 48, n. 9, p. 919-31, Set. 2002.
- DOMINGUEZ, R.; BETTAHAR, J. L. And M. In-Situ Chemical Oxidation (Isco) Ozone Sparging For Treatment Of Petroleum Hydrocarbon-Impacted Groundwater. 2012.
- EPA, Field Applications Of In Situ Remediation Technologies: Chemical Oxidation. **Solid Waste And Emergency Responses**. September, 1998.
- FRTR The Remediation Technologies Screening Matrix**, 2007. <http://www.frtr.gov/matrix2/section2/2_7_1.html>. Acesso em: 12 jul.2013.
- HUANG, K.-C. Et Al. Degradation Of Volatile Organic Compounds With Thermally Activated Persulfate Oxidation. **Chemosphere**, v. 61, n. 4, p. 551-60, Out. 2005.
- LIANG, H. Et Al. Oxidative Degradation Of P-Chloroaniline By Copper Oxidate Activated Persulfate. **Chemical Engineering Journal**, v. 218, p. 384-391, Fev. 2013.

- LIDE Dr. **Crc Handbook Of Chemistry And Physics**. CRC Press, Taylor And Francis Group, Boca Raton, Fl., 2006.
- MARIANO, J. B. **Impactos Ambientais do Refino de Petróleo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.
- MARTINS, L. P. ; SILVA, D. N. ; CHIAVONE-FILHO, Osvaldo; NASCIMENTO, Cláudio Augusto Oller Do . Degradação de Benzeno em Solos Arenosos Usando Reagentes de Fenton. In: Congresso Regional de Estudantes em Engenharia Química N/NE - XI COREEQ, 11, **Anais**, Natal, 2006.
- MEYER, M., "Sodium Persulfate Oxidation Of TCE Plume In Belgium", **The Second International Conference on Oxidation And Reduction Technologies for In-Situ Treatment Of Soil And Groundwater**, Toronto, Ontario, November 19-22, 2002.
- CHIAVONE-FILHO, Osvaldo; SILVA, Douglas do Nascimento; SILVA, Syllos Santos Da. Remediação De Solos Contaminados com Hidrocarbonetos Usando os Reagentes de Fenton. **Proceedings do Rio Oil & Gas Expo And Conference**. Rio de Janeiro: Ibp, 2006. V. Ibp. P. 1-9.
- PAULINO, C.; RODRIGUEZ, M. A **Influência Das Características dos Solos Na Remediação de Solos Contaminados Através de Processos Oxidativos Avançados com Persulfato e Reagente de Fenton**. [S.L: S.N.], 2006.
- RIAZA-FRUTOS, A.; QUIROGA, J. M.; MANZANO, M. A. Remediation Of Contaminated Soils With PCBs Using An Integrated Treatment: Desorption And Oxidation. **Journal Of Environmental Engineering**, p. 541-547, 2007.
- SIEGRIST R. L., URYNOWICZ M. A., West O. R., In Situ Chemical Oxidation For Remediation Of Contaminated Soil And Ground Water. Ground Water Currents – **Developments In Innovative Ground Water Treatment**, v. 37, p.1-3, 2000.
- SILVA, C. K. O. ; CIRIACO, M. F. ; PEREIRA, C. G. ; CHIAVONE-FILHO, Osvaldo; VIANNA, M. M. G. R. ; NASCIMENTO, Claudio Augusto Oller Do . Identificação de Intermediários Formados Durante O Tratamento Oxidativo em Solo Contaminado com Fenantreno e Antraceno. Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 19, **Anais... Búzios**, v. 1, p. 5737-5746, 2012.
- _____. "Processo De Oxidação Química Avançada Com Permanganato de Potássio na Remediação De Solos Contaminados com Fenantreno e Antraceno. Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 18, Foz Do Iguaçu. **Anais...** p. 3443-3449, 2010.
- SILVA, D. N., ZAGATTO, P. J. P., GUARDANI, R. NASCIMENTO, C. A. O. "Remediation Of Polluted Soils Contaminated With Linear Alkylbenzenes Using Fenton's Reagent" **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, v.48, Jun./Dez. 2005.
- SILVA, S.S., CHIAVONE-FILHO, O., BARROS NETO, E.L., NASCIMENTO, C.A.O., "Integration Of Processes Induced Air Flotation And Photo-Fenton For Treatment Of Residual Waters Contaminated With Xylene", **Jornal Of Hazardous Materials**, p.199-200, 2012.
- SILVA, S.S., LUNA, A. J. ; SILVA, D. N., CHIAVONE-FILHO, O., NASCIMENTO, C. A. O. "Uso dos Reagentes de Fenton para a Remediação de Solos Contaminados com Compostos Fenólicos". Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 16. **Anais...** Santos, ABEQ. v. 1253, p. 2012-2019, 2006.
- SOARES, A. **Bases Técnicas para Remediação de Solos e Águas Subterrâneas Utilizando Processos Oxidativos Avançados**. [S.L]: [S.N.], 2008.
- WANG, Q.; LEMLEY, A. T. Reduced Adsorption Of Ametryn In Clay, Humic Acid, And Soil By Interaction With Ferric Ion Under Fenton Treatment Conditions. **Journal Of Environmental Science And Health Part B**, v.41, p.223-236, 2006.
- WATTS, R. J; HOWSAWKENG J, Teel Al. Oxidative And Reductive Pathways In Manganese-Catalyzed Fenton's Reactions. **J Environ Eng**, v.131, p.158-164, 2005.
- _____.; DILLY, S. E. Evaluation Of Iron Catalysts For The Fenton-Like Remediation Of Diesel-Contaminated Soils. **Journal Of Hazardous Materials**, v. 51, p. 209–224, 1996.
- WENDLAND, E.; MARIN, I. S. P. **Contaminação de Águas Subterrâneas Bt** - Engenharia Ambiental. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2013. Capítulo 12, p. 269–293.
- ZHANG, Y. Q.; DU, X. Z.; HUANG, W. L. Temperature Effect On The Kinetics Of Persulfate Oxidation Of P-Chloroaniline. **Chinese Chemical Letters**, v. 22, n. 3, p. 358–361, Mar. 2011.
- ZUQUETTE, L. V.; RODRIGUES, V. G. S.; PEJON, O. J. **Recuperação De Áreas Degradadas Bt** - Engenharia Ambiental. São Paulo: Elsevier Editora Ltda., 2013. Capítulo 23, p. 589–619.