

Aplicações de Campo com Persulfato Ativado Klozur™

John Haselow, PhD e Joseph Rossabi, PhD
Redox Tech LLC, 1006A Morrisville Pkwy, Morrisville, NC 27560

Philip Block, PhD

FMC Corporation, 1735 Market St, Filadélfia, PA 19103

Redox Tech, LLC



Resumo

O persulfato ativado Klozur™ emergiu como um oxidante importante para a remediação de VOCs (compostos orgânicos voláteis) e compostos recalcitrantes. O persulfato ativado é amplamente aplicável contra uma grande variedade de contaminantes e diversas químicas de ativação com patente pendente fazem que a utilização do oxidante seja versátil e eficaz.

O Redox Tech, LLC aplicou com sucesso o persulfato ativado Klozur™ em mais de quarenta sítios para a correção de uma grande variedade de contaminantes. O persulfato foi ativado com base, ferro quelado (*chelated iron*), peróxido de hidrogênio ou vapor. A eficácia do persulfato ativado foi comprovada em hidrocarbonetos de petróleo, MTBE, PAHs, alcanos e alquenos clorados, 1,4-dioxano e cetonas.

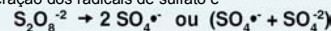
Informações Básicas

O ânion de persulfato é o oxidante mais potente da família de compostos de peroxigênicos e um dos mais fortes oxidantes utilizados em remediações. A oxidação-padrão – redução potencial para a reação



é de 2,1 V, quando comparado com 1,8 V para o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e 1,4 V para o ânion de peroximonosulfato. Este potencial é também mais alto que o potencial do redox para o ânion de permanganato (MnO₄⁻) a 1,7 V, porém levemente mais baixo ao do ozônio a 2,2V.

No entanto, para a maioria dos contaminantes, a cinética de oxidação direta por ânions de persulfato é muito lenta. O persulfato pode ser induzido para formar radicais de sulfato, daí, disponibilizando mecanismos de reação de radicais livres, similar às trajetórias de radicais de hidroxil geradas pela química de Fenton. A geração dos radicais de sulfato é



O radical de sulfato é uma das espécies aquosas oxidantes mais fortes com um potencial redox estimado de 2,6 V, o que é similar ao radical do hidroxil a 2,7 V.

Diversos meses são disponibilizados para a ativação do persulfato. Isto inclui calor e diversas químicas com patente pendente da FMC, tais como álcali, metais quelados e peróxido de hidrogênio. A Redox Tech é a líder em aplicações de persulfato ativado por vapor. A seleção da química de ativação correta é a chave para um resultado eficiente, e dependerá do tipo de contaminante, assim como da geoquímica e hidrogeologia do sítio.

Química para Ativação do Klozur™	BTEX	MTBE	1,4-Dioxano	C1-Etenos	C1-Etanos	C1-Metanos	PAHs	TPH	PCB
Calor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Metais em Ions	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Peróxido de Hidrogênio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?
PH Alto	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

* Químicas de ativação com patente pendente na FMC

Aplicações de Campo

Sítio 1: Antiga Área de Tanques Subterrâneos para Armazenamento de Petróleo na Carolina do Sul

Exemplos de Poços de Injeção



Contaminantes em Questão: BTEX, MTBE e Naftaleno

Geologia do Sítio: saprolite, profundidade do nível da água subterrânea 20 pés

Histórico do Sítio: Antes da injeção de persulfato ativado, foi aplicado o borbulhamento (*air sparging*) neste sítio por dois anos. Porém a contaminação persistiu.



Planta da Injeção de Persulfato, Injeção de Vapor e Localizações de Termopares

Monitoração	Período	Benzeno ug/L	Tolueno ug/L	Etilbenzeno ug/L	Xilenos ug/L	MTBE ug/L	Naftaleno ug/L
MW - 12	Pré-borbulhamento	1.600	1.800	1.000	3.200	210	230
	Pré-piloto	220	64	170	300	53	91
	Pós-piloto	2	ND	ND	ND	2	ND

Resultados: Todos os contaminantes reduziram a ND (níveis não-detectáveis) ou abaixo dos limites regulamentares.

Sítio 2: Mistura *In Situ*, Sítio Clorado em Hoboken, NJ

Contaminantes em Questão: TCE mais produtos-filho

Hidrologia do Sítio: Água subterrânea a 1 pé abaixo da superfície do solo. Zona de tratamento: 1-10 pés abaixo da superfície do solo.

Persulfato Klozur™ (10 g/Kg) e catalisador de base foram misturados no solo.

Resultados: 5000 toneladas de solo saturado tratadas em 2 dias. As concentrações de VOC (componente orgânico volátil) foram reduzidas de 100 a 200 ppm na água subterrânea para < 0,1 ppm em uma semana.



Mistura de solo com Klozur™ e cal hidratada

Aplicações de Campo

Sítio 3: Tinturaria de Lavagem a Seco na Geórgia

Contaminantes em Questão: PCE, TCE e cis-1,2 DCE

Geologia do Sítio: Saprolite em Zona Vadeosa

Histórico do Sítio: O shopping center de lojas de conveniência estava sendo vendido e a remediação precisou ser concluída rapidamente sem a interrupção da operação da tinturaria.

Foi injetado persulfato de sódio catalisado (ativação de vapor e ferro) em três eventos distintos durante o horário noturno. Os objetivos de limpeza eram de 2,6 mg/kg para o PCE e 0,5 mg/kg para o TCE.



Poço	CS-1						CS-2						CS-3					
	2	10	15	2	10	15	2	10	15	2	10	15	2	10	15			
Profundidade (pés)	04/08	05/01	04/08	04/08	04/11	05/01	04/08	04/08	05/01	05/01	05/01	05/01	04/08	04/11	05/02	05/02		
PCE	6,6	<2,6	0,007	0,014	4,0	2,90	<2,6	<0,006	0,008	<2,59	<2,59	<2,59	14,0	11,0	<2,59	<2,59		
TCE	<0,33	<0,5	<0,006	<0,006	5,87	<0,5	0,071	<0,006	0,008	<0,5	<0,5	<0,5	<0,13	<0,006	<0,002	<0,002		
cis-1,2 DCE	<0,12	<0,089	<0,002	<0,002	0,005	0,002	<0,1	<0,002	0,002	<0,12	<0,12	<0,088	<0,13	<0,006	<0,002	<0,002		

Resultados: Os objetivos de remediação foram alcançados e a correção do sítio foi concluída.

Conclusões:

O persulfato ativado Klozur™ é um oxidante robusto para o tratamento de uma grande variedade de contaminantes orgânicos e garante uma longa vida ativa na subsuperfície. Pode ser catalisado com metais quelados, peróxido de hidrogênio, base ou calor. O persulfato Klozur™ pode ser utilizado em uma grande diversidade de condições geológicas e geoquímicas. O persulfato Klozur™ é seguro para o manuseio e relativamente benigno ao meio ambiente.



Klozur™ é uma marca registrada da FMC Corporation