

TRATABILIDADE DO LÍQUIDO PERCOLADO (CHORUME) POR PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA IMPLANTAÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO DA CIDADE DE VOLTA REDONDA ¹

Críslei Aurélio Chagas Saraiva ²

Ewerton Barreto Fontes ²

Juliana Ariella Santos de Almeida ²

Tarcila Valentim Ribeiro ²

Horácio Guimarães Delgado Júnior ³

Amarildo de Oliveira Ferraz ⁴

Anderson Gomes ⁵

Eber Lopes de Moraes ⁵

Alexandre Fernandes Habibe ⁶

Resumo

O presente trabalho visa descrever em detalhes a tratabilidade do líquido percolado (chorume) produzido no aterro sanitário da cidade de Volta Redonda, objetivando o enquadramento do efluente na legislação vigente, sendo que nos ensaios realizados em laboratório foram verificadas as concentrações de DQO do efluente bruto e pós tratamento por processo oxidativo avançado, considerando os seguintes tratamentos: Tratamento com utilização de reagente Fenton (peróxido de hidrogênio+sulfato ferroso); tratamento com utilização de Ácido de Caro (peróxido de hidrogênio+ácido sulfúrico); tratamento com utilização de Permanganato de Potássio; filtração pós-tratamento por Permanganato de Potássio e Ácido de Caro, através de carvão ativado para retirada do excesso do agente oxidante. A planta de produção do líquido percolado (chorume) foi constituída de 06 (seis) células piloto (lisímetros) simulando o aterro sanitário da cidade de Volta Redonda com utilização de resíduos do mesmo. Os resultados demonstram o grande potencial de tratamento destes processos.

Palavras-chave: Aterro sanitário; Processo oxidativo avançado; Tratamento.

LEACHATE PERCOLATED (CHORUME) TRATABILITY BY ADVANCED OXIDATIVE PROCESS TO SANITARY LAND FILL OF VOLTA REDONDA CITY

Abstract

The present work describe all treatability study to treat leachate percolated (chorume) of Volta Redonda city landfill, with intention to treat and attend the environmental requirements, showing that in the tests running in lab was analyzed COD in raw and treated effluent using advanced oxidative process treatment like: Fenton oxidative process (peroxide + ferrous sulfate); treatment using Caro's acid (peroxide + sulfuric acid); treatment using permanganate; pos treatment using activate coal. The lisimeter used to generate leachate constitute of 06 (six) pilot lisimeters that simulate land fill of Volta Redonda city, using the same type of residues of actual landfill. The result shows the large potential of using advanced oxidative process to treat the leachate.

Key words: Landfill; Advanced oxidative process; Treatment.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Acadêmico de Engenharia Ambiental – UniFOA.*

³ *Professor M.S. Orientador de Projeto Final – UniFOA.*

⁴ *Professor M.S. Co-Orientador de Projeto Final – UniFOA.*

⁵ *Professor Especialista Co-Orientador de Projeto Final – UniFOA.*

⁶ *Professor M. Sc. Pro Reitor de Pesquisa e Pós Graduação do UniFOA.*

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população em áreas urbanas e o aumento do consumo de produtos industrializados têm aumentado a geração de resíduos sólidos, que na maioria das vezes são destinados a aterros sanitários. Nos aterros sanitários são gerados contaminantes, como o líquido percolado (chorume) que representa um problema ambiental devido ao seu alto potencial de contaminação. Para o licenciamento ambiental desses aterros é necessário um sistema de tratamento de efluentes que atinja os padrões exigidos pela legislação. Para atender esta demanda das prefeituras, considerando os problemas no tratamento por processos biológicos e físico-químicos convencionais, é necessária a busca de alternativas de tratamento eficientes dentro de um padrão de sustentabilidade técnica e econômica.

O problema do lixo surgiu basicamente quando o homem começou a viver no sedentarismo. Mesmo formados os aglomerados, as vilas e as cidades, o lixo produzido não representava ameaça significativa pela própria composição, quantidade e enorme disponibilidade de terras para sua disposição.

Hoje, o significativo avanço tecnológico em diversas áreas das indústrias proporcionou um aumento vertiginoso na produção de resíduos das mais diversas naturezas que agredem ao meio ambiente. A inadequada forma de disposição final destes resíduos pode proporcionar sérios danos à qualidade de vida do homem e do meio ambiente. Nos chamados lixões, por exemplo, os resíduos sólidos são descartados no solo, a céu aberto, sem qualquer tratamento, facilitando a proliferação de vetores, gerando maus odores e, principalmente, poluindo as águas superficiais e subterrâneas através do percolado (chorume).

Vários pesquisadores vêm estudando diferentes técnicas de tratamento, contudo a escolha do método mais adequado depende de diversos fatores, exigindo muitas vezes a associação destas para que a qualidade do efluente final atenda aos padrões requeridos.

O líquido percolado (chorume) representa um dos vários fatores de risco para o meio ambiente, uma vez que este apresenta altas concentrações de matéria orgânica, bem como quantidades consideráveis de metais pesados. O percolado formado possui uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que equivale a cerca de 200 vezes o esgoto doméstico. A fim de minimizar tal impacto, desenvolveu-se o aterro sanitário, uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia (sistema de drenagem para afastamento das águas da chuva, impermeabilização da área onde os resíduos sólidos serão depositados, drenagem e tratamento do percolado, além de drenagem e queima dos gases gerados) onde se devem confinar seguramente os resíduos, evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. A necessidade de tratamento do chorume nos aterros sanitários, onde estes sistemas devem atender ao volume de líquido produzido no aterro e ao que atravessa a massa de lixo a fim de garantir a preservação das águas superficiais, dos lençóis freáticos e mananciais.

As opções disponíveis para o tratamento de chorume são geralmente aquelas que podem ser usadas para efluentes industriais. Estas incluem tratamento de natureza física, química e biológica.

Os processos físico-químicos podem apresentar elevada eficiência de remoção da matéria orgânica no tratamento do líquido percolado (chorume); contudo, os sistemas

mais utilizados no Brasil - coagulação, filtração e precipitação química - não têm apresentado boa remoção deste material.

De maneira geral, para líquido percolado (chorume) de aterro sanitário, as rotinas integradas envolvem a utilização de processos biológicos e físico-químicos, estes últimos objetivando o aumento da biodegradabilidade da matriz (pré-tratamento) ou a remediação de parâmetros que a rotina biológica não permite (polimento final).

Para matrizes recalcitrantes, existe a necessidade de se integrar processos biológicos, reconhecidamente mais econômicos, a sistemas de pré-tratamento de maior poder de degradação.⁽¹⁻³⁾ Dentro desse contexto, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) surgem como promissora alternativa, principalmente em razão de características como elevada capacidade e velocidade de degradação. Os POAs são definidos como processos que envolvem a geração e emprego de espécies transitórias, principalmente o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$). Estes radicais apresentam alto poder oxidante e baixa seletividade, possibilitando a transformação de um grande número de contaminantes tóxicos, em tempos relativamente pequenos.⁽¹⁻³⁾

O líquido percolado foi coletado nos seis lisímetros em planta piloto no próprio campus. Para se chegar a uma amostra representativa, colheu-se a amostra de todos os lisímetros e formou-se uma só amostra para utilização em laboratório. A utilização da planta piloto teve como objetivo principal retratar com fidelidade o líquido percolado que seria coletado no aterro sanitário da cidade de Volta Redonda.



Figura 1 Conjunto de células piloto(lisímetros) para captação do líquido percolado

2 PROCESSO DE GERAÇÃO E TRATAMENTO DO PERCOLADO

2.1 Formação de Líquido Percolado (Chorume)

Quando os resíduos são depositados nas células do aterro, passam a sofrer transformações devido à superposição de mecanismos biológicos e físico-químicos, propiciados pela presença de água. No processo de degradação do lixo podem ser consideradas quatro fases⁽¹⁻³⁾ desde a disposição dos resíduos no aterro sanitário até sua estabilização completa, sendo estas: (1) fase aeróbia; (2) fase anaeróbia; (3) fase metanogênica inicial e (4) fase de estabilização metanogênica. Durante a fase aeróbia⁽¹⁻³⁾ o oxigênio presente no meio dos resíduos recém depositados é rapidamente consumido, resultando na produção de (CO_2) e no aumento da temperatura interna das células. Esta fase dura somente alguns dias, devido à rápida depleção do oxigênio. À medida que ocorre a redução da disponibilidade de oxigênio, os microorganismos anaeróbios passam a comandar o processo de degradação. A presença de águas pluviais exerce grande influência sobre esta fase, pois facilita a redistribuição de

nutrientes e microorganismos através das células do aterro sanitário. Na fase anaeróbia⁽¹⁻³⁾ ocorre hidrólise da matéria orgânica, acidogênese e acetogênese. A biodegradação da celulose e da hemicelulose, constituintes que correspondem a 45% a 60% da massa seca de resíduo, é realizada através de: (a) bactérias hidrolíticas e fermentativas, as quais hidrolisam os polímeros e os fermentam produzindo monossacarídeos, ácidos carboxílicos e álcoois, com conseqüente queda no potencial de oxidação-redução; (b) bactérias acetogênicas, que convertem os produtos da hidrólise em acetato, ácidos graxos voláteis. Ocorre acidificação no meio e liberação de CO₂, hidrogênio e amônia. Os altos valores de concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) no chorume são característicos desta fase.⁽¹⁻³⁾ A razão de biodegradabilidade (DBO₅/DQO) na fase ácida tem sido relatada com valores entre 0,4 e 0,7. Esses valores são similares aos encontrados para a biodegradabilidade de esgotos sanitários municipais. A fase inicialmente metanogênica⁽¹⁻³⁾ ocorre quando uma quantidade mensurável de metano é produzida. Estabelece-se um equilíbrio dinâmico entre a população de bactérias acetogênicas e metanogênicas, desta forma os compostos produzidos na segunda fase de decomposição do chorume começam a ser fonte de nutrientes, sendo consumidos pelas bactérias metanogênicas presentes no meio. Esta fase, que é a mais ativa biologicamente, pode ser reconhecida pelo aumento de pH (devido ao consumo de substâncias ácidas) e pela intensificação da taxa de produção de gás metano. Concentrações de matéria orgânica (medidas em DQO e de DBO₅) decrescem à medida que as substâncias mais facilmente biodegradáveis (por exemplo, os ácidos carboxílicos) são consumidas, sendo que a razão DBO₅/DQO sofre decréscimo. Na fase metanogênica de estabilização,⁽¹⁻³⁾ a razão de produção de metano é máxima e tem um decréscimo após o empobrecimento do conjunto de substratos solúveis. A matéria orgânica, fracamente biodegradável passa por um lento processo de metabolização, formando moléculas complexas de alta massa molar. O valor de pH aumenta continuamente (acima de 7,0), caracterizando um resíduo levemente básico. Ainda na fase metanogênica ocorre redução de sulfato e de outras formas de enxofre, produzindo grandes quantidades de sulfetos (S²⁻) que precipitam uma série de cátions inorgânicos. Ocorre complexação de inorgânicos, inclusive metais, tanto pela complexação com a matéria orgânica, como pela presença de argilo-minerais. O gás produzido durante esta fase é constituído em sua maior parte de CH₄ e CO₂, e em quantidades menores de amônia (NH₃), hidrogênio (H₂) e sulfeto de hidrogênio (H₂S). A fase metanogênica⁽¹⁻³⁾ de estabilização estende-se ao longo do tempo e um aterro continua a produzir chorume mesmo 50 anos após parar de receber o lixo. A duração das diferentes fases pode depender de diversos fatores, como por exemplo, tamanho do aterro, forma de gerenciamento do aterro (aterramento, compactação, recirculação), tipo de resíduos depositados e clima. Por exemplo, quando o aterro tem recirculação ocorre uma maior distribuição de nutrientes, substratos e bactérias, provocando alteração da dinâmica de degradação. Embora esta divisão em fases facilite bastante o entendimento do processo de estabilização do lixo e seus impactos sobre a composição do chorume, bem como sobre a composição das emissões gasosas, na prática, durante a vida ativa de um aterro, as fases não são bem delimitadas. Isso ocorre porque algumas células do aterro estão recebendo resíduos novos, causando uma grande variabilidade na idade do material disposto, não sendo difícil encontrar as três fases ocorrendo simultaneamente em uma célula de aterro sanitário. Desta forma

o chorume recebido na base do aterro, provindo de um conjunto de células, será de composição média e com características que tendem para a fase que está ocorrendo na maior parte do aterro. A composição química e microbiológica do chorume formado em um aterro sanitário é complexa e depende de diversos fatores, dentre os quais: condições ambientais, composição dos resíduos que chegam ao aterro, forma de operação do aterro e, principalmente, da dinâmica dos processos de decomposição que ocorre no interior das células do aterro sanitário. A variabilidade,⁽¹⁻³⁾ da composição dos resíduos aterrados pode produzir um percolado com elevados teores de metais tóxicos, xenobióticos (substâncias estranhas ao organismo vivo) e microorganismos perigosos para a saúde, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Composição do chorume de aterros sanitários, valores em faixa.⁽²⁾

PARÂMETRO	FAIXA
pH	4,5 – 9
Condutividade específica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2500 – 35000
Sólidos totais	2000 – 60000
MATÉRIA ORGÂNICA (mg L^{-1})	
Carbono Orgânico Total	30 – 29000
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5)	20 – 57000
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	140 – 152000
Nitrogênio Orgânico	14 – 2500
MACROCOMPONENTES INORGÂNICOS (mg L^{-1})	
Fósforo total	0,1 – 23
Cloretos	150 – 4500
Sulfatos	8 – 7750
HCO_3^-	610 – 7320
Sódio	70 - 7700
Potássio	50 – 3700
Nitrogênio amoniacal	50 – 2200
Cálcio	10 - 7200
Magnésio	30 – 15000
Ferro	3 - 5500
Manganês	0,03 - 1400
ELEMENTOS TRAÇOS INORGÂNICOS ($\mu\text{g L}^{-1}$)	
Arsênio	0,01- 1
Cádmio	0,0001- 0,4
Cromo	0,02 - 1,5
Cobalto	0,005 - 1,5
Cobre	0,005 – 10
Chumbo	0,001 -5
Merúrio	0,00005 - 0,16
Níquel	0,015 – 13
Zinco	0,03 – 1000

2.2.1 Características gerais dos processos oxidativos avançados

Dentre as principais vantagens associadas ao uso de tecnologias fundamentadas em processos oxidativos avançados pode-se citar:

- (1) Os Processos Oxidativos Avançados introduzem importantes modificações químicas no substrato, em grande número de casos induzindo a sua completa mineralização;⁽²⁻⁶⁾
- (2) a inespecificidade dos processos oxidativos avançados viabiliza a degradação de substratos de qualquer natureza química. Dentro deste contexto, destaque pode ser dado à degradação de contaminantes refratários e tóxicos, cujo tratamento biológico pode ser viabilizado por oxidação avançada parcial;⁽²⁻⁶⁾
- (3) Podem ser aplicados para reduzir a concentração de compostos formados em etapas de pré-tratamento. Por exemplo, aromáticos halogenados formados durante desinfecção convencional;⁽²⁻⁶⁾

(4) Os processos avançados são aplicáveis no tratamento de contaminantes em concentração muito baixa (por exemplo, ppb);⁽²⁻⁶⁾

(5) Com exceção de alguns processos que podem envolver precipitação (óxidos férricos, por exemplo), os processos avançados não geram resíduos. Trata-se de um fator relevante, uma vez que evita a execução de processos complementares de tratamento e disposição.

2.2.2 Reagente Fenton ($\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$) ⁽²⁻⁶⁾

A utilização de sais de ferro para decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio apresenta-se como uma solução de custo menos elevado em relação aos outros POA's, pois utiliza um catalisador de baixo custo, o sulfato ferroso, que é resíduo de indústrias de produção de aço. Outra vantagem do reagente de Fenton é sua maior facilidade operacional em relação aos processos de ozonização e utilização de radiação ultravioleta, que necessitam de gerador de O_3 e fonte de UV, respectivamente.

Geralmente, o processo de oxidação empregando reagente Fenton é composto por quatro estágios que são:

(1) ajuste de pH: a faixa de pH ideal é entre 3,0 e 4,0. Para valores de pH elevados ocorre a precipitação de Fe^{3+} ;

(2) reação de oxidação: processada em um reator não pressurizado e com agitação. É feita a adição de sulfato ferroso e peróxido de hidrogênio;

(3) neutralização e coagulação: deve ser feito um ajuste de pH na faixa de 6,0 a 9,0 para precipitar hidróxido de ferro, o que pode ser feito com a adição de cal. Uma vantagem dessa etapa é a possibilidade de remoção de outros metais pesados por precipitação;

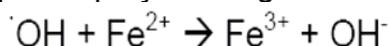
(4) precipitação: o hidróxido de ferro e alguns metais pesados precipitam e podem ser removidos da solução.

O pH de reação é muito importante em virtude de vários fatores como, por exemplo, a estabilidade dos reagentes empregados, tanto o peróxido de hidrogênio quanto os íons ferrosos são mais estáveis em pH ácido. Em pH alcalino, o H_2O_2 é instável podendo ser decomposto em oxigênio e água e seu potencial de oxidação diminui. O potencial de oxidação dos radicais hidroxilas diminui com o aumento do pH, sendo que em meio ácido o $E^0=2,8\text{V}$ e em meio básico tem-se $E^{14} = 1,95\text{V}$. A faixa de pH ótima para reação ocorre entre 3,0 e 6,0. O Sistema Fenton corresponde a um processo físico-químico que se vale da reação entre um sal ferroso e peróxido de hidrogênio, em meio ácido, que leva à formação de radical hidroxila. Desta forma, o processo representado pela

abaixo, corresponde a uma reação redox que leva à geração de um mol de radical hidroxila para cada mol de peróxido de hidrogênio que participe da reação. A cinética desta reação é favorecida, tendo uma constante $k = 76 \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$, a 30°C e pH 3,0.



Íons ferrosos são facilmente doadores de elétrons para sistemas radiculares, paralelamente a reação de decomposição do radical hidroxila pode ser representada pela equação a seguir.



O radical hidroxila formado pode atuar sob vários mecanismos diferentes, como adição nucleofílica, abstração de hidrogênio, substituição no anel, produzindo compostos

oxidados. A cinética de decomposição do radical hidroxila é altamente favorecida ($k \sim 10^8 \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$), bem como a degradação dos compostos orgânicos (com $k \sim 10^7 - 10^{10} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$). A degradação de uma determinada espécie química será então uma disputa entre os íons ferrosos do meio e a matéria orgânica, pelos radicais hidroxilas.

2.2.3 Ácido de Caro ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$)^(2-4,6,7)

O ácido permonossulfúrico (H_2SO_5), ou ácido de Caro, foi descoberto no século XIX pelo químico alemão Heirich Caro. A estrutura de H_2SO_5 , geralmente aceita, é mostrada na Figura 2. Esse perácido é altamente reativo e oxida com facilidade compostos orgânicos e inorgânicos. A acidez de H_2SO_5 é bastante elevada, contudo o ânion permonossulfato (ou carato), HSO_5^- , é notavelmente menos ácido do que o ânion bissulfato, HSO_4^- . Assim, na faixa de pH de 1 a 8, em que são geralmente realizadas as reações de branqueamento e deslignificação de polpas celulósicas, a principal espécie presente nas soluções de H_2SO_5 é o ânion HSO_5^- .

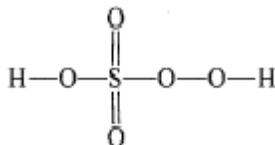


Figura 2 – Estrutura provável para ácido permonossulfúrico.

2.2.4 Permanganato de Potássio (KMnO_4)^(2-4,6)

Um poderoso agente de oxidação é muito empregado em oxidações orgânicas, sua capacidade oxidante varia conforme solução utilizada, alcalina, ácida ou neutra. Diluição alcalina: emprega-se permanganato de potássio dissolvido em água, a solução por si só é alcalina, pois forma hidróxido de potássio, conforme equação a seguir:



Cada molécula de permanganato cede três átomos de oxigênio e o dióxido de manganês precipita em forma de hidrato.

Diluição ácida: a oxidação com soluções de permanganato em meio ácido obtidas por adição de ácidos acético ou sulfúrico, é viável para preparação de compostos com boa estabilidade. A ação energética deste agente de oxidação restringe seu campo de aplicação. A diluição ácida deste oxidante deve agir gradativamente sobre o composto orgânico a oxidar para limitar sua ação oxidante e levar, com eficiência, a reação ao final. Cada molécula de permanganato em meio ácido produz cinco átomos de oxigênio, conforme a seguir:



Diluição neutra: para evitar a alcalinidade própria do permanganato de potássio, pode introduzir dióxido de carbono e sulfato de magnésio que neutralizam o álcali com formação de sulfato de potássio e óxido de magnésio, insolúveis.

Atualmente, permanganatos, dicromatos e compostos derivados de cloro possuem sérias restrições nas aplicações industriais em função da difícil eliminação dos subprodutos gerados nos processos de oxidação.

2.2.5 Uso de carvão ativado⁽⁵⁾

Diversas espécies químicas (iônicas ou orgânicas) presentes no líquido percolado (chorume) são passíveis de serem adsorvidos ou absorvidos em matrizes sólidas. Diversos materiais têm sido testados como adsorventes (zeolitas, vermiculite, caolinite, alumina ativada), no entanto, o carvão ativado continua sendo considerado o que apresenta melhores resultados. A adsorção por carvão ativado permite remoção de 50% a 70% de DQO além de 20 a 35% de nitrogênio amoniacal quando empregaram amostras de chorume estabilizado. O carvão ativado tem uso também para controle do processo com remoção de carga orgânica e excesso de reagentes nos processos avançados.

3 ENSAIOS REALIZADOS, RESULTADOS E SUA ANÁLISE

3.1 Características do Efluente

Nos levantamentos de caracterização do percolado, em suas concentrações médias, gerados nos seis lisímetros mostrou os valores indicados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros médios do percolado

Parâmetros	Chorume percolado dos lisímetros
pH	7,3
Cor (PTCO)	9000
Temperatura ambiente	24°C
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	310
Condutividade (µS)	10720
DQO (mg/L)	13200
DBO (mg/L)	207

3.2 Descrição e Resultado dos Ensaio de Tratabilidade do Efluente

3.2.1 Tratamento com uso do reagente Fenton

Com base em estudos anteriores,^(2-4,6) foram preparados os reagentes e definidas as faixas de concentração a serem utilizadas nos processos de tratamento, respeitando as variações em relação ao percolado testado. A seguir têm-se os dados deste estudo: (a) Concentração de 275mg/L de Fe^{2+} ; (b) Concentração de 3300mg/L de H_2O_2 ; (c) pH= 3,0. Para realização do tratamento por reagente Fenton em solução concentrada e diluída (1:2) o efluente precisa estar em meio ácido. Adicionou-se 2mL de H_2SO_4 (ácido sulfúrico), conforme Figura 3, para redução do pH para 3,0.



Figura 3. Foto mostrando a adição de H_2SO_4 para redução do pH

Após a redução do pH foi adicionado sulfato ferroso ($FeSO_4$) no efluente já em agitação no Jarrest e então adicionada H_2O_2 (agente oxidante) deixando o meio reagir por 30 minutos. Após a adição dos reagentes o efluente foi filtrado no papel filtro e percebeu-se visualmente a melhora na cor do efluente, conforme Figura 4.



Figura 4. foto mostrado a diferença entre o percolado tratado x bruto

Retirou-se em seguida o efluente filtrado para análise da concentração de DQO. Foram realizados 4 testes em solução concentrada e 4 em solução diluída (1:2), com diferentes concentrações. Os valores utilizados e obtidos nos testes se encontram na Tabela 3 e as eficiências do tratamento nos testes mostradas no gráfico da Figura 5.

Tabela 3 .Valores encontrados no tratamento com reagente Fenton

TESTES	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
$FeSO_{4(g)}$	1,7	1,7	1	2
H_2O_2 (mL)	12,5	14	15	13
DQO conc. (mg/L)	3600	723	2875	1512
Redução %	72,73	94,52	78,22	88,55
DQO dil. 1:2 (mg/L)	2150	502	1960	1130
Redução %	83,71	96,20	85,15	91,44
pH reação	3			
pH final	5,0 - 9,0			

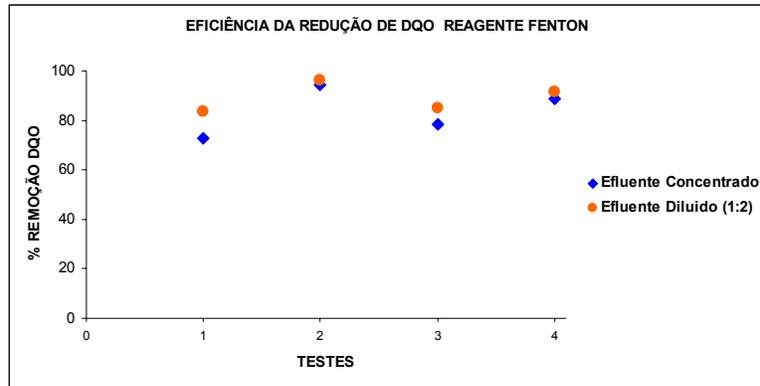


Figura 5. Gráfico com a avaliação da eficiência de reação na remoção de DQO

3.2.2 Tratamento do percolado por ácido de caro - permonossulfúrico ($H_2SO_4 + H_2O_2$)

Para realização do tratamento com ácido de caro (H_2SO_5) em solução concentrada e diluída (1:10), verificou-se o pH antes da adição dos reagentes H_2O_2 (agente oxidante) e H_2SO_4 e deixou-se o meio reagir por 30 minutos. Após a adição dos reagentes para tratamento do efluente, verificou-se a temperatura e o pH, sendo que o efluente tornou-se extremamente ácido ($pH=2,8$) e com temperatura elevada ($T=73^\circ C$) havendo uma acentuada reação exotérmica. Para verificação das concentrações de DQO filtrou-se o efluente em coluna de carvão ativado conforme mostrado na Figura 6, porque o mesmo apresentou uma coloração esverdeada devido ao excesso de agente oxidante, com visto na figura comparativa 6.



Figura 6. Filtração em coluna de carvão ativado do efluente tratado por ácido de caro



Figura 7. Comparativo de soluções com e sem filtração por carvão ativado.

Foram realizados quatro testes experimentais em solução concentrada e quatro em solução diluída (1:10), com diferentes concentrações de DQO e reagentes. Os valores

utilizados e obtidos nos testes se encontram na Tabela 4 e as eficiências do tratamento nos testes mostradas no gráfico da Figura 8.

Tabela 4. Valores encontrados no tratamento com ácido de caro.

TESTES	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
H ₂ SO ₄ (g)	1,5	3	4,5	6
H ₂ O ₂ (mL)	1,5	3	4,5	6
DQO conc. (mg/L)	10350	6130	3900	1590
Redução %	21,59	53,56	70,45	87,95
DQO dil. 1:10 (mg/L)	9650	5200	3100	1400
Redução %	26,89	60,61	76,52	89,39
Temperatura da reação °C	73,1	73,9	77,4	80
Temperatura de descarte	< 40°C			
pH final	5,0 - 9,0			

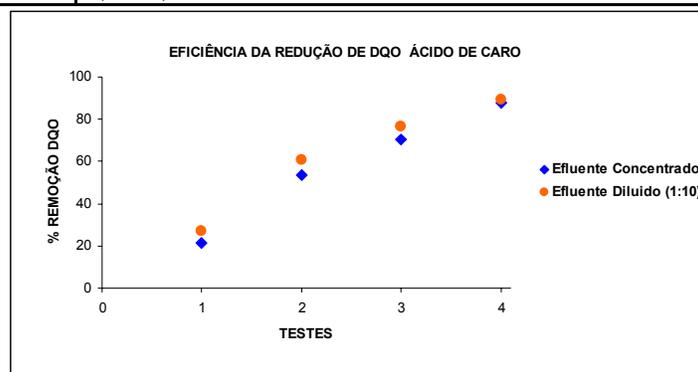


Figura 8. Gráfico com a avaliação da eficiência de reação na remoção de DQO

3.2.3 Tratamento do líquido percolado por permanganato de potássio (KMnO₄)

Para realização do tratamento por KMnO₄ em solução concentrada o efluente precisa estar em meio ácido, adicionando-se 3,5 mL de H₂SO₄ (ácido sulfúrico) o pH foi reduzido para meio ácido. Para quantificar o KMnO₄ (agente oxidante) foi pesado 2g do mesmo, e para evitar a oxidação em excesso do efluente, o reagente foi adicionado aos poucos. Quando o efluente em agitação no Jartest tendeu da cor marrom para lilás parou-se a adição do agente oxidante. Após o tratamento foi pesado novamente o KMnO₄ para verificar a quantidade de reagente adicionado no tratamento. O mesmo procedimento foi utilizado no tratamento por KMnO₄ diluído 1:2, sendo utilizado 4,5 mL de H₂SO₄. Para verificação das taxas de DQO filtrou-se o efluente em coluna de carvão ativado, conforme Figura 9, para redução do agente oxidante. O mesmo procedimento foi utilizado no tratamento em solução diluída 1:2.



Figura 9. Filtração em coluna de carvão ativado do efluente tratado por Permanganato de potássio

Foi realizado 1 teste com chorume concentrado e 1 teste com este diluído (1:2). Os valores utilizados e obtidos nos testes se encontram na Tabela 5 e as eficiências do tratamento nos testes mostradas no gráfico da Figura 10.

Tabela 5. Valores encontrados no tratamento com permanganato de potássio

TESTES	Teste conc.	Teste dil.
KMnO ₄ (g)	0,381	0,025
DQO 1:2 (mg/L)	2278	1830
Redução %	82,74	86,14
pH reação	2,8	
pH final	5,0 - 9,0	

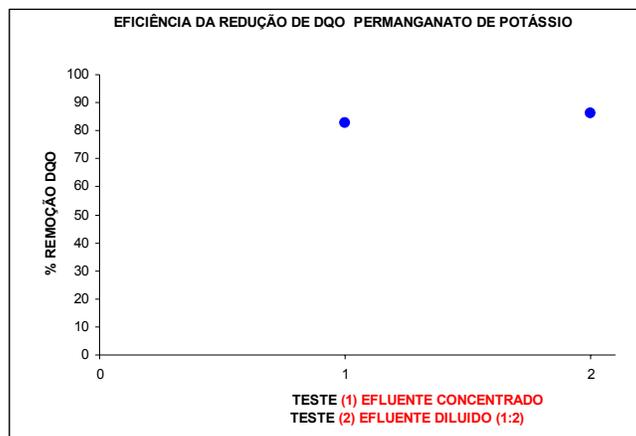


Figura 10. Gráfico com a avaliação da eficiência de reação na remoção de DQO

4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Em primeira instância, é necessário salientar que as características físico-químicas do líquido percolado (chorume), principalmente representadas por uma elevada carga orgânica e forte coloração, fazem com que os processos oxidativos avançados não apresentem uma elevada eficiência de degradação quando aplicados de maneira isolada, entretanto, entre os processos isolados estudados (Sistema Fenton, Ácido de Caro e Permanganato de Potássio), destaca-se o reagente Fenton, que apresentou remoção acima de 96% para o parâmetro DQO do percolado.

Após os tratamentos realizados por reagente fenton, ácido de caro e permanganato de potássio concluiu-se que o melhor tratamento por processos oxidativos avançados foi com o reagente fenton, pois o mesmo apresentou maior redução da DQO do efluente, sem qualquer processo adicional. O tratamento com ácido de caro apesar de ter apresentando uma significativa redução da DQO, fez-se necessário filtração do efluente tratado em coluna de carvão ativado para redução do agente oxidante, e seu maior inconveniente foi gerar uma reação extremamente exotérmica.

Já o tratamento por permanganato de potássio apresentou uma redução da DQO inferior às demais, e também teve que passar o efluente tratado pelo filtro com carvão ativado para redução do agente oxidante, sendo seu maior inconveniente é a geração do íon manganês.

REFERÊNCIAS

- 1 JARDIM, W.F.; SOARES, Aluisio; TEXEIRA, Claudia Poli Barêa. **Remediação de solos e águas subterâneas por processos oxidativos avançados**. In Livro de resumo, 2004, Paulínia-SP. I Congresso de Meio Ambiente Paulínia e Região Metropolitana de Campinas, 2004.
- 2 JULIANA, F.A. **Aplicação do Reagente Fenton no Tratamento de Líquidos Lixiviados de Aterros Sanitários**. 2004. 118f. Dissertação (mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004
- 3 MORAIS, J. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário**. 2005. 207f. Tese (Doutor em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- 4 WALESKA EFGEN DE OLIVEIRA. **Alternativa de Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitários por Tecnologias Avançadas de Oxidação**. 2004 Of iniciação científica (CNPQ) – Universidade Federal de Minas Gerais, orientador Lisete Celina Lange.
- 5 FERRAZ, A.O.; GOMES, A. **Apostila de Aulas práticas de Projetos de Sistemas de Tratamento de Águas e Resíduos**. Notas de Aula - Centro Universitário de Volta Redonda, p.03, junho 2006.
- 6 TEIXEIRA, C.P.B.; JARDIM, W.F. **Remediação de solos in situ usando oxidação química**. Meio Ambiente Industrial, p. 107 – 109, 2003.
- 7 BRASILEIRO, L.B.; COLODETTE, J.L.; PILÓ-VELOSO, D. **A utilização de perácidos na deslignificação e no branqueamento de polpas celulósicas**. Química Nova, São Paulo, v. 24, n. 6. p. 819-829, 2001.