ESTUDO DO PROCESSO FENTON HOMOGÊNEO NO TRATAMENTO DO CHORUME DO ATERRO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE CONTAGEM

Márcio Guimarães Coelho[1]
Francisca Macelma Duarte Morais[2]
Lucas Almeida Leão[3]
Malena Petronilho[4]
Letícia Oliveira[5]

Resumo: Dentre as diversas situações preocupantes, a que mais se destaca atualmente é a disponibilidade de água potável, essencial para a sobrevivência humana. Têm-se discutido medidas a adotar para que os impactos sejam minimizados e uma das alternativas apresentadas é a inserção do hábito de reutilização de água. Este composto representa também uma matéria prima essencial para a industrialização de diversos produtos, os quais após o seu consumo ocasionam a geração de resíduos sólidos a serem coletados e acabam, em grande maioria, depositados em aterro sanitário. Este resíduo sofre a ação de bactérias e outros micro-organismos que promovem a decomposição e há a formação do biogás e chorume, dentre outros compostos. O chorume é capaz de causar danos ambientais de alto impacto, por este motivo, houve a intenção de promover um estudo para identificar a viabilidade do seu tratamento. O método aplicado aos testes realizados foi o processo Fenton, um processo oxidativo avançado (POA), baseado no uso de um composto oxidante e sais de ferro, que promovem a geração de radicais hidroxila - $OH^{\bullet}$, que proporcionam a degradação de contaminantes, transformando-os em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos. Durante o processo foram aplicados modos distintos de inserção dos reagentes em ambas as amostras, assim, uma recebeu os compostos em uma única etapa e na outra, a adição aconteceu de forma fracionada. Foram realizadas análises para caracterização do efluente antes e pós-tratamento, utilizando a Demanda Química de Oxigênio (DQO) como parâmetro, para a verificação da eficiência obtida.

Palavras-Chaves: Chorume, Descontaminação, Fenton homogêneo, Aterro sanitário.

Abstract: Among many problematic situations, the one that stands out is currently the availability of drinking water, essential for human survival. There have been discussed measures to be taken to ensure that impacts are minimized, and one of the alternatives introduced is the insertion of water recycling habit. This compound also is an essential raw material for the manufacturing of various products, which after its use, causes the generation of solid waste to be collected and eventually, in most part, landfilled. This residue undergoes the action of bacteria and other microorganisms that promote its breakdown producing biogas and slurry, among other compounds. The slurry is capable of causing environmental damage of high impact, for this reason, there is the intention to launch a study to identify the feasibility of its treatment. The method used for the tests performed was the Fenton process, an advanced oxidation process (AOP), based on the use of an oxidizing compound and iron salts, which promote the generation of hydroxyl radicals - $OH^{\bullet}$, which provide the degradation of contaminants, processed the carbon dioxide, water and inorganic anions. During the process

Newton
Quem se prepara, não para.

separate insertion modes of the reactants are applied in both samples, so that one received compounds in one step and another addition happened in divided doses. Analysis were made to characterize the effluent before and after treatment using the chemical oxygen demand (COD) as a parameter to verify the efficiency obtained.

Keywords: Slurry, Decontamination, homogeneous Fenton, Landfill.

INTRODUÇÃO

Percebe-se que algumas pessoas se preocupam com o destino que o seu lixo irá tomar, mas em grande maioria, o fato de recolher o seu lixo e disponibilizá-lo para a coleta periódica é considerada uma situação rotineira e sem grande importância. Acredita-se que o número de habitantes que realmente tenham se perguntado acerca do destino dos resíduos, qual o volume ocupado quando descartados ou até mesmo os impactos ambientais causados quando este é disposto de maneira incorreta, corresponde a baixos índices da população (CAMPOS; BRAGA; CARVALHO, 2002).

Esta atividade de coleta periódica disponibilizada pelo município de Contagem é de extrema importância para o saneamento básico do município, mas diversas vezes se torna imperceptível. Muitos só percebem a sua real necessidade quando ocorre a falta da prestação dos serviços, ocasionando um desconforto e o acúmulo de resíduos nas vias públicas, podendo favorecer o surgimento de vetores de doenças, insetos e roedores.

A educação da população pode atuar diretamente em algumas políticas públicas implantadas, de forma a contribuir para a manutenção dos serviços e reduzindo o percentual de resíduos destinados à disposição final em aterro sanitário. Assim, Vilhena e Politi (2006) afirmam que a conscientização da população deveria ter sido uma preocupação desde a Revolução Industrial, conforme o trecho a seguir.

> A maioria dos problemas ambientais que hoje ocorrem no mundo poderia ter sido evitado se a educação ambiental e conscientização ecológica fizessem parte das preocupações das sociedades desenvolvidas, desde a Revolução Industrial. O desconhecimento dos efeitos ambientais de certas ações está na origem de grandes desastres ecológicos. É consensual a necessidade de disseminar, entre todos, desde a infância, uma nova consciência e mudança de atitudes quanto à sobrevivência do planeta, visando o desenvolvimento sustentável (VILHENA; POLITI, 2006, p. 9)

Conforme Campos; Braga; Carvalho (2002) existe uma classificação que distingue os três tipos de posicionamento dos indivíduos perante o lixo, assim, existe o irresponsável ou indivíduo *Nimby*; o formal; e o ecológico e politicamente correto.

> Irresponsável ou indivíduo Nimby: para ele, não importam os meios, a única coisa que interessa é desvencilhar-se do seu lixo já, de qualquer forma e em qualquer lugar; O formal ou indivíduo que se encaixa nas normas estabelecidas para liberar o lixo, que cumpre com o dever de cidadão, porém, nada faz de extraordinário para isso acontecer; O ecológica e politicamente correto, ou indivíduo que trata de dar destino certo ao lixo, esforçando-se por comportar-se acima do solicitado e da média das pessoas (CAMPOS; BRAGA; CARVALHO, 2002. 29)

Através da conscientização da população, é interessante formar cidadãos politicamente corretos, a fim de promover a sustentabilidade dos processos aplicados no município.

No Brasil houve a publicação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que prevê diversas ações a serem tomadas por todos os Estados brasileiros. Um dos pontos mais interessantes é a exigência da extinção de métodos inadequados de disposição de resíduos, mas infelizmente diversos municípios ainda utilizam-se de lixões para realizar a destinação dos resíduos coletados, acarretando diversos problemas e passivos ambientais.

A utilização de aterros sanitários como método de disposição final de resíduos é atualmente a metodologia mais viável que municípios e órgãos governamentais dispõem. Essa técnica de disposição de resíduos sólidos é a que apresenta menor custo e é a mais recomendada ambientalmente quando se tem área disponível e poucos recursos financeiros. Porém nos aterros há a geração de contaminantes como o chorume que, por possuir alto potencial de contaminação, se apresenta como um problema ambiental (TELLES, 2010; COUTO, 2013).

Contagem atende o PNRS, sendo um dos 80 municípios mineiros a manter um aterro sanitário regularizado, lembrando que, Minas Gerais possui em sua totalidade 853 municípios (FEAM, 2014). A caráter des-

critivo, o aterro sanitário municipal de Contagem está situado à Via Expressa de Contagem, bairro Perobas e a sua administração é coordenada pela secretaria adjunta de limpeza urbana municipal. A previsão para término de operação é estimada para 2020 e conta com 80 hectares de área para acondicionamento dos resíduos sólidos. Diariamente são acondicionadas aproximadamente 800 toneladas de resíduos sólidos, dentre estes se incluem restos de construção, podas de árvores e o lixo doméstico.

A decomposição destes resíduos promove a geração de biogás e do chorume, dentre outros compostos. Este último ocasiona maior preocupação, visto que sua percolação pode provocar a poluição das águas subterrâneas e superficiais, a redução do teor de oxigênio dissolvido (OD) e a alteração da fauna e flora aquática. Dessa forma, sistemas de coleta e tratamento do chorume de aterro sanitário são fundamentais (TELLES, 2010).

Devido à complexidade de sua composição, é difícil estabelecer uma metodologia de tratamento que abranja todos os constituintes do chorume. Sabendo disso, a escolha do melhor processo a ser implantado deve ser feita de forma a buscar uma alternativa eficiente unindo sustentabilidade técnica e econômica (LANGE *et al,* 2006).

Atualmente, uma das técnicas mais eficientes para degradação de compostos orgânicos, e consequentemente o tratamento de água e efluentes, são os chamados POAs (Processos Oxidativos Avançados), que se baseiam na produção de radicais livres, predominantemente o hidroxila ($OH^{\bullet}$). Este radical, por possuir alto poder oxidativo, promove a degradação da matéria orgânica presente no meio (FIOREZE; PEREIRA; SCHMACHTENBERG; 2014).

Segundo Asano *et al* (2007), "os POAs podem ser usados para destruir traços de compostos que não foram oxidados completamente por processo de oxidação convencional, incluindo constituintes que podem afetar o sistema endócrino".

Um dos POAs mais estudados é o Fenton homogêneo que consiste na utilização de peróxido de hidrogênio e sais de ferro em meio ácido. Na equação 1 é mostrado o esquema reacional deste processo.

EQUAÇÃO 1 – a esquema racional do processo

$$\text{Contaminantes} + H_2O_{2(aq)} + Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow \underset{\text{compostos}}{CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} + Fe(OH)_{3(s)} + \text{Outros}} \quad \text{(Equação 1)}$$

Fonte: elaborada pelo autor

Segundo Gonçalves (2003), o mecanismo de reação dos POAs em caráter primário acontece em duas etapas: a formação do radical hidroxila (Equação 2) e a reação deste radical com o contaminante inorgânico. Ocorre o favorecimento da segunda reação se existirem ligações duplas e triplas ou configurações aromáticas no substrato, ou seja, ligações moleculares não saturadas. Logo, a reação do $OH^{\bullet}$ com compostos ou estruturas orgânicas podem acontecer de três maneiras: por adição de hidroxila, por retirada de hidrogênio e por transferência de elétrons (GONÇALVES, 2003).

EQUAÇÃO 2 – Reação do OH

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + HO^{\bullet} \quad \text{(Equação 2)}$$

Dessa forma, a utilização de POAs manifesta-se como uma opção viável no tratamento dos contaminantes presentes no chorume gerado pelos aterros sanitários, pois o radical hidroxila atuará nos compostos orgânicos presentes no efluente. Assim, esta pesquisa tem por objetivo o desenvolvimento de testes de degradação dos contaminantes presentes no chorume de aterros sanitários a partir do processo oxidativo Fenton homogêneo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Reagentes

A amostra de chorume foi coletada no aterro sanitário municipal da cidade de Contagem. O local da coleta está exposto na Figura 1, a qual apresenta o ponto final de descarte do chorume, para assim, chegar à rede coletora.

FIGURA 1 - Ponto de coleta do chorume

Fonte: elaborada pelo autor

Foi realizado no laboratório de química do Centro Universitário Newton Paiva, o processo de tratabilidade em chorume de aterro sanitário utilizando o método Fenton homogêneo e como parâmetros para avaliação da eficiência do processo, foram realizadas as análises físico-químicas e Demanda Química de Oxigênio (DQO) no chorume bruto e tratado.

Para que tais procedimentos fossem realizados, houve a utilização dos reagentes relacionados abaixo.

TABELA 1 – Lista de utilização de reagentes

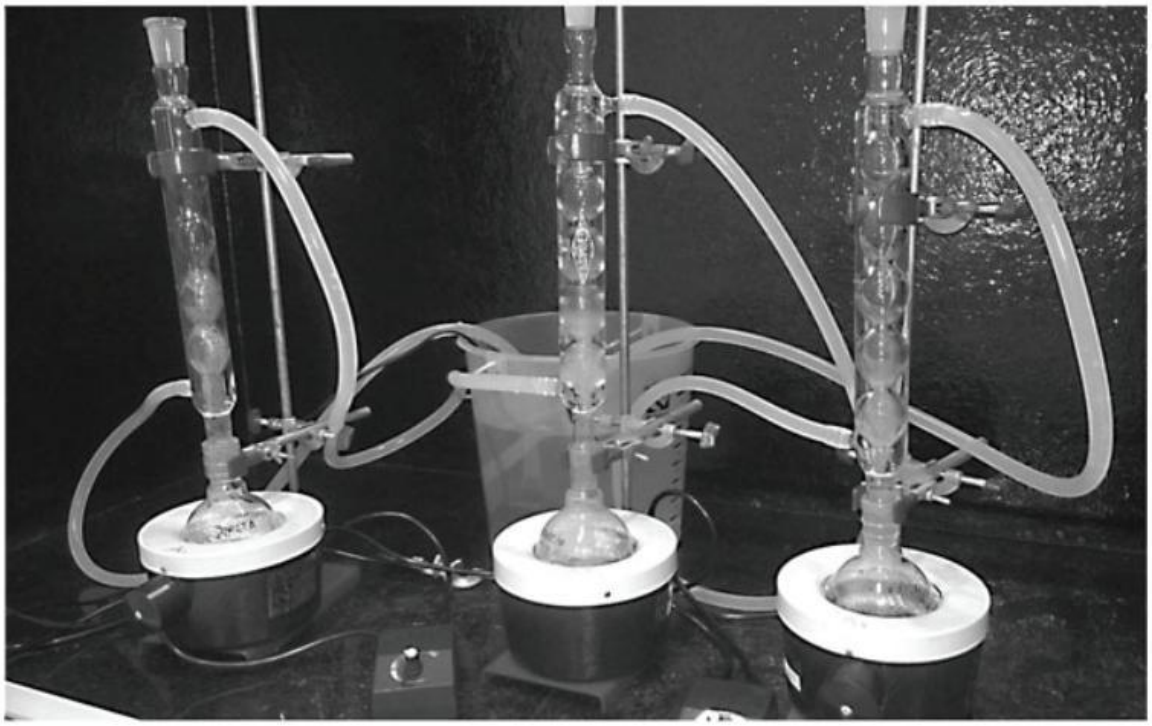
- Ácido clorídrico 1N;
- Ácido sulfúrico 5N;
- Ácido sulfúrico PA;
- Água destilada;
- Dicromato de potássio 0,25N;
- Hidróxido de sódio 1N;
- Indicador ferroína;
- Permanganato de potássio 0,1 N;
- Peróxido de hidrogênio 70% m/m;
- Solução ácido sulfúrico PA + sulfato de prata PA;
- Sulfato de mercúrio;
- Sulfato ferroso amoniacal 0,25N;
- Sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4.7H_2O$).

Fonte: elaborada pelo autor

Equipamentos

As leituras de pH foram realizadas em um peagâmetro modelo (HANNA HI221). Com o auxílio de um comparador Lovibond® as amostras foram submetidas à análise de cor. A turbidez foi executada através de um turbidímetro Hanna HI 83414 e a DQO demandou a montagem de um sistema de refluxo utilizando condensadores, juntas, balões volumétricos, mantas aquecedoras, dentre outros equipamentos que podem ser observados na Figura 2.

FIGURA 2 - Sistema de refluxo



Fonte: elaborada pelo autor

Tratamento do chorume

O chorume é a fração líquida proveniente do processo de decomposição física, química e biológica dos resíduos sólidos. Sua geração depende de diversos fatores, como umidade natural dos resíduos, processo de decomposição da matéria orgânica, quantidade de água da chuva que percola sobre o resíduo, variações climáticas, técnicas de aterramento e métodos de compactação do resíduo. Este chorume recebe diversas denominações, dentre elas, lixiviado, sumeiro, chumeiro e percolado (TELLES, 2010).

Este composto tem sua composição baseada em substâncias orgânicas e inorgânicas, há a presença de várias espécies de micro-organismos e compostos diversos em solução e em estado coloidal. Devido à alta presença de compostos orgânicos de baixa biodegradabilidade, o chorume é considerado a principal fonte poluidora de águas subterrâneas e superficiais em locais próximos a superfícies utilizadas para a disposição de resíduos (TELLES, 2010).

Visando a degradação efetiva de compostos agressivos à fauna e flora aquática, torna-se necessária a realização de estudos sobre o melhor método para o tratamento deste chorume, de forma a minimizar os efeitos negativos quando este composto entrar em contato com corpo d'água.

Dentre os métodos utilizados, destacam-se os biológicos, mas os altos níveis de nitrogênio acabam interferindo no tratamento. Assim, a associação entre os métodos pode ser vantajosa, podendo atingir níveis de degradação satisfatórios (LANGE *et al,* 2006).

Para o tratamento do chorume coletado no aterro sanitário do município de Contagem, aplicou-se o método Fenton homogêneo, processo que tem sido utilizado para diversos ensaios de tratabilidade, sempre visando a degradação de algum composto.

Segundo Lange *et al* (2006), a metodologia é composta basicamente por quatro estágios:

Ajuste de pH: a faixa ideal é entre 3 a 4, pois tanto o

peróxido de hidrogênio quanto os íons ferrosos são mais estáveis em pH ácido;

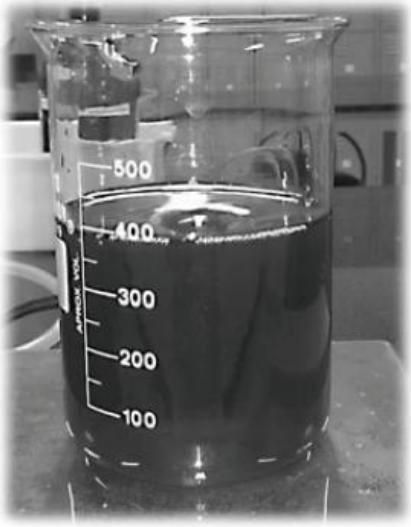
Reação de oxidação: É realizada a adição do peróxido de hidrogênio e do sulfato ferroso ao efluente, sendo a reação processada em um reator não pressurizado e com agitação constante;

Neutralização e coagulação: nesse estágio adiciona-se cal ou hidróxido de sódio, com o intuito de se realizar um ajuste do pH (entre 6 a 9), propiciando a precipitação do hidróxido de ferro, e possibilitando a remoção de outros metais pesados;

Precipitação: Ocorre a precipitação do hidróxido de ferro e de alguns metais pesados que serão removidos da solução.

Assim, para a realização dos testes de tratabilidade, foram dosados, com o auxílio de uma proveta, duas amostras contendo aproximadamente 400 ml de chorume a ser tratado. Estas amostras foram transferidas para béqueres, e a agitação foi iniciada (Figura 3).

FIGURA 3 - Chorume bruto a ser tratado



Fonte: elaborada pelo autor

Com o auxílio de um pHmetro, o pH foi ajustado em aproximadamente 2,20. Logo após, foi realizada a adição dos reagentes para a reação de Fenton.

Na amostra 1, adicionou-se 10 ml de peróxido de hidrogênio 70% m/m e 1,0 g de sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4.7H_2O$) (Figura 4). Já na amostra 2, a adição dos reagentes aconteceu de forma fracionada, metade da quantidade dos reagentes no início e a outra metade depois de decorridos 60 minutos de reação.

FIGURA 4 - Chorume pós-adição de reagentes para o Fenton

Fonte: elaborada pelo autor

Após 120 minutos do início da reação, ambas as amostras tiveram o pH ajustado para aproximadamente 7 e a filtração foi realizada. Cada amostra tratada foi submetida a filtração em coluna de carvão ativado granulado e em papel de filtro simples, gerando 4 amostras a serem analisadas. O efluente bruto e as amostras tratadas foram caracterizadas quanto à cor, turbidez, DQO e pH.

Análise de cor

As análises de cor foram realizadas com o auxílio de um comparador Lovibond®. A cor da amostra é visualmente comparada com filtros de vidro coloridos, montados em discos. O comparador Lovibond® 2000 (Figura 5) é composto por um campo visual, com uma unidade de iluminação, que garante a condição adequada para a análise de cor. A cor da amostra é visualmente comparada com filtros de vidro coloridos, montados em disco, correspondendo a cores apha.

FIGURA 5 - Comparador Lovibond®

Fonte: elaborada pelo autor

Determinação da turbidez

O teste de turbidez foi realizado através de um turbidímetro Hanna HI 83414. Primeiramente estabeleceu-se uma curva de calibração para que depois as amostras fossem inseridas para a realização da leitura. A medição da turbidez foi realizada em triplicata para que houvesse a diluição do erro do equipamento.

Teste de demanda química de oxigênio – DQO

A análise de DQO baseia-se na oxidação da matéria orgânica por uma mistura em ebulição de ácido crômico e ácido sulfúrico. A adição do sulfato de prata é importante para catalisar a oxidação dos compostos orgânicos de baixo peso molecular e ácidos graxos. Vale ressaltar que os hidrocarbonetos aromáticos e as piridinas não são oxidados por este processo. Neste ensaio foi utilizado o dicromato de potássio, devido a seu amplo espectro de oxidação, transformando uma grande variedade de compostos orgânicos em quase que completamente em dióxido de carbono e água (MACÊDO, 2005).

Foram preparadas as soluções necessárias para a análise, e posteriormente, procedeu-se com o ensaio de DQO, que está descrito abaixo, baseado no método apresentado por Macêdo (2005).

Em um balão de fundo redondo de 250 mL foram inseridos aproximadamente 0,4 g de sulfato de mercúrio, com o intuito de evitar que o excesso de cloretos provoque alguma interferência na análise. Adicionou-se em seguida 20 mL de amostra, sendo que para o chorume bruto houve um fator de diluição de 5 vezes, e as demais amostras foram pipetadas puras.

Em seguida, houve a adição de 10mL de solução de dicromato de potássio 0,25N e posteriormente 20mL da solução de ácido sulfúrico e sulfato de prata, vagarosamente e procedendo com cuidado, de modo que fosse feita a completa dissipação de calor e homogeneização de todos os reagentes.

Foram adicionadas algumas pérolas de vidro e o balão foi conectado ao condensador de refluxo. Para a obtenção do branco, as operações anteriores foram repetidas, porém substituiu-se os 20mL da amostra por 20mL de água destilada. Submeteram-se todas as amostras e o branco a refluxo com duração de duas horas.

Para dar prosseguimento à análise, foi necessário realizar a padronização da solução de sulfato ferroso amo-

niacal para ser possível obter a sua concentração real, já que esta solução possui rápida desestabilização, necessitando de aferição sempre que for utilizada.

Assim, para a padronização, foram pipetados 10 mL da solução padrão de dicromato de potássio em erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 100 mL de água destilada. Adicionaram-se 20 mL de ácido sulfúrico/sulfato de prata, realizando a homogeneização com cuidado e resfriando em água corrente e posteriormente em banho de gelo.

Posteriormente, foram adicionadas 3 gotas de indicador ferroína e titulou-se com sulfato ferroso amoniacal 0,25N (normalidade teórica). Após as amostras serem submetidas ao refluxo por duas horas, o interior do condensador foi lavado com água destilada, deixando-se resfriar por completo e adicionando-se água destilada (aproximadamente 50 mL).

As amostras e o branco foram titulados com a solução de sulfato ferroso amoniacal, com a concentração encontrada após a padronização. Logo, para o cálculo da concentração da solução de sulfato ferroso amoniacal, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$(A - B)\,x\,C\,x\,\frac{8000}{V\text{amostra}}\,x\,D = \frac{mg}{L}\,de\,DQO$$

Em que:

A = Volume/mL de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ gastos no branco;

B = Volume/mL de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ gastos com a amostra;

C = Concentração da solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$;

D = Fator de Diluição.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como parte integrante do licenciamento ambiental, é importante a definição e adoção de um procedimento a fim de estabelecer a organização do local. No aterro municipal de Contagem, segue-se a ordem cronológica demonstrada abaixo conforme o Parecer Único Supram Cm n.º 346/2010.

1) Todos os carregamentos que chegam ao aterro sanitário passam inicialmente pela balança de pesagem, instalada na entrada do aterro (Figura 6). Em seguida, autoriza-se a entrada do veículo na área do aterro, dirigindo-se diretamente à frente operacional (Figura 7), onde são repassadas as informações para descarga.

Logo após, o veículo é pesado novamente e é emitido um tíquete, o que possibilita calcular, por diferença de pesagens, a carga de resíduos aterrada.

FIGURA 6 - Entrada do aterro e vista parcial da balança

Fonte: SUPRAM, 2010.

FIGURA 7 - Vista parcial do aterro sanitário de Contagem

Fonte: SUPRAM, 2010.

2) É feita uma inspeção visual pelo encarregado a fim de verificar a conformidade do material descarregado, ao final da qual poderá ser autorizada a operação de compactação.

3) O trator de esteiras espalha os resíduos em camadas de aproximadamente 60cm, podendo variar de 50cm a 80cm, e realiza a compactação por meio de passadas sucessivas – entre 6 e 8 passadas (Figura 8).

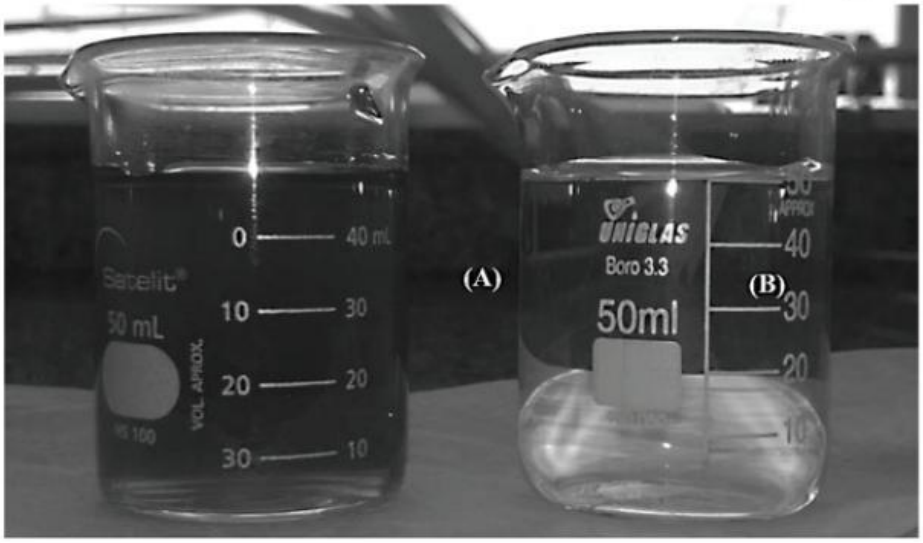
Para o processo de umidificação e redução de material particulado, utiliza-se água obtida através de caminhões pipa, gastando-se em média 6,4 metros cúbicos por dia.

Figura 8 - Vista dos taludes com resíduo sólido já aterrado

Fonte: SUPRAM, 2010.

4) Ao final de cada dia, é feito o recobrimento da frente operacional, utilizando-se uma média de aproximadamente 15cm de solo levemente compactado (Figura 9).

FIGURA 9 - Chorume antes (A) e depois do tratamento por Fenton homogêneo (B).



Fonte: elaborada pelo autor

Com o decorrer do tempo, a matéria orgânica compactada começa a se decompor e há a formação de um líquido escuro, com elevada carga orgânica. Este líquido é o chorume, e o que é gerado no aterro não é submetido a tratamento prévio, antes de ser realizado o seu descarte. Assim, ele é direcionado à ETE Onça, através da rede coletora, para que o tratamento seja realizado pela COPASA (SUPRAM, 2010).

As instalações do aterro sanitário funcionam conforme a legislação ambiental, mas é possível inserir oportunidades de melhoria, sendo a principal delas a instalação de uma estação de tratamento de chorume para a unidade de recepção de resíduos sólidos (SUPRAM, 2010).

A vazão média do chorume no aterro municipal de Contagem chega a 1 litro por segundo, o que equivale a cerca de 86m^3 de efluente ao dia (SUPRAM, 2010). Pensando em direcionar este efluente para uma aplicação após o tratamento, processo Fenton homogêneo foi aplicado e sabe-se que quanto à turbidez da solução, houve uma redução quando comparada ao efluente bruto indicando que a quantidade de sólidos presentes foi reduzida, demonstrando eficiência acima de 69%. Já com relação à cor, foi possível obter uma redução acima de 90% (Figura 10), tendo a filtração em carvão ativado uma maior eficiência.

FIGURA 10 - Frente de Operação

Fonte: SUPRAM, 2010.

Analisando os resultados obtidos em outros testes que já foram realizados, GOMES (2009) indica uma redução de 90% em cor e 80% na DQO, o que condiz e apresenta que o teste realizado com a adição fracionada de reagentes é capaz de obter resultados com melhor eficiência. A comparação entre os resultados acontece de forma subjetiva, pois cada chorume possui uma composição, o que pode tornar a degradação da matéria orgânica mais complexa. Assim, em testes realizados por MARTINS; BOAVENTURA (2014), a partir do chorume coletado em Luanda, a redução de DQO foi em torno de 60%, quando estabelecidas as condições ótimas.

Dessa forma, a eficácia do tratamento deve ser avaliada a partir das condições iniciais apresentadas pelo efluente, pois o chorume exibe condições distintas durante os testes, dificultando a comparação entre os resultados.

Na Tabela 1, são demonstrados de forma geral e objetiva, os resultados obtidos durante os testes.

TABELA 1 - Resultados obtidos após análises

Amostra*	DQO mg/L	Cor (Haze n)	pH	Turbidez	Eficiência **
1	1.635,2	>70,0	8,3	13,7	-
2	168,2	0 a 2,5	8,9	1,6	90%
3	186,9	7,5	7,1	2,3	88%
4	420,5	0 a 2,5	8,5	4,2	74%
5	345,7	2,5	7,2	0,7	79%

* 1: Efluente sem tratamento (chorume); 2: Amostra 2 após filtração em carvão ativado; 3: Amostra 2 após filtração em papel de filtro; 4: Amostra 1 após filtração em carvão ativado; 5: Amostra 1 após filtração em papel de filtro. ** cálculo realizado com base na DQO.

Fonte: elaborada pelo autor

Uma parte dos contaminantes orgânicos é mineralizada durante o processo de tratamento, ou seja, gera CO_2, H_2O e íons inorgânicos, já outros contaminantes são oxidados gerando moléculas menores e mais facilmente biodegradáveis. A determinação do teor de matéria orgânica mineralizada pode ser realizada pela comparação da demanda química de oxigênio (DQO) do efluente antes e após o processo de tratamento. Dessa forma, a análise de DQO nos fornece um parâmetro indispensável para avaliar a eficiência do processo. Assim, tinha-se inicialmente 1635,2 mg/L no efluente bruto e foi possível atingir o nível de 168,2 mg/L, equivalendo a cerca de 90% de eficiência a depender do procedimento adotado.

Observa-se que a amostra 2 equivale ao Fenton homogêneo com adição fracionada e a amostra 1 refere-se a reação de forma direta, com adição única dos reagentes. Assim, o processo mais eficiente foi o fracionado, seguido de filtração em carvão.

Os resultados apresentados são promissores e indicam que o método de tratamento em estudo possui potencial para ser utilizado em estações de tratamento de chorume de aterros sanitários. Estes locais de disposição de resíduos podem ser potenciais geradores de água de reuso não potável, sendo a sua utilização para a redução de material particulado próximo às frentes de operação.

CONCLUSÃO

Tendo em vista o aumento na geração de resíduos, a preocupação com os impactos ambientais causados pelo chorume e as dificuldades encontradas para que o efluente se enquadre nos padrões da legislação, é de suma relevância que se desenvolvam estudos mais aprofundados a fim de aperfeiçoar os métodos de tratamento convencionais para que seja eliminada ou reduzida suas limitações.

Assim, o processo de degradação da matéria orgânica através do método oxidativo Fenton homogêneo mostrou-se efetivo ao ser aplicado na amostra de chorume. Este efluente contém uma alta carga orgânica e após o tratamento foi possível obter uma redução de até aproximadamente 90%. Ainda é possível que sejam obtidos melhores resultados combinando o processo Fenton homogêneo com processos clássicos de tratamento de água.

Este efluente, após o tratamento, apresenta características que podem possibilitar a sua aplicação como água de reuso para a redução de material particulado emitido no aterro, e até mesmo como água de lavagem geral para ruas, calçadas entre outros. Isso contribuiria significativamente para a diminuição do consumo de água potável e consequentemente para a sustentabilidade dos recursos hídricos, mas infelizmente, o Brasil ainda não

detém uma legislação ligada diretamente ao reuso, para regularizar a sua utilização.

Em diversas partes do mundo há o reuso da água, como exemplo, Flórida e Califórnia. Estes são alguns dos principais estados americanos a implantarem projetos de reuso e recuperação da água. Na Califórnia, o reuso é aplicado à irrigação, utilizando aproximadamente 67% de todo o total de volume (ASANO *et al,* 2007).

O tratamento do chorume é importante devido aos diversos pontos benéficos, tais como a prevenção de contaminação de lençóis freáticos e aumento da biodegradabilidade dos compostos que são apresentados ao meio ambiente, pois quando descartado conforme sua condição inicial pode ocasionar poluição de corpos d'água.

Enfim, pode-se afirmar que o processo Fenton é eficaz para a degradação da matéria orgânica presente no chorume, sendo interessante realizar um estudo a partir de projeções para a implantação de plantas piloto e testes de toxicidade, o que proporcionará a realização dos ensaios em maior escala, possibilitando verificar o comportamento e a viabilidade do sistema.

AGRADECIMENTOS

À secretaria municipal adjunta de limpeza urbana do município de Contagem, pela cessão da amostra para a pesquisa. Ao Centro Universitário Newton Paiva pela disponibilização dos laboratórios para a realização dos testes.

REFERÊNCIAS

ASANO, Takashi, et al. *Water reuse*: issues, technologies, and applications. United States of America: Metcalf &Eddy, 2007. 1570p.

CAMPOS, Jayme de Oliveira; BRAGA, Roberto; CARVALHO, Pompeu Figueiredo de. *Manejo de resíduos*: pressuposto para a gestão ambiental. Rio Claro: LPM, 2002. 110p.

COUTO, Maria Claudia Lima; BRAGA, Florindo dos Santos e LANGE, Lisete Celina.Tratamento de lixiviado por infiltração rápida como alternativa para cidades de pequeno porte. *Eng. Sanit. Ambient.* 2013, vol.18, n.3, pp. 223-234. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n3/1413-4152-esa-18-03-00223.pdf> Acesso em: 12 fev. 2015.

Fundação Estadual do Meio Ambiente. Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2013. / Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte: FEAM, 2014. 45 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/minas_sem_lixoes/Publicacoes2014/relatrio%20de%20progresso%20-%20panorama%20rsu_2013_gerub.pdf> Acesso em: 10 nov. 2015.

FIOREZE, Mariele; PEREIRA, Eliane; SCHMACHTENBERG, Natana. *Processos oxidativos avançados:* fundamentos e aplicação ambiental. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/10662>. Acesso em: 8 de Nov. de 2015.

GOMES, L.P. (Coord.). *Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras.* Rio de Janeiro: Ed. ABES. 2009. 360 p. Disponível em < http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosab5_tema%203.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2015

GONÇALVES, Ricardo Franci. *PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO.* Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 438p.

LANGE, Liséte Celina et al.Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. *Eng. Sanit. Ambient.* 2006, vol.11, n.2, pp. 175-183. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1413-41522006000200011&script=sci_arttext> Acesso em: 12 fev. 2015.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. *Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas.* 3. ed. Belo Horizonte: C R Q - Minas, 2005. 601 p.

Martins, R.J.E; BOAVENTURA,R.A.R. *Estudo preliminar de tratabilidade do lixiviado do aterro sanitário de Luanda, Angola*; processo de fenton. 2014. Disponível em: < http://pdf.blucher.com.br/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0230-26429-174773.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2015.

Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Disponível em:< http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf> Acesso em: 01 abr. 2015.

SUPRAM. PARECER ÚNICO SUPRAM CM N.º 346/2010. Licenciamento Ambiental do aterro sani-tário de Contagem. Disponível em:< http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/Aguinaldo/Velhas-27-09-2010/14.1-pref-contagem-pu.pdf> Acesso em: 23 out. 2015.

TELLES, Cláudia Anastácia Santana. *Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário.* 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://fenix3.ufrj.br/60/teses/coppe_m/ClaudiaAnastaciaSantanaTelles.pdf> Acesso em: 12 fev. 2015.

VILHENA, Andre; POLITI, Elie. *Reduzindo, reutilizando, reciclando:* a indústria ecoeficiente. São Paulo: CEMPRE, SENAI, 2006. 93 p.

NOTAS

1 Professor orientador do Centro Universitário Newton Paiva.

2Professor colaborador graduado em engenharia química. E-mail: franciscamacelma@gmail.com

3 Graduando em engenharia química do Centro Universitário Newton Paiva.

4 Graduando em engenharia química do Centro Universitário Newton Paiva.

5 Graduando em engenharia química do Centro Universitário Newton Paiva.