

II-392 - PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO POR COAGULAÇÃO E ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO PULVERIZADO SEGUIDA DE FILTRAÇÃO ASCENDENTE EM PEDREGULHO

Andressa Algayer da Silva⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, *campus* Londrina. Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina - UEL.

Renan Borelli Galvão⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Mestrando em Engenharia de edificações e saneamento pela Universidade Estadual de Londrina – UEL.

Jandiara Damaris Campos Pozzetti⁽³⁾

Engenheira Ambiental pela Faculdades Adamantinenses Integradas - FAI. Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina - UEL.

Vilson Gomes da Assunção Júnior⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Mestrando em Engenharia de edificações e saneamento pela Universidade Estadual de Londrina – UEL.

Eduardo Hideo Fujii⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Mestre em Engenharia de edificações e saneamento pela Universidade Estadual de Londrina – UEL.

Emília Kiyomi Kuroda⁽⁶⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Mestrado em Hidráulica e Saneamento pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Nelson Eggas, 131 – Jardim Alcântara - Londrina - PR - CEP: 86037-350 - Brasil - Tel: (43) 9935-4653 - e-mail: andressa_algayer@hotmail.com

RESUMO

Devido ao crescimento acelerado da urbanização no Brasil, os problemas relacionados à degradação ambiental estão cada vez mais expressivos. No Brasil pode-se dizer que a forma de disposição de resíduos sólidos mais viável é ainda em aterros sanitários. O lixiviado é um líquido gerado na decomposição dos resíduos sólidos associado à pluviosidade. No entanto, devido as características físico-químicas e biológicas, torna-se ilegal realizar o descarte em corpo hídrico superficial sem que haja um devido tratamento. Apenas o processo biológico não é suficiente para remover do lixiviado, matéria orgânica, cor e compostos recalcitrantes exigindo, portanto, processos como os físico-químicos. Sendo assim, o presente estudo visa avaliar a remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor aparente, cor verdadeira e DQO de lixiviado tratado biologicamente por coagulação associada à adsorção em carvão ativado pulverizado – CAP seguida de filtração ascendente em pedregulho como pós-tratamento. A aplicação desse sistema de pós-tratamento para o lixiviado de estudo, considerando dosagem de coagulante (cloreto férrico) de 100 mg L⁻¹ de ferro em pH de coagulação da ordem de 4,0, e aplicação de 0,5 g L⁻¹ de CAP, possibilitou remoções de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor aparente e cor verdadeira de 99,8% e 100%, com valores residuais de 3 uH e 0 uH, respectivamente, de turbidez de 98,6% com valor residual de 3,24 uT e de DQO de 91,3% resultando em valor residual de 54 mg L⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Chorume, matéria orgânica recalcitrante, filtração ascendente em pedregulho e areia, sistemas adsortivos.

INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento acelerado da urbanização no Brasil, os problemas relacionados à degradação ambiental estão cada vez mais expressivos. A variedade de produtos que são oferecidos pela economia e a facilidade com que são obtidos fez com que a geração de resíduos sólidos aumentem significativamente.

Destaca-se que, no Brasil, a forma de disposição mais viável dos resíduos sólidos atualmente é ainda em aterros sanitários. Isto ocorre devido aos custos reduzidos de instalação e pela disponibilidade de área para a implantação.

A promulgação da Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), fez com que a disposição de resíduos sólidos a céu aberto fosse proibida. Com isto, a impermeabilização em aterros passou a ser obrigatória, a fim de diminuir um dos maiores riscos ambientais que é a contaminação do lençol freático pela percolação do lixiviado, gerado na decomposição dos resíduos sólidos associado à pluviosidade. No entanto, devido às características físico-químicas e biológicas do lixiviado de aterros sanitários, torna-se ilegal realizar o descarte em corpo hídrico superficial sem que haja um devido tratamento desse efluente.

O tratamento biológico é considerado um dos métodos mais utilizados no tratamento de lixiviado devido ao baixo custo e facilidade operacional. Porém, apenas o processo biológico não é suficiente para remover do lixiviado, cor e os compostos recalcitrantes, ou seja, aqueles de difícil biodegradação, cujo tratamento exige processos como os físico-químicos.

Destaca-se, portanto, o estudo da técnica de filtração direta ascendente em pedregulho adaptado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Essa técnica mostrou-se promissora na remoção de matéria orgânica recalcitrante e cor do lixiviado pós-tratado (Fujji, (2013); Castilhos Junior *et al.*, (2010)). A filtração direta ascendente consiste no escoamento contínuo de lixiviado, previamente coagulado, da base ao topo do filtro, ou seja, da camada inferior, de maior granulometria, à camada superior, de menor granulometria. Uma das vantagens desse sistema é a utilização da altura total do meio granular para retenção das partículas e flocos coagulados.

Tendo em vista sua capacidade adsorptiva e facilidade de aplicação, há necessidade de se investigar a associação do carvão ativado pulverizado - CAP à técnica de coagulação e filtração ascendente em pedregulho a fim de melhorar a qualidade do efluente produzido com vistas a atender à legislação brasileira.

OBJETIVO

Avaliar a remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor aparente, cor verdadeira e DQO de lixiviado tratado biologicamente por coagulação com adição de carvão ativado pulverizado seguida de filtração ascendente em pedregulho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Lixiviado de estudo

O lixiviado foi proveniente do aterro sanitário de Cianorte – PR, que se encontra em operação desde o ano de 2002, apresentando assim características de lixiviado estabilizado. O tratamento no aterro sanitário é realizado por processos biológicos, composto por uma sequência de lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação. Assim, foram coletados aproximadamente 15 m³ de lixiviado na saída da lagoa de maturação em caminhão tanque, previamente limpo, e armazenados em tanque de polietileno reforçado com fibra de vidro, localizado nas dependências do Laboratório de Saneamento da UEL.

O lixiviado antes e após tratamentos foi caracterizado de acordo com os parâmetros e métodos relacionados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e métodos utilizados na caracterização dos lixiviados antes e após tratamentos

Parâmetros	REF. APHA, AWWA, WEF (2012)	Método
pH (*)	Potenciométrico - 4500	Potenciométrico
Alcalinidade	22320 – C	Titulométrico
N-amoniacoal	4500 - NH ³ B e C	Destilação e Titulação
Cor verdadeira (*)	2120 – C	Método espectrofotométrico – filtrado em membrana 0,45 µm
Cor Aparente (*)	2120 – C	Método espectrofotométrico
Turbidez (*)	2130 – B	Método nefelométrico

(*) Parâmetros analisados para o lixiviado após tratamento

Ensaio em escala de bancada

Foram realizados ensaios de coagulação – floculação – sedimentação em reatores estáticos em escala de bancada – Jarrest a fim de se obter as condições de maior eficiência (dosagem de coagulante e pH de coagulação) em relação à remoção de matéria orgânica recalcitrante, correlacionada à cor verdadeira. Os valores dos parâmetros de controle operacional utilizados nos ensaios são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores dos parâmetros de controle operacional - ensaios em escala de bancada

Parâmetros de controle operacional	
Tempo médio de mistura rápida (Tmr)	1 min
Gradiente de velocidade médio de mistura rápida (Gmr)	600 s ⁻¹
Tempo médio de floculação (Tfloc)	20 min
Gradiente de velocidade médio de floculação (Gfloc)	20 s ⁻¹
Velocidade de sedimentação (Vsed)	0,23 e 0,12 cm min ⁻¹
Tempo de sedimentação (Tsed)	30 e 60 min

Foram utilizados como acidificante a solução comercial de ácido clorídrico (37%), com massa específica de 1,187 kg L⁻¹, e como coagulante o cloreto férrico líquido (38,94%), com massa específica de 1,412 kg L⁻¹. O carvão ativado pulverizado - CAP utilizado foi selecionado por Pozzetti *et al.* (2013) como sendo o de maior eficiência entre os produtos nacionais caracterizados. Esse carvão proveniente do Pinus possui origem vegetal e ativação física.

Os ensaios em escala de bancada foram realizados considerando os resultados de trabalhos anteriores obtidos por Kawahigashi (2014); Maler (2013); Pozzetti (2014) com dosagens de ferro de 100 e 200 mg L⁻¹ em pH de 3,5 a 5,5 e dosagem do carvão ativado pulverizado selecionado de 0,5 e 1 mg L⁻¹.

Após a determinação das condições de maior eficiência, foram realizados os ensaios de filtração ascendente em pedregulho com adição de carvão ativado pulverizado em instalação piloto de escoamento contínuo.

Ensaio em escala piloto

A instalação piloto de filtração ascendente em pedregulho foi projetada e construída por Fujii (2014), e encontra-se instalada no Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Londrina – PR. A composição granulométrica do filtro é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Composição granulométrica do filtro ascendente em pedregulho em relação à espessura

Composição granulométrica do FAP	Espessura (cm)
Areia média (0,30 - 1,20 mm)	60
Areia grossa (0,6 - 2,4 mm)	30
Pedregulho fino (2,4 - 4,8 mm)	30
Pedregulho médio-fino (4,8 - 9,5 mm)	30
Pedregulho médio (9,5 - 19 mm)	30
Pedregulho grosso (19 - 25 mm)	30
Espessura total (cm)	210

O sistema de alimentação é constituído por bombas dosadoras eletromagnéticas (ProMinent – Concept Plus) e mangueiras de sucção em polipropileno que recalcam o lixiviado para a câmara de mistura rápida – CMR, localizada a uma altura de 6 metros.

O sistema de coagulação química é composto por câmara de recepção do lixiviado; unidade de dosagem de produtos químicos, constituído de bombas dosadoras de coagulante cloreto férrico e ácido clorídrico, e controlador de pH; câmara de mistura rápida – CMR; e câmara de distribuição de lixiviado coagulado, interligada diretamente ao fundo do filtro a fim de possibilitar a alimentação do mesmo.

O carvão ativado pulverizado imerso em água deionizada foi submetido a uma agitação mecânica contínua e bombeado a uma vazão de 2 L h^{-1} para a câmara de mistura rápida. A taxa de filtração do filtro ascendente em pedregulho - FAP foi de $15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ o que correspondeu à vazão de 12 L h^{-1} .

Durante a operação do FAP foram realizadas 03 descargas de fundo intermediárias – DFIs após incrementos de 30 cm a fim de prolongar o tempo de duração da carreira, e uma descarga de fundo final ao atingir 120 cm de perda de carga no meio granular, de acordo com critério de encerramento de carreira do FAP.

A Figura 1 apresenta um esquema detalhado do sistema piloto onde é possível observar os componentes de cada sistema.

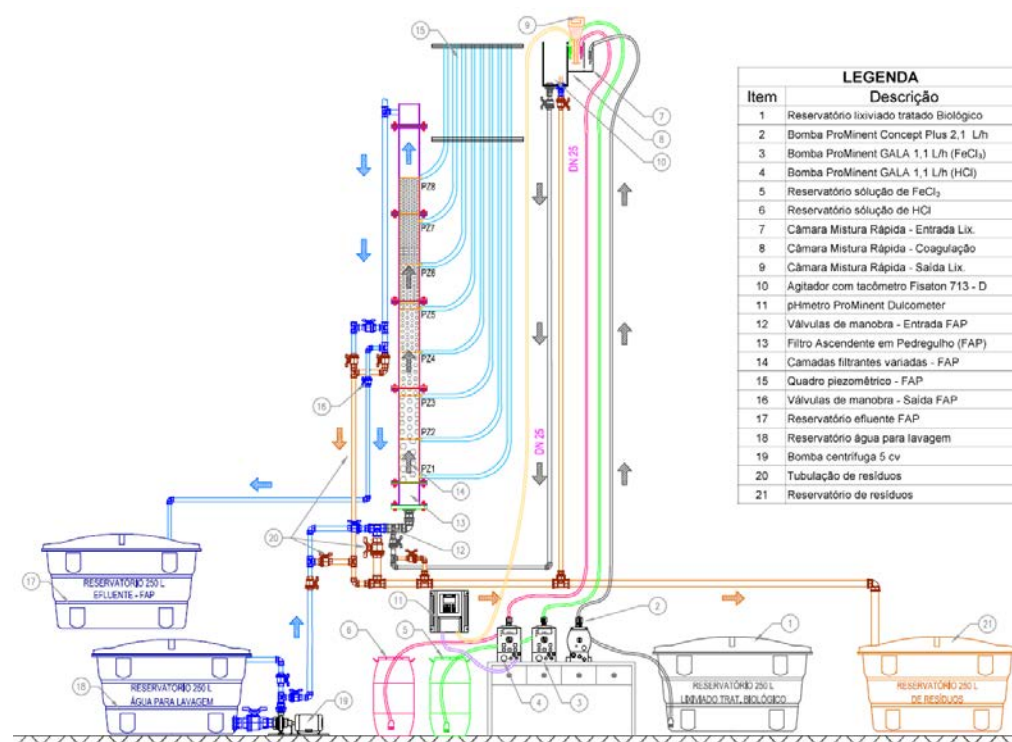


Figura 1 – Esquema da Instalação Piloto de Filtração Ascendente em Pedregulho

Para monitoramento e controle da eficiência do sistema foram coletadas amostras nas saídas do FAP a cada 15 minutos na 1ª hora, a cada 30 minutos nas 2ª e 3ª horas, e de hora em hora no demais tempos após a partida do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os valores da caracterização físico-química realizada para o lixiviado tratado biologicamente proveniente do aterro sanitário da cidade de Cianorte – PR.

Tabela 4 – Caracterização físico-química do lixiviado tratado biologicamente

Parâmetros	Unidade	Lixiviado Tratado Biologicamente
pH	-	8,46
Alcalinidade	mg CaCO ₃ L ⁻¹	1293
Turbidez	uT	242
N-amoniacal	mg N-NH ₃ L ⁻¹	52
Cor verdadeira	uH	658
Cor aparente	uH	1419
DQO	mg L ⁻¹	623

Quanto aos ensaios em escala de bancada realizados em Jarreste para determinação das condições de coagulação a serem aplicados nos ensaios em escala piloto, os melhores resultados foram obtidos para dosagem de 100 mg L⁻¹ de Fe em pH de coagulação de 4,0. A Figura 2 apresenta os resultados dos ensaios realizados em escala de bancada.

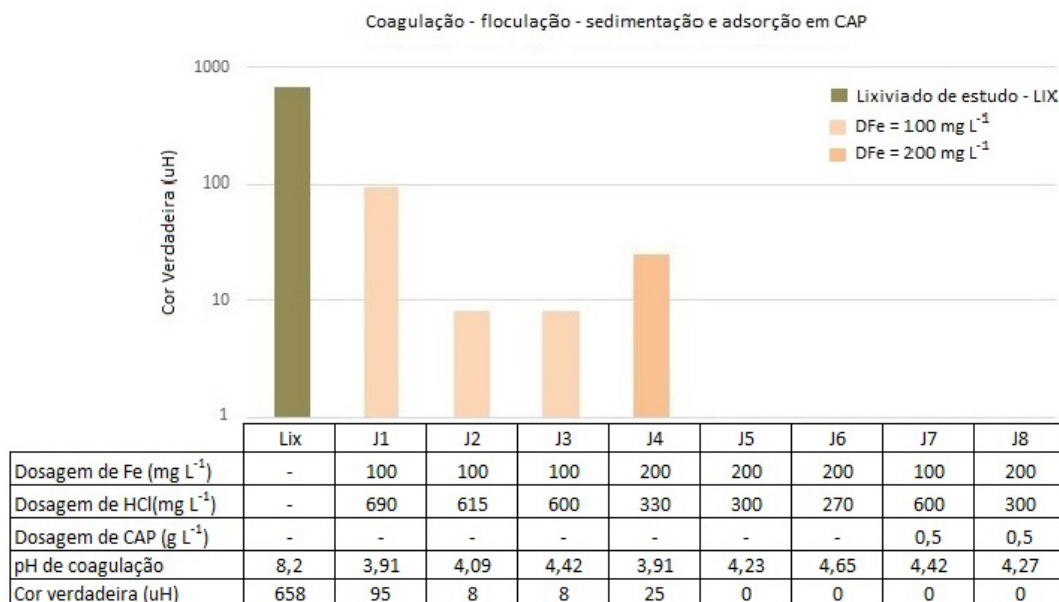


Figura 2: Valores do ensaio em escala de bancada

Em relação à dosagem de solução de CAP foi utilizado 0,5 g L⁻¹, com porcentagem de remoção de cor verdadeira de 100%.

O ensaio de filtração ascendente em pedregulho com adição de carvão ativado pulverizado teve duração de 45 horas e 15 minutos. O monitoramento da qualidade do lixiviado pós-tratado durante a operação do sistema

apresentou variações de cor aparente entre 0 e 3 uH, comprovando a eficiência da técnica proposta para a remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor aparente, e de turbidez de 0,12 a 0,98 uT. Esses resultados são apresentados na Figura 3.

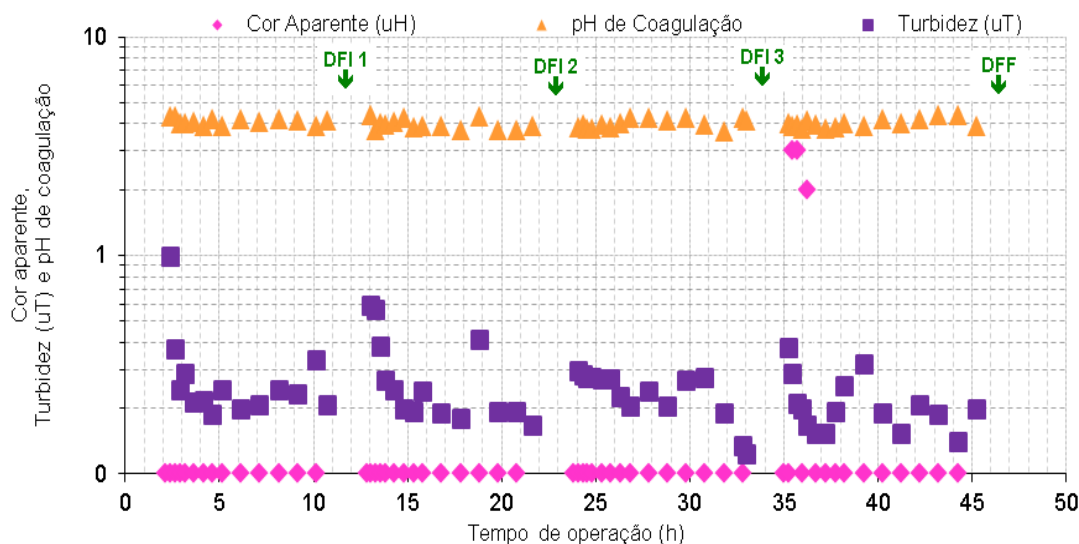
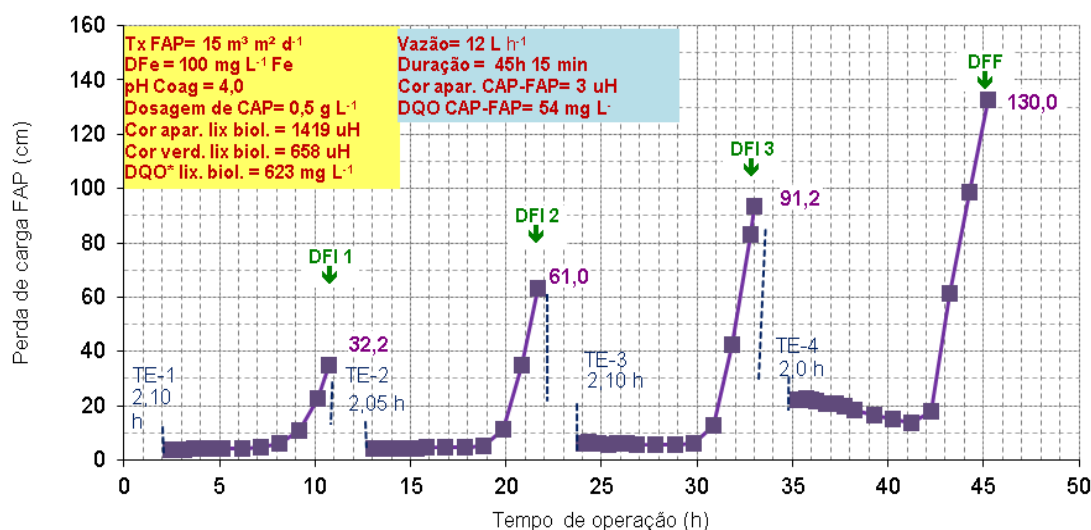


Figura 3: Valores do monitoramento do CAP + FAP em relação à cor aparente, pH de coagulação e turbidez

A Figura 4 apresenta os valores de perda de carga ao longo do tempo bem como o tempo de enchimento – TE do filtro por ciclo.



FAP: Filtro ascendente em pedregulho

DFI: Descarga de fundo intermediária

DFF: Descarga de fundo final

TE: Tempo de enchimento

Figura 4: Valores de perda de carga ao longo do tempo e o tempo de enchimento - TE do filtro por ciclo

Todo lixiviado tratado por adsorção/filtração em CAP+FAP foi armazenado em um tanque, e ao final de cada ciclo foram coletados 5 L de amostra devidamente homogeneizada. A amostra composta foi constituída por alíquotas considerando a proporção relativa ao tempo de operação de cada ciclo.

Com a adição do carvão ativado pulverizado ao sistema de coagulação e filtração ascendente em pedregulho com pH de coagulação da ordem de 4,0, a remoção de matéria orgânica recalcitrante, da amostra composta

correlacionada à cor aparente e cor verdadeira foi de 99,8% e 100%, com valores residuais de 3 uH e 0 uH, respectivamente, e de turbidez foi de 98,6% com valor residual de 3,24 uT. Assim, pode-se observar que os valores de cor dos lixiviados pós-tratados atenderam às condições de enquadramento estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n° 357/2005 para águas doces classes 2 e 3, que limita o valor de cor verdadeira em 75 uH.

Quanto ao padrão de lançamento da Resolução n° 86/2013 do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA, em relação à DQO, cujo o valor mínimo corresponde ao residual após 80% de remoção do valor de entrada, considerou-se como referência o valor de DQO do lixiviado tratado biologicamente, de 623 mg L⁻¹, resultando no valor limite de 124,6 mg L⁻¹. A amostra composta apresentou 54 mg L⁻¹ de DQO, ou seja, remoção de 91,3%. Para essas condições, o lixiviado, após o tratamento por coagulação com adição de CAP seguida de filtração ascendente em pedregulho, atendeu também a essa legislação, o que comprova a necessidade de tratamento complementar como o empregado neste trabalho.

Castilhos Junior *et al.* (2010) em seu estudo pesquisou o tratamento combinado composto por coagulação-floculação e filtração para lixiviado de aterro sanitário. As condições experimentais foram descritas como: taxa de filtração constante de 100 m³ m⁻² dia⁻¹; carga hidráulica variável; e dosagem de sulfato de alumínio de 600 mg L⁻¹ em pH de 7,4 com dosagem adicional de 0,5 mg L⁻¹ do polieletrólito Tanfloc Pa 0823. No tratamento por filtração ocorreu uma redução em relação ao lixiviado bruto de 83,5% para cor aparente e de 65,1% para DQO. No entanto a duração da carreira foi de 2,3 horas.

Fujii (2013) avaliou a aplicabilidade da técnica de filtração ascendente em pedregulho como pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário, em relação à remoção de matéria orgânica correlacionada à cor aparente. Foi considerada dosagem de 400 mg L⁻¹ de Fe em pH 4 e taxa de filtração de 15 m³ m⁻² dia⁻¹. A carreira teve duração de 24h, com realização de 4 descargas de fundo. A eficiência na remoção de cor aparente do lixiviado tratado variou de 99,6% à 99,1%, resultando em um residual de 15,9 uH e 37,9 uH respectivamente.

CONCLUSÕES

A coagulação com adição de CAP seguida de filtração ascendente em pedregulho, com a concepção definida por Fujii (2014) e adaptada para este trabalho, mostrou ser uma técnica aplicável ao pós-tratamento de lixiviado estabilizado, tendo resultado em carreira de filtração com duração total de 45 horas e 15 min e produção de lixiviado tratado com qualidade satisfatória em relação às legislações pertinentes.

A adição do carvão ativado pulverizado ao sistema de filtração ascendente em pedregulho para o lixiviado estabilizado, considerando dosagem de coagulante cloreto férrico de 100 mg L⁻¹ e aplicação de CAP de 0,5 g L⁻¹ e pH de coagulação da ordem de 4,0, mostrou-se eficiente para remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor aparente, cor verdadeira e DQO, cujos valores residuais foram respectivamente 3 uH, 0 uH e 54 mg L⁻¹.

Considerando os resultados obtidos com a filtração ascendente em pedregulho por Fujii *et al.* (2013) pôde-se constatar que a adição de CAP foi capaz de complementar a remoção de matéria orgânica recalcitrante presente em lixiviado estabilizado com características distintas provenientes de aterros sanitários diferentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF (2012). Standards Methods for the Examination of Water e Wastewater, 22° ed. Washington. D.C.
2. BRASIL, Lei nº12.305 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, de 2 de agosto de 2010.
3. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n° 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília. 2005.
4. FUJII, E. H. Avaliação da aplicabilidade da filtração direta ascendente em pedregulho como pós tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia de edificações e saneamento). Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2014.

5. FUJII, E. H.; KOGA, D. S.; COUTROUTSOS, Y. N.; KURODA, E. K. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por filtração direta ascendente em pedregulho. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista. v. 9, n. 11. p. 520-535, 2013.
6. CASTILHOS JUNIOR, A. B.; DALSASSO, R. L.; ROHERS, F. Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 15, p. 385 - 392, 2010.
7. KAWAHIGASHI, F.; Mendes, M. B.; Assunção Junior, V. G.; Gomes, V. H.; FERNANDES, F.; HIROOKA, E. Y.; KURODA, E. K. Pós-tratamento de lixiviados de aterro sanitário com carvão ativado. Eng Sanit Ambient. v. 19. n. 3. p. 235-244, 2014.
8. MALER, C. L. Aplicação do processo Fenton a diferentes etapas do tratamento de lixiviados de aterro sanitário 2013. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.
9. PARANÁ, Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução n° 086/2013 – CEMA. Dispõem sobre o licenciamento ambiental para atividades poluidoras, degradadoras e modificadoras do meio ambiente. Curitiba, 2013.
10. POZZETTI, J. D. C. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação química-floculação-sedimentação, adsorção em carvão ativado pulverizado e avaliação ecotoxicológica. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
11. POZZETTI, J. D. C.; ASSUNÇÃO JUNIOR, V. G.; BATISTA, A. D.; KURODA, E. K. Seleção de carvão ativado pulverizado para pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista. v. 9, n. 11, 2013, p. 504-519, 2013.