**PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADO DO ATERRO SANITÁRIO DE CIANORTE - PR POR FILTRAÇÃO ASCENDENTE EM PEDREGULHO**

**Renan Borelli Galvão** [[1]](#footnote-1)

**Andressa Algayer da Silva** [[2]](#footnote-2)

**Eduardo Hideo Fujii** [[3]](#footnote-3)

**RESUMO**

O tratamento de lixiviado de aterro sanitário pode ser baseado em processos biológicos e físico-químicos. O tratamento biológico, embora eficiente na remoção de nitrogênio amoniacal e matéria orgânica biodegradável, tem pouco ação sobre a matéria orgânica recalcitrante, necessitando assim, de um pós-tratamento adequado para atender às legislações pertinentes. Neste trabalho avaliou-se o pós-tratamento por filtração ascendente em pedregulho - FAP em lixiviado do aterro sanitário de Cianorte - PR previamente tratado biologicamente. Os parâmetros de concepção e de controle operacional foram: camada filtrante composta por pedregulho e areia, 3 descargas de fundo intermediárias, perda de carga limite de 120 cm, tempo de operação mínimo de 24 horas, taxa de filtração de 15 m3 m2 dia-1, dosagem de 100 mg L-1 de Fe e pH 4,0. A concepção do sistema de filtração ascendente em pedregulho mostrou-se viável para aplicação como pós-tratamento em escoamento contínuo de lixiviado tratado biologicamente, apresentando elevada eficiência de remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor verdadeira, com porcentagens de remoção entre 98,0 e 100,0%, e valores absolutos residuais entre 13 e 0 uH, respectivamente, e duração total da carreira de filtração, operada em 4 ciclos e 3 DFIs, de 40,67 h.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chorume. Tratamento físico-químico. Lixiviado estabilizado.

**POST-TREATMENT OF SANITARY LANDFILL LEACHATE FROM CIANORTE-PR BY UPFLOW GRAVEL FILTRATION**

**ABSTRACT**

Treatment of landfill leachate can be based on biological and physicochemical processes. Although efficient at removing ammonia nitrogen and biodegradable organic matter, biological treatment has little effect on the recalcitrant organic matter, thus requiring adequate post-treatment to meet the legislation limits. This paper presents the study of the post-treatment of biologically pretreated leachate by upflow gravel filtration. The operational and design parameters were: filter layer composed of gravel and sand, 3 intermediate discharges, head loss limit of 120 cm, minimum operation time of 24 hours, filtration rate of 15 m3 m2 day-1 , Fe dosage of 100 mg L-1, and pH 4.0. The design of the ascending gravel filtration system was feasible for application as post-treatment in continuous flow of leachate treated biologically, presenting high efficiency removal of recalcitrant organic matter correlated with true color, with removal percentages between 98.0 and 100.0%, and residual absolute values ​​between 13 and 0 uH, respectively, and total duration of the filtration of 40.67 h, with filter operating in 4 cycles and 3 discharges.

**KEY-WORDS**: Landfill leachate. Physico-chemical treatment. Stabilized leachate.

***LIXIVIADOS POST-TRATAMIENTO DE VERTEDERO CIANORTE - PR PARA LA FILTRACIÓN ARRIBA EN BOULDER***

***RESUMEN***

*El tratamiento de los lixiviados de vertedero puede basarse en procesos biológicos y físico-química. El tratamiento biológico, si bien es efectivo en la eliminación de nitrógeno amoniacal y la materia orgánica biodegradable, tiene poca acción en la materia orgánica recalcitrante, lo que requiere un post-tratamiento adecuado para cumplir con las leyes pertinentes. En este trabajo, el post-tratamiento en roca filtración ascendente - FAP en los lixiviados del vertedero de Cianorte - PR previamente tratados biológicamente. Los parámetros de diseño y los controles operacionales fueron capa de filtro compuesto por grava y arena, intermedio 3 descargas límite de caída de presión de fondo de 120 cm, tiempo de funcionamiento mínimo de 24 horas la tasa de filtración del día 15 m3 m2 1 , 100 dosis mg L -1 de Fe y pH 4,0. El diseño del sistema de filtración de grava ascendente demostrado ser factible para su uso como un post-tratamiento en flujo continuo de lixiviado tratado biológicamente y tiene alta eficiencia de remoción de materia orgánica recalcitrante correlacionado con el color verdadero con porcentaje de remoción de entre 98,0 y 100,0%, y los valores absolutos residuales entre 13:00 uH, respectivamente, y la duración total del filtro carrera operado en ciclos de 4 y 3 IFD de 40,67 h.*

***PALABRAS-CLAVE:*** *estiércol. Tratamiento físico-químico. Los lixiviados se estabilizó.*

# INTRODUÇÃO

As atividades comerciais, industriais e agrícolas realizadas pelo homem geram em seu processo uma grande quantidade de resíduos sólidos. No decorrer das últimas décadas, o desenvolvimento tecnológico aliado à mudança do estilo de vida da população moderna, promoveram grande aumento da produção destes resíduos, fazendo com que a destinação final dos mesmos se tornasse uma grande e importante preocupação.

Aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, pelo cobrimento com camada de terra na conclusão de cada etapa, de forma a não causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizar impactos ambientais. Este tipo de técnica é uma opção de destinação final de resíduos considerada bastante viável para a realidade brasileira devido a sua simplicidade e baixo custo de instalação e operação.

Um dos inconvenientes da técnica de aterros sanitários é a produção de subprodutos, como por exemplo gás metano e lixiviado. O lixiviado, comumente conhecido também como chorume, é um líquido escuro caracteristicamente de odor desagradável e alto poder poluente, gerado pelo carreamento do material solúvel, resultante dos processos físico-químicos e biológicos de decomposição do aterro, e da água percolada das chuvas. Apresenta elevados teores de compostos orgânicos e inorgânicos, dissolvidos e em suspensão. De matriz complexa, sua composição é extremamente variável, dependendo das características do aterro e climáticas (tipo de resíduos, idade, fase de estabilização, nível de precipitação, etc).

A idade do aterro é um fator determinante que reflete diretamente nas características do lixiviado. Lixiviados estabilizados, aqueles com mais de 10 anos de início de deposição, podem conter substâncias de difícil biodegradação, chamadas recalcitrantes. Sendo assim, este efluente não deve ser lançado indiscriminadamente nos corpos d'água, mas sim passar por tratamento adequado a fim de assegurar sua disposição sem causar danos ao meio ambiente.

Visando a preservação do meio ambiente e a garantia da qualidade de vida à população, as legislações restringem cada vez mais os padrões de enquadramento de corpos hídricos e de lançamento de efluentes. No Paraná, a Resolução N° 86/20013 do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CEMA, fixa a redução de 80% do valor de entrada de DBO e DQO para o tratamento de lixiviado. Ou ainda, a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelece valores limites para cor verdadeira de 75 uH para enquadramento de corpos d’água doce classe 2 e 3.

O tratamento de lixiviado pode ser baseado em processos biológicos e físico-químicos. O tratamento biológico pode ocorrer por processos aeróbios, anaeróbios e facultativos, e embora eficientes na remoção de nitrogênio amoniacal e matéria orgânica biodegradável, tem pouco ação sobre a matéria orgânica recalcitrante, necessitando assim, de um pós-tratamento adequado para atender às legislações pertinentes.

Diversas tecnologias de pós-tratamento baseadas em processos físico-químicos têm sido estudadas, por exemplo, coagulação - floculação - sedimentação/flotação, adsorção, filtração por membranas, oxidação avançada e precipitação química, apresentando maior eficiência na remoção de compostos recalcitrantes quando comparados ao tratamento biológico.

Os trabalhos apontam a coagulação-floculação-sedimentação aplicada ao pós-tratamento de lixiviado como eficiente em relação à remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor verdadeira e parte da DQO. No entanto, esta técnica requer elevado tempo de sedimentação devido às características dos flocos formados, especialmente em relação à baixa velocidade de sedimentação, impossibilitando o tratamento por escoamento contínuo, sendo um fator limitante para aplicação em escala real, principalmente pra sistemas de grande porte.

Nesse contexto, há necessidade de se investigar técnicas alternativas ao tratamento por coagulação-floculação-sedimentação, de forma a absorver as limitações desta técnica, dentre as quais pode-se destacar a Filtração Ascendente em Pedregulho - FAP seguida ou não da Adsorção em Carvão Ativado Granular, como polimento para remoção de matéria orgânica recalcitrante remanescente.

A FAP consiste no escoamento ascendente (da base do filtro ao topo) e contínuo de lixiviado coagulado, e retenção das partículas coaguladas e flocos, inicialmente nas camadas filtrantes inferiores de maior granulometria e posteriormente nas camadas superiores de menor granulometria.

A remoção de partículas no processo de filtração pode ocorrer por dois mecanismos complementares: transporte e aderência. Inicialmente as partículas devem ser arrastadas próximas à superfície dos grãos e, em seguida, aderirem às camadas granulares de maneira a resistir forças de cisalhamento do escoamento intergranular (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Em resumo, pode-se destacar as seguintes vantagens dos sistemas de filtração direta ascendente: menores dimensões das estações de tratamento devido à eliminação das unidades de floculação e sedimentação; menor quantidade de coagulante utilizado, pois não há necessidade de formação de flocos grandes e densos para sedimentarem no decantador; filtração ascensional do maior grão para o menor, possibilitando a utilização da altura total do meio granular para a retenção de impurezas, ao contrário do que acontece nos filtros convencionais de escoamento descendente; menor taxa de incremento da perda de carga no meio granular devido à remoção de uma quantidade considerável de impurezas no meio filtrante de maior granulometria, com consequente aumento da duração da carreira de filtração (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Fujii (2014) avaliou o pós-tratamento por filtração direta ascendente em pedregulho - FDAP em lixiviado previamente tratado por stripping de amônia seguido de tratamento biológico por lodos ativados. Os parâmetros de concepção e de controle operacional foram: camada filtrante composta por pedregulho e areia, 3 descargas de fundo intermediárias, perda de carga limite de 120 cm, tempo de operação mínimo de 24 horas, taxa de filtração de 15 m3 m2 dia-1, dosagem de 400 mg L-1 de Fe e pH 4,0. Os resultados comprovaram a aplicabilidade do sistema FDAP, apresentando remoções variando de 96,0 a 99,7% para cor aparente, com residuais de 170 a 13 uH, respectivamente; de 99,4% para a cor verdadeira com valor máximo de 24 uH; 81,8% para a DQO com valor máximo de 200 mg L-1; 95,2% para o COT com valor de 44 mg L-1; e duração máxima da carreira de filtração de 37,1 h.

# DESENVOLVIMENTO

## 2.1. Material e métodos

O lixiviado de estudo foi proveniente do aterro sanitário da cidade de Cianorte - PR, que, segundo dados da Sanepar de 2013, atende uma população total de 79.785 habitantes e recebe uma média mensal de 1.560 toneladas de resíduos sólidos. O aterro iniciou sua operação em março de 2002, e seu lixiviado apresenta, assim, características de lixiviado estabilizado. O tratamento *in loco* é realizado por processos biológicos de lodos ativados e lagoa de maturação.

O lixiviado de estudo - tratado biologicamente, foi caracterizado segundo os seguintes parâmetros apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Métodos utilizados na caracterização dos lixiviados de estudo e tratados**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parâmetros** | **REF. APHA, AWWA, WEF (2005)** | **Método** | |
| pH | Potenciométrico - 4500 | Potenciométrico |
| Alcalinidade | 22320 – C | Titulométrico |
| N-amoniacal | 4500 - NH3 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 nefolométrico |

Fonte: o próprio autor

Inicialmente, foram realizados ensaios de coagulação - floculação - sedimentação em reatores estáticos e escala de bancada – Jarteste 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 e parâmetros de controle operacional utilizados nestes ensaios são apresentados na Tabela 2.

|  |
| --- |
|  |
| |  |  | | --- | --- | | **Tabela 2 - Valores e parâmetros de controle operacional - Ensaios de coagulação - floculação - sedimentação – Jarteste** | | | 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 | |
| Fonte: o próprio autor. |

Os produtos químicos utilizados foram:

* Solução comercial de ácido clorídrico com 37% em massa e massa específica = 1,187 kg L-1 como acidificante;
* Solução comercial de cloreto férrico líquido com 38,94% de FeCl3.6H2O, massa específica = 1,412 kg L-1 e cor amarela como coagulante.

Os ensaios em jarteste foram realizados considerando os resultados de trabalhos anteriores obtidos por Kawahigashi (2012), Maler (2013), Pozzetti (2014) e Fujii (2014) e ensaios preliminares, tendo sido adotadas as condições: dosagens de coagulantes de 100 e 200 mg L-1 e valores de pH entre 3,5 a 5,5.

Após determinação da dosagem e pH de coagulação de maior eficiência, procedeu-se o ensaio de filtração ascendente em pedregulho - FAP em instalação piloto de escoamento contínuo.

A instalação piloto de FAP utilizada no ensaio foi projetada e construída por Fujii (2014), e encontra-se instalada no Laboratório de Hidráulica e Saneamento da UEL. Detalhes técnicos de projeto e construção podem ser encontrados na referida citação de origem. A instalação foi constituída por sistemas de alimentação de lixiviado de estudo, de coagulação química, de filtração ascendente em pedregulho e de descarga e lavagem do filtro. A Figura 1 apresenta um esquema detalhado da instalação, podendo-se observar os componentes de cada sistema.

|  |
| --- |
| **Figura 1 – Esquema da Instalação Piloto de Filtração Ascendente em Pedregulho (FAP)** |
|  |
| Fonte: Fujii (2014) |

O sistema de alimentação foi utilizado para recalcar o lixiviado de estudo para a câmara de mistura rápida, posicionada a uma altura de aproximadamente 6,0 m, utilizando bomba dosadora eletromagnética e mangueiras de sucção e recalque em polipropileno. O sistema de coagulação química foi composto por câmara de recepção do lixiviado de estudo; unidade de dosagem de produtos químicos constituído de bombas dosadoras e controlador de pH; câmara de mistura rápida com agitador mecânico; e câmara de distribuição de lixiviado coagulado, interligada diretamente ao fundo do filtro a fim de possibilitar a alimentação do mesmo.

Nos ensaios realizados na instalação piloto de FAP foram aplicadas as condições de controle operacional de maior eficiência obtidos por Fujii (2014) e nos resultados dos ensaios em Jarteste descritos anteriormente. Os parâmetros de controle operacionais adotados são sumarizados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Parâmetros de projeto e de controle operacional aplicados nos ensaios realizados na instalação piloto de FAP**

|  |  |
| --- | --- |
| **Taxa de Filtração FAP (m3 m-2 dia-1)** | 15 |
| **Dosagem de coagulante (mg L-1 Fe)** | 100 |
| **pH de coagulação** | 4,0 |
| **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 |

|  |
| --- |
| Fonte: o próprio autor. |

Também baseando-se em Fujii (2014), foram definidos como critérios de parada: perda de carga limite do FAP de 120 cm e número de descargas de fundo de intermediárias – DFIs igual a 3, a fim de prolongar a carreira de filtração para duração mínima de 24,0 h. Assim, a primeira DFI foi executada com 30 cm de perda de carga (1° ciclo), a 2° DFI com 60 cm (2° ciclo), a 3° DFI com 90 (3° ciclo) e a última descarga de fundo – DF com 120 cm (4° ciclo), finalizando assim a carreira de filtração.

Para monitoramento e controle de eficiência do sistema foram coletadas amostras 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 partida do sistema.

**2.2. Resultados e discussão**

Os resultados da caracterização inicial do lixiviado tratado biologicamente são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Valores da caracterização inicial do lixiviado de estudo**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Parâmetros | Unidade | Tratado Biológico |
| pH | - | 8,46 |
| Alcalinidade | mg CaCO3 L-1 | 1293 |
| Turbidez | uT | 242 |
| N-amoniacal | mg N-NH3 L-1 | 52 |
| Cor verdadeira | uH | 658 |
| Cor aparente | uH | 1419 |

|  |
| --- |
| Fonte: o próprio autor. |

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios Jarteste. Decidiu-se a dosagem de Fe de 100 mg L-1 e pH de 4,0 como de maiores eficiências, visto que a diferença na cor verdadeira residual para o dobro da dosagem (100 mg L-1) não é significativa a ponto de justificar tamanho aumento de dosagem.

**Tabela 5 - Resultados dos ensaios em Jarteste**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Vsed = 0,23 cm min-1 (Tsed = 30 min) | | | | | |
| Dos Fe (mg L-1) | 100 | **100** | 100 | 200 | 200 | 200 |
| Dos HCl (mg L-1) | 650 | 615 | 500 | 330 | 305 | 205 |
| pH de coag. | 3.51 | **4.32** | 5.18 | 3.68 | 4.23 | 5.12 |
| Cor verdadeira (uH) | 806.2 | 8.1 | 71.0 | 1451.6 | 0.0 | 17.5 |

Fonte: o próprio autor.

A Figura 2 apresenta os resultados de cor aparente, turbidez e pH de todas as amostras coletadas e de perda de carga no meio granular do filtro ao longo do ensaio, bem como os valores iniciais, finais e máximos de cor verdadeira de cada ciclo operacional.

Para o lixiviado de estudo, com cor aparente de 1419 uH e cor verdadeira de 658 uH, e condições operacionais aplicadas: taxa de filtração constante de 15 m3 m-2 dia-1, dosagem de 100 mg L-1 de Fe em pH 4,0:

* A eficiência de remoção de cor aparente variou de 94,6% a 100,0%, resultando em valores absolutos residuais entre 76 e 0 uH, respectivamente;
* A eficiência de remoção de cor verdadeira variou entre 98,0 e 100,0% com valores absolutos residuais entre 13 e 0 uH, respectivamente;
* A duração total da carreira de filtração, operada em 4 ciclos e 3 DFIs, foi de 40,67 h.

A amostra composta constituída por alíquotas proporcionais do volume acumulado das carreiras intermediárias dos lixiviados produzidos ao longo do tempo apresentou remoção de 100% de cor verdadeira residual. Desta forma, pode-se constatar que todo o efluente produzido no ensaio apresentou qualidade compatível aos padrões de enquadramento para águas doces classes 2 e 3 da Resolução N° 357/2005 – CONAMA em relação à cor verdadeira, cujo limite estabelecido é de 75 uH.

**Figura 2 - Valores de cor aparente, cor verdadeira, turbidez, pH de coagulação após o FAP e perda de carga em função da duração da carreira de filtração**

Fonte: o próprio autor.

1. **CONCLUSÃO**

A concepção do sistema de filtração ascendente em pedregulho mostrou-se viável para aplicação como pós-tratamento em escoamento contínuo de lixiviado tratado biologicamente, apresentando:

* Elevada eficiência de remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor verdadeira, com porcentagens de remoção entre 98,0 e 100,0%, e valores absolutos residuais entre 13 e 0 uH, respectivamente;
* Duração total da carreira de filtração, operada em 4 ciclos e 3 DFIs, de 40,67 h.

**REFERÊNCIAS**

APHA, AWWA, WEF (2012). Standards Methods for the Examination of Water e Wastewater, 22º ed. Washington. D.C.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução no 357, 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos 146 de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed., v. 1, São Carlos: RiMa, 2005.

FUJII, E. H. **Avaliação da aplicabilidade da filtração direta ascendente em pedregulho como pós-tratamento de lixiviado de tarro sanitário**. 2014. 138 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

KAWAHIGASHI, F. **Aplicabilidade do pós-tratamento de lixiviados de aterro sanitário por adsorção em carvão ativado granular e avaliação ecotoxicológica**. 2012. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

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.

PARANÁ, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 086/2013 – CEMA**. Dispõem sobre o licenciamento ambiental para atividades poluidoras, degradadoras e modificadoras do meio ambiente. Curitiba, 2013.

POZZETTI, J. D. C. **Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação química-floculação-sedimentação, adsorção em carvão ativado pulverizado e avaliação ecotoxicológica**. 2014. 100 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

1. Discente do curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina. renan\_bg7th@msn.com [↑](#footnote-ref-1)
2. Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina. andressa\_algayer@hotmail.com [↑](#footnote-ref-2)
3. Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina. eduardo.fujii@yahoo.com.br [↑](#footnote-ref-3)