

ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DO PERCOLADO DE ATERRO INDUSTRIAL POR EVAPORAÇÃO VISANDO À REDUÇÃO DA CARGA POLUIDORA

F. F. KRUGEL¹ e M. B. KOLICHESKI²

¹ Mestre pelo PPGMAUI – parceria entre UFPR, SENAI-PR e *Uni-Stuttgart*, Alemanha.

² Professora PPGMAUI – parceria entre UFPR, SENAI-PR e *Uni-Stuttgart*, Alemanha.

E-mail para contato: flaviafri@gmail.com, monica.beatriz@ufpr.br

RESUMO - A evaporação de percolado foi avaliada como tratamento primário visando à ampliação da capacidade da ETE do aterro. Foi utilizado percolado de aterro classe I e II, para simular as condições de entrada da ETE. A eficiência da evaporação foi obtida pela caracterização do percolado antes e após o tratamento pela CONAMA 430/2011. O percolado tratado apresentou 90% de redução da DQO, porém ocorreu aumento do pH, provavelmente devido ao nitrogênio amoniacal residual. A remoção deste por dessorção foi avaliada e os resultados foram satisfatórios. A substituição de algumas etapas da ETE pela evaporação e dessorção indicou que a capacidade de biodegradabilidade aumentou. O concentrado gerado apresentou PCS de 1900 cal.g⁻¹ e nenhuma restrição quanto aos contaminantes (CEMA 76/2009), possibilitando o coprocessamento do resíduo em fornos de cimento.

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos está diretamente ligada ao consumo de produtos industrializados pela população. Os resíduos sólidos oriundos das atividades domésticas e industriais constituem um dos principais problemas ambientais, econômicos e sociais em todo o mundo. Os aterros são uma alternativa de tratamento deste tipo de resíduos, porém os aterros devem ser devidamente utilizados, a fim de evitar a poluição do meio ambiente. Durante a degradação biológica, os resíduos orgânicos são metabolizados e produzem o percolado e gases, sendo este último constituído principalmente por metano (Zanta e Ferreira, 2003; Katsifarakis, 1993).

O percolado gerado nos aterros apresentam altas concentrações de poluentes de difícil biodegradabilidade, como: DQO, DBO₅ e nitrogênio amoniacal (N-NH₃), e com composição extremamente variável, dependendo de fatores como: condições pluviométricas, tempo de disposição, idade do aterro, condições ambientais e características do despejo (Brito *et al.*, 2007).

Diversas técnicas podem ser empregadas para o tratamento do percolado, sendo que as mais aplicadas são os tratamentos físico-químicos e biológicos (Bacelar, 2010). Em virtude do potencial poluidor do percolado, a implementação de sistemas de coleta e tratamento é essencial e deve

atender a legislação brasileira. Pela Resolução CONAMA 430/2011, o percolado deve ser tratado antes do descarte no meio ambiente (Brasil, 2011).

Diversas operações têm sido estudadas para o tratamento do percolado, dentre estas a evaporação. Para concentrar o percolado é necessário o emprego de energia (calor) para que o sistema opere adequadamente. Como alternativa, o gás liberado no aterro pode ser utilizado como fonte de energia (Gomes, 2009).

Estudos realizados por Bacelar (2010), usando evaporação para concentração de percolado, mostraram uma redução significativa de DQO, fósforo, turbidez e cloretos, um aumento do pH, e a não redução de N-NH₃. Para a recuperação do N-NH₃, Ferraz (2010) avaliou a dessorção, na qual a amônia na forma iônica (NH₄⁺), pelo contato do gás de arraste com o líquido, passa para a forma gasosa (NH₃). Apesar da eficiência da dessorção para a remoção de N-NH₃ de percolados, ocorre a poluição atmosférica, sendo um dos limitantes deste processo (Renou *et. al*, 2008).

Neste trabalho estudou-se a redução da carga poluidora do percolado através da evaporação. O percolado evaporado foi submetido a dessorção para reduzir a concentração de N-NH₃. A concentração do percolado produziu um concentrado (lodo) e a viabilidade de destinação do lodo para coprocessamento também foi avaliada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de percolado foram coletadas do aterro industrial A (Curitiba/PR) que recebe resíduos classe I e II e opera a 16 anos. Foi simulado um percolado através da mistura de percolados de aterros classe I e II. A caracterização do percolado foi realizada conforme a Resolução CONAMA 430/2011 artigo 16 (Brasil, 2011). As análises foram realizadas em triplicata.

A evaporação do percolado foi realizada em um sistema composto por seis em balões de 1 L (Tecnal - TE-1256). Em cada balão foi colocado 500 mL de percolado, 0,5 g de antiespumante (Antifoam Y-30 Emulsion - Sigma-Aldrich) e pérolas de vidro. A coleta do percolado evaporado (PE) foi realizada em erlenmeyers de 500 mL, o final da evaporação foi controlada pelo volume. O PE foi caracterizado conforme a Resolução CONAMA 430/2011 artigo 16 (Brasil, 2011). As análises foram realizadas em triplicata.

Após a evaporação um volume de 2 L de PE foi aerado por 24 horas com um aerador comum. Este foi um teste simplificado para avaliar a possibilidade do uso da dessorção.

O lodo obtido no processo de evaporação foi re-evaporado, até se obter umidade mais baixa. A umidade do lodo foi determinada por um analisador infravermelho (Gehaka - IV2000) e este foi caracterizado de acordo com os parâmetros da Resolução CEMA 076/2009 (Paraná, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do Percolado

A quantidade de resíduos destinados no aterro classe I é significativamente menor que a do

aterro classe II. A proporção do percolado enviada a ETE do aterro foi estimada em 5% (v/v) de percolado do aterro classe I e o restante do aterro classe II. Este percolado é formado pela degradação de resíduos antigos e recentes, líquidos dos materiais depositados e água de chuva.

O percolado avaliado apresentava coloração escura e odor forte, característico deste tipo de efluente. Segundo Pelegrine *et al.* (2007), a coloração é devida a presença de matéria orgânica decomposta, especialmente às substâncias húmicas. A caracterização físico-química do percolado foi feita com base na Resolução CONAMA 430 art. 16 (Brasil, 2011). Os parâmetros em desacordo com a legislação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do percolado: Parâmetros em desacordo com a legislação, conforme Resolução Conama 430/2011 Art. 16.

Parâmetros	Média dos resultados (mg.L ⁻¹)	Limites estabelecidos pela Conama 430/11 (mg.L ⁻¹)
Arsênio	0,59	0,50
Boro	10,87	5,00
DBO	13.824,26	-
DQO	26.806,33	-
Fenol	6,02	0,50
Ferro Dissolvido	23,54	15,00
Manganês Dissolvido	3,65	1,00
Sólidos sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	3,00	1,00
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃)	1.786,86	20,00
Níquel	2,40	2,00
pH	8,78	5 a 9
Sulfeto	42,96	1,00

Foi possível verificar a presença de vários metais no percolado (Tabela 1), os quais, possivelmente, foram originados da decomposição dos resíduos classe I, principalmente. Segundo Lange e Amaral (2009) a grande variabilidade de embalagens de origem metálica são as principais fontes de metais em percolados. O percolado estudado, além dos metais apresentou também N-NH₃, fenol, sulfeto e sólidos sedimentáveis com concentrações acima que os limites estabelecidos pela legislação.

O fenol, provavelmente, é proveniente do percolado do aterro classe I. Já a concentração de sulfetos (44,30 mg.L⁻¹), de acordo com Ferreira (2006), é advinda de uma alta concentração de

sulfatos (SO_4), que são indicativos de percolados de aterros jovens. Esta concentração de sulfatos diminui gradativamente, devido à redução a sulfetos em condição anaeróbia durante a degradação dos resíduos. Ainda conforme Ferreira (2006), o aumento da concentração de sulfetos pode influenciar na precipitação de vários metais pesados contidos no percolado.

Os sólidos sedimentáveis são constituídos por de frações de matéria orgânica e materiais inertes não dissolvidos que são carregadas pelo percolado. De acordo com Ferreira (2006), as concentrações mais elevadas de sólidos sedimentáveis são observadas em períodos de baixa pluviosidade.

A alta concentração de N-NH_3 ($1.786,86 \text{ mg.L}^{-1}$) é resultante da degradação dos resíduos do aterro. Segundo Ferreira (2006), a amônia é derivada da proteína e da matéria orgânica. O teor elevado de N-NH_3 e o pH levemente alcalino, são indicativos que o percolado encontra-se envelhecido. Resultados de pH com caráter mais ácido e concentrações mais baixas de N-NH_3 são características de aterros com poucos anos de operação, chamados de aterros novos. O N-NH_3 é um dos principais componentes de difícil degradação de percolados na ETE do aterro, podendo ser tóxico ao sistema biológico.

O percolado do aterro estudado foi submetido ao processo de evaporação para avaliar a redução da carga poluidora. O processo de evaporação permitiu a remoção da cor, que passou de coloração escura a transparente levemente turva. Com relação ao odor também foi observada a redução, porém com a presença clara de nitrogênio amoniacal.

3.2 Caracterização do Percolado Evaporado (PE)

O PE foi caracterizado com o objetivo de verificar se a evaporação permitiu reduzir do teor de poluentes. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do condensado, conforme Resolução Conama 430/2011 Art. 16.

Parâmetros	Média dos resultados (mg.L^{-1})	CONAMA 430/11 (mg.L^{-1})
Arsênio	<0,01	0,5
Boro	0,22	5
DBO	1.836,38	-
DQO	2.707,81	-
Fenol	5,3	0,5
Ferro Dissolvido	0,05	15
Manganês Dissolvido	<0,01	1
Nitrogênio Amoniacal (N-NH_3)	1.791,2	20
Níquel	<0,04	2
pH	9,26	5 a 9
Sólido Sedimentável (ml.L^{-1})	<0,17	1
Sulfeto	32,43	1

Além das características qualitativas de cor e odor que foram favoráveis ao uso da evaporação, o PE não apresentou vários poluentes que haviam sido detectados no percolado. Com relação aos metais a redução variou de 33,33% a 99,79%, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Concentração de poluentes no percolado e percolado evaporado

Parâmetros	Percolado (mg.L ⁻¹)	PE (mg.L ⁻¹)	CONAMA 430/2011 (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção (%)
Arsênio	0,59	<0,01	0,5	98,31
Boro	10,87	0,22	5,0	97,98
Ferro Dissolvido	23,54	0,05	15,0	99,79
Mangans Dissolvido	3,65	<0,01	1,0	99,73
Níquel	2,4	<0,04	2,0	98,33
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃)	1.786,86	1.791,2	20,00	-
DBO ₅	13.824,26	1.836,38	-	86,72
DQO	26.806,33	2.707,81	-	89,90
Fenol	6,02	5,30	0,50	11,96

A redução dos metais foi superior a 97,98%. Esta eficiência de redução foi devida aos metais ficaram retidos no lodo, portanto, o percolado se encontra adequado para o lançamento em corpos hídricos ou reaproveitamento em outros processos.

A remoção de DBO₅ e DQO foi significativa, o que é positivo, pois estes parâmetros são importantes na avaliação da tratabilidade de efluentes. E como era esperado, o resultado da remoção de sólidos sedimentáveis foi eficaz (94,33%), o que permitiu adequar este parâmetro a legislação.

Contudo a remoção de sulfetos foi baixa (24,51%) e o N-NH₃ apresentou um leve aumento, sendo que a diferença de valores provavelmente está associada com a não homogeneidade e a erros analíticos e pode-se considerar que o N-NH₃ não se alterou com a evaporação. Provavelmente a alta concentração deste poluente no PE, foi a responsável pelo leve aumento no pH, que passou de 8,78 para 9,26.

Desta forma, o percolado após a evaporação apresentou fenol, nitrogênio amoniacal, sulfetos e pH acima dos limites estabelecidos pela legislação. Os compostos como nitrogênio, sulfetos e fenol são degradados na etapa biológica de ETE do aterro. Porém a concentração de N-NH₃ no PE ainda se apresentou tóxica para o tratamento biológico. Desta forma recomenda-se a redução do N-NH₃ antes do envio deste efluente para a ETE do aterro.

De acordo com Khai e Trang (2012) o percolado apresenta grandes quantidades de nutrientes valiosos como nitrogênio, fósforo e potássio, os quais podem ser utilizados na agricultura como fonte de fertilizantes. Desta forma o PE poderia ser utilizado para outras finalidades, devido ao sua alta concentração de N-NH₃, ao invés de ser enviado à ETE do aterro.

Outra possibilidade, segundo Queiroz *et al.* (2011), seria o uso da operação de dessorção para redução da carga de N-NH₃ de percolados, antes do tratamento biológico. Como o PE apresenta valores de pH elevados (pH > 8,5) torna-se desnecessária a adição de insumos alcalinos.

Desta forma o PE passou por uma etapa de dessorção, com aeração por 24 horas, o que permitiu obter um percolado límpido, translúcido e com odor menor de N-NH₃. Este foi analisado e foram determinadas as concentrações de N-NH₃, sulfetos, fenol e pH (Tabela 4).

Tabela 4 – Caracterização química do percolado evaporado e aerado

Parâmetros	Média do PE	Média do PE e aerado	Redução (%)
Fenol (mg.L ⁻¹)	5,30	4,94	6,79
N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	1.791,20	922,16	48,52
pH	9,26	8,95	3,35
Sulfeto (mg.L ⁻¹)	32,43	13,06	59,73

Através destes resultados, pode-se verificar que o uso da evaporação seguida de dessorção gerou bons resultados para o tratamento de N-NH₃ e sulfetos com redução de 48,52% e 59,73%, respectivamente. Com a redução do N-NH₃ o pH diminui para 8,95, valor próximo do percolado bruto (8,78), porém bem próximo ao limite máximo da legislação (9,00). Conforme Silva (2009) o pH elevado do percolado após a evaporação melhora a eficiência da dessorção, porém uma das desvantagens é a poluição ambiental devida a liberação na atmosfera de amônia gasosa e odor.

Porém adotando a evaporação e dessorção os limites exigidos pela legislação não são atingidos, e o uso destas tecnologias deve ser combinado aos tratamentos já adotados na ETE do aterro. Porém a implantação das mesmas permite o aumento da capacidade de tratamento da ETE.

3.3 Caracterização do Lodo

Com a evaporação do percolado também foi obtido o lodo, o qual, após a re-evaporação, apresentou coloração preta, aspecto pastoso e consistente semelhante fisicamente ao piche, com umidade de 10,90% ($\pm 0,58$). Este caracterizado conforme a Resolução CEMA nº 076/2009 (Paraná, 2009), visando o envio deste resíduo para coprocessamento. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros restritivos para coprocessamento, conforme Resolução CEMA 76/2009

Parâmetros	Lodo obtido	Resolução CEMA 76/2009
PCS	1.901,70 (cal.g ⁻¹)	Acima de 1.000,00 cal.g ⁻¹
Arsênio	<0,50	A soma dos resultados destes elementos não deve ser maior que 5000 mg.kg ⁻¹ sendo selênio até 100 mg.kg ⁻¹
Cobalto	<20,30	
Níquel	<15,40	
Selênio	0,17	
Telúrio	<2,50	
Cádmio	<2,10	A soma dos resultados destes elementos não deve ser maior que 200 mg.kg ⁻¹ , sendo mercúrio até 10 mg.kg ⁻¹
Mercúrio	0,11	
Tálio	<58,10	
Chumbo	<24,40	Os resultados individuais destes elementos não deve ser maior que 5000 mg.kg ⁻¹
Cromo Total	<27,20	

Analisando a Tabela 5 foi possível verificar que os valores obtidos atendem as especificações da legislação, pois o lodo obtido apresentou um valor de PCS acima de 1.000,00 cal.g⁻¹ e concentrações de metais abaixo dos valores estabelecidos.

Desta forma o lodo poderia ser destinado para coprocessamento, porém a Resolução CEMA 076/2009 (Paraná, 2009), restringe o aproveitamento de resíduos gerados em atividades de tratamento e destinação final de resíduos, que é o caso deste estudo. O coprocessamento do lodo, além de ambientalmente correto seria vantajoso, pois desta forma o lodo não retorna ao aterro, pois ao voltar ao aterro entraria novamente no ciclo de geração de percolato.

4. CONCLUSÃO

A evaporação do percolato mostrou-se interessante, pois o PE mostrou-se eficiente para a redução da carga poluidora do percolato e vários poluentes foram removidos. Para os metais como arsênio, boro, ferro, manganês, níquel e para sólidos sedimentáveis ocorreu uma significativa redução e até ausência destes poluentes. Para a DBO₅ e a DQO a redução também foi significativa, apresentando uma redução acima de 87,0%.

Contudo a evaporação requer energia, sendo uma etapa de alto custo na ETE do aterro. Porém se for possível utilizar o gás metano gerado, que atualmente é descartado no aterro estudado, os resultados indicam a viabilidade da evaporação do percolato ser adotada como uma das etapas de tratamento primário da ETE.

Outro fator limitante da operação de evaporação foi que esta não permitiu a remoção de N-NH₃ e a eficiência de remoção para fenol e sulfetos foram baixas, e nas condições encontradas, o tratamento biológico da ETE do aterro seria prejudicado. Além disso, o valor do pH aumentou, sendo que estes parâmetros apresentaram valores acima dos limites estabelecidos pela legislação. Uma alternativa seria o uso da evaporação seguida de dessorção. O uso da dessorção com ar, em testes preliminares, permitiu uma redução de 49% para o N-NH₃ e de 60% para sulfetos, o que além de não afetar o tratamento biológico da ETE do aterro possibilita uma ampliação da capacidade de tratamento da mesma. Se não for possível a instalação de uma dessorvedora o percolato evaporado pode ser recuperado e usado como fontes de nitrogênio para diversas finalidades, como por exemplo, a agricultura.

O lodo obtido atendeu a legislação e por ter obtido um PCS médio de 1901,70 cal.g⁻¹, acima do mínimo estabelecido pela Resolução CEMA 76/2009 (1000,00 cal.g⁻¹), poderia ser destinado para coprocessamento visando o aproveitamento energético e evitando o retorno do lodo para o aterro.

5. REFERENCIAS

BACELAR, H.A.M. *Tratamento de Lixiviados Produzidos em Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de Evaporação Forçada*. Dissertação. UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução 430*, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, nº 92, p. 89, 16 de maio de 2011.

BRITO, N.N.; PELEGRINI, R.T.; PATERNIANI, J.E.S. Filtração lenta no tratamento de percolado de aterro sanitário. *Revista Minerva*, v. 4, n.1, p. 85-93, 2007.

FERRAZ, F. M. *Recuperação da amônia liberada no processo de "air stripping" aplicado ao tratamento do lixiviado de aterros sanitários*. Dissertação. USP, São Paulo, 2010.

FERREIRA, M. A. da S. *Aplicação de modelos de avaliação qualitativa e quantitativa dos percolados gerados em um aterro sanitário*. Dissertação. UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

GOMES, L. P. *Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras*. Rio de Janeiro: PROSAB – tema III, edital V., 2009.

KATSIFARAKIS, K.L. Solar Distillation Treatment of Landfill Leachate: A Case Study in Greece. *Desalination*, Amsterdam, v. 94, p. 213-221, 1993.

KHAI, N. M.; TRANG, H. T. Q. Chemical Precipitation of Ammonia and Phosphate from Nam Son Landfill Leachate, Hanoi. *Iranica Journal of Energy & Environment* 3: 32-36, 2012.

LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. *Geração e características do lixiviado*. In: GOMES, L.P. *Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras*. Rio de Janeiro: ABES, 2009, v. 1, p. 26-59.

PARANÁ, Conselho Estadual do Meio Ambiente. *RESOLUÇÃO 076/2009 – CEMA*, 30 de novembro de 2009. Diário oficial: 8126 de 24 de dezembro de 2009, Curitiba.

PELEGRINI, N. N. B.; PELEGRINI, R. T.; PATERNIANI, J. E. S. Filtração lenta no tratamento de percolado de aterro sanitário. *Revista Minerva*, v. 4, n.1, p. 85-93, 2007.

QUEIROZ, L. M.; AMARAL, M. S.; MORITA, D. M.; YABROUDI, S. C.; SOBRINHO, P. A. Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4., Out./Dec. 2011.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, p. 468-493, Feb. 2008.

SILVA, D. D. da; *Remoção Biológica de Nitrogênio pela Via Curta de Lixiviado de Aterro Sanitário Operando um Reator em Bateladas Sequenciais (SBR)*. 164 p. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS, A. B. J. *Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 1-16.