

Avaliação da contaminação de água por processo difusivo em geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD)

Evaluation of the water contamination by diffusive process in high density polyethylene (HDPE) geomembranes

Evaluación de la contaminación de agua por proceso difusivo en geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD)

Marianna de Miranda

Graduada, UNESP, Brasil
mariannademiranda@hotmail.com

Paulo César Lodi

Professor Doutor, UNESP, Brasil
plodi@feb.unesp.br

Sandra Regina Rissato

Professor Doutor, UNESP, Brasil
srissato@fc.unesp.br

RESUMO

No processo de impermeabilização de bases de aterros sanitários, é comum o emprego de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade (PEAD) para minimizar os impactos ambientais causados pela disposição final de resíduos sólidos, que pela sua decomposição geram o chorume, líquido com alto potencial poluidor. Ainda que as geomembranas sejam consideradas agentes impermeabilizantes, o processo de contaminação de solos e águas pode ocorrer em função de processos difusivos. Assim, esse trabalho avaliou, por meio de ensaios químicos, a contaminação de água por chorume que ocorre por difusão em geomembranas de PEAD de 1 mm de espessura, quando em contato com solo arenoso contaminado com chorume proveniente de aterro sanitário, utilizando-se um equipamento (permeâmetro) previamente desenvolvido. Na avaliação do processo difusivo, buscou-se a determinação da concentração de íons cloretos e sulfatos. Para tanto, foi utilizado o método de Mohr e ensaios de espectrofotometria nas amostras de água destilada/deionizada (livres de qualquer substância). Os principais resultados mostram que houve migração de íons cloreto e sulfato pela geomembrana, no entanto, as respectivas concentrações encontradas estavam abaixo da taxa máxima permitida por lei (Resolução N°357 do Conama).

PALAVRAS-CHAVE: Geomembranas de PEAD. Contaminação de água. Difusão.

ABSTRACT

In the process of waterproofing of landfill bases, it is common to use high density polyethylene (HDPE) polymeric geomembranes to minimize the environmental impacts caused by the final disposal of solid residues, which, through their decomposition, generate the slurry, a high potential liquid manure polluter. Although the geomembranes are considered waterproofing agents, the process of contamination of soils and waters can occur due to diffusive processes. Thus, this work evaluated by chemical tests, the contamination of water by slurry that occurs by diffusion in HDPE geomembranes of 1 mm thickness, when in contact with sandy soil contaminated with slurry coming from a landfill, using a Equipment (permeameter) previously developed. In the evaluation of the diffusive process, the concentration of chloride and sulphate ions was determined. For this, the Mohr method and spectrophotometry tests were used in the samples of distilled / deionized water (free of any substance). The main results show that occurs migration of chloride and sulphate ions by the geomembrane, however, the respective concentrations found were below the maximum rate allowed by law (Resolution No. 357 of Conama).

KEYWORDS: HDPE geomembranes. Water contamination. Diffusion.

RESUMEN

En el proceso de impermeabilización de bases de rellenos sanitarios, es común el empleo de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidad (PEAD) para minimizar los impactos ambientales causados por la disposición final de residuos sólidos, que por su descomposición generan el estiércol, líquido con alto potencial (En el caso de las mujeres). Aunque las geomembranas se consideran agentes impermeabilizantes, el proceso de contaminación de suelos y aguas puede ocurrir en función de procesos difusivos. Por lo tanto, este trabajo evaluó, por medio de ensayos químicos, la contaminación de agua por estiércol que ocurre por difusión en geomembranas de PEAD de 1 mm de espesor, cuando en contacto con suelo arenoso contaminado con estiércol procedente de relleno sanitario, utilizando un " (Permeabilidad) previamente desarrollado. En la evaluación del proceso difusivo, se buscó la determinación de la concentración de iones cloruros y sulfatos. Para ello se utilizó el método de Mohr y los ensayos de espectrofotometría en las muestras de agua destilada / desionizada (libres de cualquier sustancia). Los principales resultados muestran que hubo migración de iones cloruro y sulfato por la geomembrana, sin embargo, las concentraciones encontradas estaban por debajo de la tasa máxima permitida por la ley (Resolución No. 357 del Conama).

PALABRAS CLAVE: Geomembranas de PEAD. Contaminación de agua. Difusión.

1. INTRODUÇÃO

A disposição inapropriada dos resíduos sólidos diretamente no solo é extremamente danosa ao meio ambiente, principalmente pelo alto potencial poluidor que possui o chorume que é o líquido proveniente da decomposição anaeróbia dos resíduos acrescido de águas pluviais (LANGE et al., 2009; REBELO, 2009). Neste sentido, tem-se aplicado nos aterros sanitários modernos, por exemplo, as geomembranas de PEAD, barreiras impermeabilizantes projetadas como alternativa para minimizar os riscos de contaminação do solo e das águas pelo chorume gerado. As geomembranas são constituídas de materiais poliméricos, formam mantas laminadas contínuas e flexíveis que possuem baixíssima permeabilidade, cuja função principal é a de barrar e desviar o fluxo de fluídos, gases ou vapores (LODI, 2003; BATHURST, 2007; GEROTO, 2008). Nos aterros sanitários, são aplicadas na impermeabilização da base e das laterais, nas entrecamadas de resíduos, e, após seu esgotamento, como liner de fechamento do aterro. Dada sua importância na preservação do meio ambiente, quando aplicadas corretamente como barreiras impermeabilizantes em lagoas de armazenamento de chorume e em aterros sanitários como método para disposição final de resíduos sólidos, o estudo das características de permeação e as avaliações do processo difusivo das geomembranas de PEAD em obras geotécnicas e ambientais é extremamente importante e necessário pelo simples fato de poder-se aprofundar o estudo e a compreensão do fenômeno e garantir que suas propriedades e aplicações a que se destinam estejam dentro dos parâmetros previamente projetados (LODI, 2003; VALENTIN, 2008; MARÇAL, 2012).

Ainda que as geomembranas sejam consideradas agentes impermeabilizantes, o processo de contaminação de solos e águas pode ocorrer em função de furos, rasgos e outras imperfeições que ocorrem nestas. Além disso, deve-se ter em mente que diversos contaminantes presentes no chorume podem migrar pela geomembrana por meio de processos de difusivos. Assim, pode ocorrer contaminação de solo bem como de água subterrânea por íons presentes no chorume que podem vir a afetar a qualidade das águas subterrâneas. Neste contexto, podem citar-se elementos como cloretos, sulfatos, nitritos, nitratos, etc.

Dessa forma, este trabalho avaliou em laboratório, por meio de equipamento previamente projetado (que simula a função de barreira simples em aterro sanitário), a contaminação de água que ocorre por processo difusivo em geomembranas de polietileno de alta densidade quando em contato com solo arenoso contaminado com chorume. Como métodos de verificação, foram utilizados processos químicos analíticos na determinação da concentração de compostos que eventualmente difundiram pela geomembrana.

2.0 OBJETIVO

Avaliar por meio de ensaios químicos a contaminação de água por chorume que ocorre por difusão em geomembranas impermeabilizantes.

3.0 METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa, foi necessário simular a condição de liner em um aterro sanitário. Para tanto, foi utilizada uma geomembrana de PEAD de 1,0 mm de espessura fornecida por empresa nacional. Vale ressaltar que comumente em aterros sanitários modernos são aplicadas geomembranas de 1,5/2,0 mm de espessura, porém, nesta pesquisa buscou-se avaliar simplificadamente o processo difusivo das geomembranas de PEAD, utilizando um equipamento que simula, em escala reduzida em laboratório, um aterro sanitário simples, e dessa forma, a espessura de 1,0 mm foi considerada suficiente para as análises.

Para tanto, foi utilizado solo arenoso retirado do campus da UNESP de Bauru. O chorume utilizado para a pesquisa foi retirado do aterro sanitário da cidade de Bauru – SP, na zona rural em uma latitude 22°15' Sul e a uma longitude 49°08' Oeste. A análise foi realizada no Laboratório de Hidráulica Geral e Saneamento da UNESP de Bauru.

Os métodos de permeação/difusão consistem, basicamente, no controle da migração de um fluido permeante de um lado (fonte) da geomembrana ao outro lado (receptor). Um exemplo da aplicação deste método é o ensaio de difusão de dois compartimentos, em qual a fonte é preenchida com um fluido permeante (ou solução examinada) enquanto que o receptor é preenchido com um fluido de composição conhecida (fluido de referência). Apenas uma face da amostra de geomembrana entra em contato com o fluido permeante e a concentração do permeante no fluido de referência deve ser legível durante o teste. A migração do fluido permeante através da geomembrana deve ser monitorada ao longo do tempo. Este método é adequado para soluções aquosas ou de chorumes pois simulam mais precisamente o processo de transporte que é esperado num aterro sanitário (SANGAM & ROWE, 2001). Seguindo esta teoria, para a realização do ensaio de difusão foram utilizados recipientes de alumínio previamente confeccionados, chamados permeômetros, na forma de tronco cilíndrico, com diâmetro interno de aproximadamente 95 mm, diâmetro externo de aproximadamente 160 mm e altura de 105 mm, alargados e furados nas bordas (para encaixe das geomembranas e posterior fixação dos parafusos). Em um dos compartimentos foi produzido orifício na extremidade para posterior recolhimento das amostras de água (fluido de referência), contaminadas ou não. Foram preparadas duas cápsulas para o solo contaminado contendo solo arenoso e chorume (fonte). A Figura 1 a seguir ilustra o equipamento.

Com a utilização de uma balança de precisão, em um dos compartimentos do permeômetro, foi introduzida uma quantidade de 400g de solo. Posteriormente, no mesmo compartimento, foi introduzida uma quantidade de 400 ml de chorume aproximadamente para preencher totalmente as dimensões do equipamento e que fornecesse uma quantidade ideal de material para os ensaios. Após esse processo, a geomembrana de PEAD previamente cortada e furada foi colocada na interface do permeômetro. Por fim, a outra extremidade do recipiente (com furo para retirada das amostras) foi colocada por cima do conjunto e fixada pelos parafusos. No outro compartimento, destinado ao recolhimento das amostras, foram adicionados 200 ml de água destilada/deionizada, como mostra a Figura 2.

Figura 1: Detalhe do permeâmetro: (a) permeâmetro (b) permeâmetro com a geomembrana

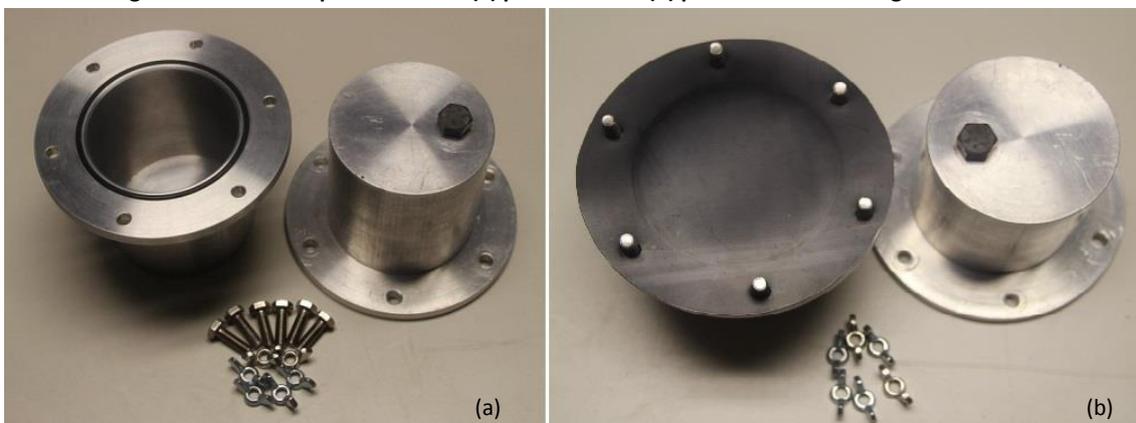


Figura 2: Montagem do ensaio: (a) introdução do chorume junto ao solo (b) colocação de água destilada/deionizada no compartimento vazio



Os permeâmetros foram mantidos estáticos na posição horizontal a fim de possibilitar a comunicação da geomembrana com solo e contaminante de um lado do permeâmetro e da geomembrana com a água destilada do outro lado. O ensaio em andamento é ilustrado na Figura 3.

As amostras de água contaminada foram recolhidas mensalmente em frascos de aproximadamente 10ml e levadas ao Laboratório de Cromatografia do Departamento de Química da Faculdade de Ciências de Bauru (FC-UNESP) para posterior verificação quantitativa das concentrações de substâncias contaminantes que eventualmente difundiram pela geomembrana de PEAD. Foram realizados ensaios analíticos-quantitativos das amostras buscando-se a concentração dos cloretos e sulfatos. Estes parâmetros foram monitorados

durante nove meses. Para cada substância analisada empregaram-se métodos analíticos específicos.

Figura 3: Cápsulas montadas (ensaio em andamento)



Para a determinação da concentração dos cloretos contidos nas amostras de água retiradas mensalmente, foi utilizado o Método de Mohr (OHLWEILER, 1968ab e JEFFERY et al., 1992). A quantificação dos sulfatos nas amostras baseia-se na turbidez formada pela precipitação do enxofre pelo cloreto de bário (BaCl_2), na forma de sulfato de bário (BaSO_4), método turbidimétrico desenvolvido por Tabatabai (1974) e a medida de turbidez foi realizada utilizando-se um espectrofotômetro. O espectrofotômetro compara quantitativamente a fração de luz que passa através de uma solução de referência e uma solução de teste. Antes de utilizar um espectrofotômetro sempre é feita uma calibração, que é fundamental para garantir que as medições obtidas no aparelho sejam precisas. Todas as análises supracitadas foram realizadas pelos profissionais do Laboratório de Química Analítica e Cromatografia do Departamento de Química da Faculdade de Ciências de Bauru (FC-UNESP).

4. RESULTADOS

O solo utilizado foi classificado como areia fina argilosa. Os resultados referentes à caracterização do chorume estão apresentados na tabela 1. A caracterização inicial do chorume “bruto” é interessante uma vez que o que se pretende com este estudo é analisar a difusão deste composto e/ou de seus componentes através das geomembranas de PEAD intactas, sendo assim possível comparar quantitativamente este aspecto difusivo.

Tabela 1 – Análise química do chorume coletado no aterro sanitário de Bauru (SP)

Parâmetros (unidade)	Valor
pH	7,5
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	11500,0
DQO (mg/l)	78250,0
Oxigênio Consumido	3,8
Nitrogênio amoniacal (mg/l)	1335,6
Nitrato (mg/l)	1057,5
Nitrito (mg/l)	13,3
Zinco (mg/l)	208,1
Cloretos (mg/l)	5331,3
Cobre (mg/l)	215,6
Ferro (mg/l)	216,3
Manganês (mg/l)	425,0
Sulfato (mg/l)	4312,5
Fósforo total (mg/l)	460,0

Difusão de cloretos

Os resultados da análise de concentração de cloretos nas amostras de água contaminada são apresentados na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Resultados para o teor de Cloretos nas amostras

Amostra		Concentração de Cl ⁻ (mg/L)
N°	Idade (dias)	Solo contaminado
1	30	0.215
2	60	0.210
3	90	0.232
4	120	0.248
5	150	0.497
6	180	0.646

De acordo com a resolução N° 357 do Conama, para Classe I de águas doces, ou seja, próprias para consumo humano, o teor de cloreto máximo não deve ultrapassar 250 mg Cl/L. Dessa forma, analisando-se os resultados obtidos para concentração de cloretos nas amostras, as concentrações desta substância não ultrapassaram o limite previsto. Percebe-se nitidamente que há um aumento da concentração dos cloretos nas amostras com o passar do tempo. O teor máximo encontrado foi de 0,646 mg Cl/L, valor extremamente distante da concentração máxima permitida tendo-se em vista que a concentração inicial de cloretos presentes no chorume bruto era de 5331,3 mg Cl/L. Assim, percebe-se que o teor de cloreto difundido pela geomembrana de PEAD é mínimo. Este resultado é compatível com os resultados obtidos por Rowe et al. (1995) e Haxo (1990) que demonstraram que a difusão de íons cloreto através da geomembrana é praticamente desprezível.

Difusão de sulfatos

Para a determinação da concentração de sulfatos nas amostras de água, primeiramente, foi confeccionada a curva de calibração da solução de referência, a partir das leituras dos valores de absorvância do espectrofotômetro e estes valores locados no eixo das ordenadas. No eixo das abscissas locaram-se as concentrações de enxofre. Gerada a equação da curva de calibração para sulfatos ($Y = -0,243 + 0,03884X$), foi possível determinar a concentração desta substância nas amostras de água retiradas dos permeâmetros durante o ensaio (solução teste) e, substituindo-se os valores de absorvância lidos a 420 nm nos espectrofotômetros, como propõe a metodologia, foi determinado o teor final nas amostras, em ppm ou mg/L, como mostra a tabela 3.

Nota-se que o teor da concentração de sulfatos aumenta com o passar do tempo, como ocorreu para os cloretos. Excetuando-se a amostra 5, a tendência foi o aumento da concentração e aparente estagnação. Em geral, as concentrações não apresentam grande discrepância. Novamente, segundo a resolução N° 357 do Conama, para Classe I de águas doces, a concentração máxima de sulfatos total permitida é de 250 mg/L de SO_4^{2-} . Dentre os resultados obtidos, a amostra de água que demonstrou maior concentração de sulfatos foi a amostra 4, com valor de 9,062 mg/L de SO_4^{2-} . Esse valor está muito abaixo do teor máximo permitido pela resolução vigente.

Tabela 3 – Resultado para o teor de Sulfatos nas amostras

Amostra		Concentração de SO_4^{2-} (mg/L)	
N°	Idade (dias)	Absorvância (420 nm)	Solo Contaminado
1	30	0.032	7.080
2	60	0.030	7.028
3	90	0.035	7.157
4	120	0.109	9.062
5	150	0.017	6.694
6	180	0.105	8.959

Em comparação à concentração de sulfatos no chorume bruto coletado do aterro sanitário, as diferenças são ainda maiores. O teor de sulfato no chorume bruto é, comparativamente às maiores concentrações obtidas nos ensaios, em média, 494 vezes maior.

5. CONCLUSÃO

Face aos resultados obtidos, as principais conclusões podem ser elencadas:

- O equipamento desenvolvido, bem como as técnicas de medição utilizadas, foram capazes de avaliar a contaminação de água por chorume que ocorre por difusão em geomembranas impermeabilizantes.
- Para as análises químicas nas amostras de água retiradas dos permeâmetros, encontraram-se diferentes concentrações de íons Cloreto e Sulfato;
- As concentrações das substâncias encontradas nas amostras não ultrapassaram os limites exigidos pelo CONAMA. Levando-se em conta somente este fato, ter-se-á como

resultado a eficiência da geomembrana de PEAD de 1,0 mm na contenção dos processos difusivos de compostos inorgânicos;

- Os resultados demonstraram que as geomembranas de PEAD de 1,0 mm, se instaladas corretamente, sem furos ou vazamentos, apesar de permitirem a difusão de uma taxa muito pequena dos íons de Cloreto e Sulfato são capazes de conter o fluxo destes íons em quantidades consideradas contaminantes e poluentes ao solo e às águas, não afetando maleficamente o meio ambiente, nem promovendo riscos à saúde humana;

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPQ pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATHURST, Richard. Geosynthetics classification. 2007. IGS leaflets on Geosynthetics Applications, 2007. Disponível em: <www.geosyntheticssociety.org>. Acesso em: 11 jun. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional Do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº357, de 17 de março de 2005 publicada no dou nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2016.

GEROTO, Régis. Desempenho de camadas de proteção para geomembranas. 2008. 188 f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2008.

HAXO, H. E. JR. Determining the transport through geomembranes of various permeants in different applications. 1990. Geosynthetic Testing for Waste Containment Applications, Koerner, R. M., Editor, ASTM Special Publication 1081, Proceedings of Symposium, Las Vegas, NV, USA, January 1990, pp. 75–94.

JEFFERY, G. H.; BASSET, J.; MENDHAM, J.; DENNY, R.C. V. Química Analítica Quantitativa. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992, 712p.

LANGHE, L.C.; AMARAL, M.C.S. Geração e características do chorume. In: Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Chorumes de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras. Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES, 2009. 360p.

LODI, Paulo César. Aspectos de degradação de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade (PEAD) e poli cloreto de vinila (PVC). 2003. 284 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, 2003.

MARÇAL, Régis. Avaliação da permeabilidade em geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD). Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Ilha Solteira, 2012.

OHLWEILER, O. A. Teoria e prática a análise quantitativa inorgânica. Brasília: Universidade de Brasília, 1968a, v.2, 536p.

ROWE, R.K., HRAPOVIC, L. AND KOSARIC, N. Diffusion of chloride and dichloromethane through an HDPE Geomembrane. 1995. *Geosynthetics International*, Vol. 2, No. 3, 1995, pp. 507 - 536.

SANGAM, H. P. & ROWE, R. K. Migration of dilute aqueous organic pollutants through HDPE geomembranes. 2001. *Geotextiles and Geomembranes*, 19, No. 6, 2001, pp. 329 – 357.

TABATABAI, M.A. A rapid method for determination of sulfate in water sample. 1974. *Environmental Letters*, v. 7, n. 3, 1974, pp. 237 - 243.

VALENTIN, Clever. Estudo da degradação de geomembrana de polietileno de alta densidade de 2,5 mm de espessura frente à gasolina, óleo diesel e álcool combustível. 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.