

III-017 - ESTUDO DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE CARGA ORGÂNICA EM UM SOLO SUBMETIDO AO FLUXO DE LIXIVIADO NATURAL E SINTÉTICO, PROVENIENTES DE ATERRO DE RSU

Marília Crusoé Figueiredo⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Mestranda em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

Maria do Socorro Costa São Mateus⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Católica do Salvador (UCSAL). Mestre em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Geotecnia Ambiental pela COPPE – UFRJ. Professora adjunto da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) – Ba.

Endereço⁽¹⁾⁽²⁾: Av. Transnordestina, s/n – Novo Horizonte, Feira de Santana – BA, CEP: 44036-900176 - Brasil - Tel: (75) [3161-8310](tel:3161-8310) – e-mail: mariliacrusoef@hotmail.com e so_mateus@yahoo.com.br

RESUMO

Em decorrência do aumento populacional e grande avanço do desenvolvimento urbano e tecnológico, as questões ambientais continuam sendo motivo de preocupação e de estudos em vários países, no sentido de identificar os mecanismos envolvidos e apontar soluções adequadas. A contaminação por resíduos sólidos urbanos (RSU), no solo, no ar e nos recursos hídricos é um exemplo desses problemas do mundo moderno. O chorume gerado pela decomposição físico-química e biológica, principalmente da fração orgânica do RSU, associado à entrada de águas advindas da precipitação pluviométrica, lençol freático, nascentes e umidade contida nos RSU, forma os líquidos lixiviados que contaminam o subsolo em caso de lixões e que são tratados, quando em aterros sanitários. Para estes, quando operados de forma inadequada, existe a possibilidade de contaminação do solo, podendo alcançar as águas subterrâneas. O conhecimento das propriedades dos resíduos dispostos, das características geotécnicas e hidrogeológicas do subsolo, promovem o bom funcionamento dos aterros sanitários evitando ao máximo a contaminação (SÃO MATEUS, 2008). O transporte de contaminantes depende das suas características físico-químicas, da natureza do solo onde ocorre essa migração, das condições ambientais e refere-se ao transporte de massa de um soluto em meio poroso, que poderá ocorrer por meio de advecção, difusão, dispersão mecânica, reações químicas entre o soluto e os grãos do solo, e reações químicas do próprio soluto, podendo ocorrer simultaneamente. Neste sentido, o presente trabalho estudou um solo do tipo areia argilosa, quanto a sua capacidade de retenção de matéria orgânica, usando duas soluções contaminantes distintas, um lixiviado natural, coletado no aterro sanitário de Feira de Santana-Ba e um lixiviado sintético, preparado em laboratório. A maior atenuação ocorreu para o lixiviado sintético, que possui características de lixiviado jovem, porém as análises ainda encontram-se em andamento e os resultados devem ser analisados com cautela, uma vez que o estudo está sendo realizado em escala piloto.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de retenção do solo, Contaminação por líquidos lixiviados de aterro sanitário, Lixiviado natural e sintético, Retenção de carga orgânica em solo, Fluxo de lixiviado no solo.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, a melhoria da qualidade de vida das pessoas, o avanço do desenvolvimento tecnológico e a crescente industrialização, têm trazido uma constante preocupação com os problemas ambientais, devido ao aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), que vem ocorrendo em consequência desses fatores.

A preocupação com o descarte inadequado dos RSU está diretamente relacionada com a contaminação que estes podem provocar no solo, no ar e nos recursos hídricos, seja por disposição inadequada (em locais não apropriados, como vazadouros a céu aberto), seja por falha dos sistemas de impermeabilização de base dos aterros de (RSU).

A contaminação provocada pelos RSU deve-se à sua decomposição físico-química e biológica, principalmente da matéria orgânica que, ao ser digerida pelos microrganismos, liberam gases (metano - CH_4 e dióxido de carbono - CO_2) para atmosfera e formam um líquido escuro, de odor desagradável, contendo elevados teores de material orgânico e inorgânico, chamado chorume (resultado da própria umidade dos resíduos). A produção deste líquido associada à entrada de água na massa sólida, proveniente de fontes externas, como precipitação pluviométrica, lençol freático e nascentes, drenagem superficial constituem o denominado líquido lixiviado ou simplesmente lixiviado.

Como solução para diminuir os riscos potenciais de contaminação dos solos e dos lençóis freáticos pelo lixiviado, utiliza-se camada de impermeabilização (barreira ou “liner”) composta por solos compactados e de baixa permeabilidade ou por uma combinação de camadas de solo e geomembranas. A utilização apenas de geomembranas poderá dispensar o uso do solo como camada de impermeabilização. Por outro lado, sabe-se que o uso de geomembranas, sem o devido preparo da base, proteção mecânica ou controle de instalação, pode resultar em sistemas de contenção piores que aqueles constituídos somente por solos compactados (HAMADA *et. al.*, 2004).

As camadas de solo ainda têm sido bastante utilizadas e, portanto, é necessário conhecer o comportamento do solo quando em contato com o líquido lixiviado, proveniente de aterros sanitários, para garantir o funcionamento adequado da camada de impermeabilização, de forma a impedir ou atenuar os eventuais impactos sobre o subsolo. Conhecer o funcionamento da camada de impermeabilização com solo compactado implica em conhecer os mecanismos de interação solo-contaminante, para determinar critérios específicos de execução e operação do sistema de disposição de resíduos.

Assim, torna-se necessário conhecer as propriedades dos resíduos sólidos dispostos, as características geotécnicas e hidrogeológicas do subsolo, evitando qualquer possibilidade de contaminação (SÃO MATEUS, 2008).

O solo caracteriza-se como um sistema heterogêneo, composto por sólidos, líquidos e gás, em diversas proporções. As interações existentes entre o solo e o lixiviado e as reações físico-químicas envolvidas durante o processo de percolação, resultam em atenuação da carga de contaminantes do lixiviado. Esse processo de atenuação resulta na redução da concentração de contaminantes, durante o respectivo transporte. As principais formas de atenuação estão incluídas nos seguintes mecanismos básicos: físico (filtração, difusão e dispersão, diluição e absorção); químico (precipitação/dissolução, adsorção/desorção, complexação, troca iônica e reações de redox); e microbiológico (biodegradação aeróbia e anaeróbia).

O objetivo principal deste estudo foi avaliar um solo classificado granulometricamente como areia argilosa, quanto à sua capacidade de retenção de carga orgânica. Para isto, compactou-se o solo em colunas de PVC, que foram submetidas à percolação de líquidos lixiviados de aterro sanitário, natural e sintético.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado com um solo do município de Feira de Santana, Bahia, região inserida na bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu, que possui predominância do clima semiárido. Atualmente, Feira de Santana é a segunda maior cidade do Estado da Bahia, com uma área territorial de 1.337,993 km². A população do município é de 556.642 habitantes (IBGE, 2010). Possui como principais atividades econômicas o comércio, indústria, serviços, agricultura e pecuária. A sua distância em relação à capital do Estado é de 108 km, tendo como acesso principal a BR-324.

O solo estudado foi coletado a uma profundidade de 1,9 m, no Campus da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

O solo foi espalhado em lona para secar à sombra, homogeneizado e quarteado. A sua caracterização física foi realizada por meio dos ensaios de massa específica dos sólidos, granulometria conjunta (peneiramento e sedimentação), limites de liquidez e plasticidade. Também foram realizados ensaios de compactação na energia Proctor Normal e permeabilidade a carga variável, bem como determinação do pH, condutividade

elétrica e CTC. Os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Geotecnia (LABGEO) e de Saneamento do Departamento de Tecnologia – DTEC/UEFS. O experimento consistiu em compactar 60 cm de solo, na energia Proctor Normal, em 9 (nove) colunas confeccionadas com tubo de PVC série Defofo, diâmetro interno de 150 mm e altura de 1,30 m (Figura 1). Para compactar, utilizou-se uma haste metálica com chapa circular na extremidade, de peso igual a 7,41 kg, caindo de uma altura de 60 cm.

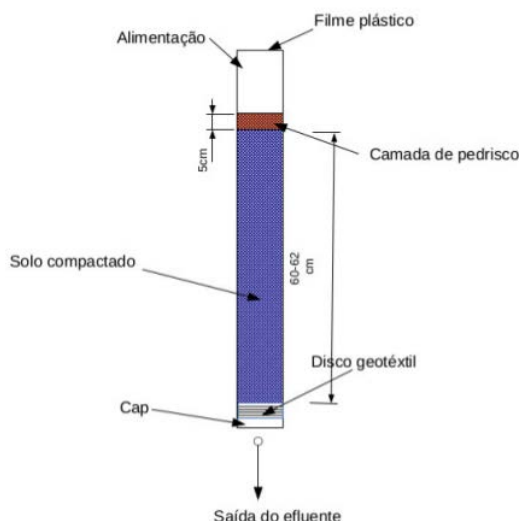


Figura 1 – Esquema das colunas de solo para percolação de líquido

Na base de cada tubo, foi colocado um cap perfurado com diâmetro de 150 mm e um disco de geotêxtil, com permeabilidade superior à do solo. No topo da amostra, colocou-se uma camada de pedrisco de aproximadamente 5 cm de espessura, a fim de evitar caminhos preferenciais dos líquidos. As colunas de solo receberam uma lâmina de água ou líquido lixiviado (natural ou sintético) no topo, e foi realizada coleta na base. Foram estudados três grupos com 3 colunas cada (Figura 2), com grau de saturação 100 %. Cada grupo foi percolado com um líquido distinto: água, lixiviado natural ou lixiviado sintético.



Figura 2 – Experimento: colunas com tubos de PVC contendo solo compactado, submetidas a diferentes líquidos

Antes da montagem das colunas, foram realizados diversos testes (10 simulações) no LABGEO-UEFS, visando definir os critérios para compactação das mesmas (teor de umidade, peso do solo e número de golpes por camada), de forma a atingir o peso específico seco determinado no ensaio de compactação ($18,3 \text{ kN/m}^3$). As colunas foram compactadas com aproximadamente 10 camadas. Ao final dos testes optou-se por utilizar a

quinta tentativa, que teve grau de compactação de 77,32% e peso específico seco de 14,15 kN/m³ (92,5% do valor determinado no ensaio de compactação), para uma energia de 4,77 kg/cm² mais próxima do Proctor Normal (5,72 kg/cm²).

A Tabela 1 apresenta os índices físicos das colunas de solo após compactadas, peso específico seco, grau de compactação, bem como o coeficiente de permeabilidade (k) de uma amostra do mesmo solo, compactado na energia Proctor Normal.

Tabela 1– Parâmetros das colunas de solo compactadas e resultado do ensaio de permeabilidade

Coluna	Tipo de líquido	e índice de vazios	n (%) porosidade	k (cm/s)	Peso específico seco (kN/m ³)	Grau de compactação (%) - GC
1	Lixiviado Natural	0,72	41,87	-	14,93	81,58
5	Lixiviado Natural	0,64	39,1	-	15,64	85,45
10	Lixiviado Natural	0,72	41,95	-	14,91	81,46
6	Lixiviado Sintético	0,60	37,67	-	16,01	87,47
7	Lixiviado Sintético	0,63	38,55	-	15,78	86,23
8	Lixiviado Sintético	0,60	37,44	-	16,06	87,79
2	Água	0,51	33,71	-	17,02	93,03
4	Água	0,54	34,95	-	16,71	91,29
9	Água	0,54	35,1	-	16,67	91,07
Ensaio de permeabilida de	Água	0,4	28,74	5,6 x 10 ⁻⁴	15,29	83,55

SOLUÇÕES CONTAMINANTES: LÍQUIDOS LIXIVIADOS

Para o líquido lixiviado, determinou-se a DQO, DBO, pH e condutividade elétrica antes e após a percolação, a fim de verificar a atenuação da carga orgânica por parte do solo estudado. O líquido lixiviado natural foi coletado no aterro sanitário de Feira de Santana -Ba, na parte mais nova, a montante da lagoa de tratamento. O líquido sintético foi preparado, tomando-se amostras de RSU representativas de uma residência e utilizando a composição gravimétrica encontrada para os resíduos sólidos do município de Feira de Santana -Ba (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Feira de Santana-Ba

Fração do RSU	Percentual (%)
Matéria orgânica	49
Papel/Papelão	20
Vidro	1
Metal	1
Plástico	19
Têxtil	3
Madeira	4
Cerâmica	1
Borracha	2

Fonte: Adaptado de ENVEX Engenharia e Consultoria (2016)

Na preparação do lixiviado sintético utilizou-se 77 kg de RSU, triturados em um liquidificador industrial e 50 L de água. A mistura foi peneirada para retirada dos componentes sólidos e, passada em filtro de papel (40 micra) para retirada dos sólidos em suspensão, que pudessem colmatar as colunas de solo.

O experimento nas colunas, baseou-se no estudo de Hamada *et al.* (2004), e foi realizado em pátio coberto (para evitar incidência de precipitação pluviométrica) da Equipe de Estudos e Educação Ambiental (EEA), localizada no Campus da UEFS.

A carga a ser percolada foi definida como 5 cm de lâmina líquida, o que corresponde a uma precipitação pluviométrica de 50 mm. A alimentação com os líquidos percolantes foi feita diariamente (de forma ininterrupta) por um período de doze dias. O volume de líquido percolado durante toda a realização do experimento (600 mm), corresponde a aproximadamente à precipitação anual da série histórica de 2005 a 2015 para a cidade de Feira de Santana-Ba. Os dados foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Estação: 83221, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Média mensal pluviométrica para Feira de Santana- Ba (2005 a 2015)

Mês	Precipitação média para o mês (mm)
Janeiro	36, 84
Fevereiro	68, 93
Março	44, 15
Abril	65, 27
Maio	84, 44
Junho	98, 84
Julho	75, 46
Agosto	43, 7
Setembro	29, 24
Outubro	40, 47
Novembro	53, 38
Dezembro	43, 64

Fonte: Adaptado do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

O volume de alimentação foi calculado, levando em consideração a altura da lâmina de água de 5 cm definida e a área de cada coluna, obtendo-se a quantidade diária de alimentação para cada coluna (Tabela 4).

Tabela 4 – Cálculo do volume de líquido para cada coluna

Coluna	Tipo de líquido	Área da seção transversal da coluna (cm ²)	Vol. de líquido diário (mL)
1	Lixiviado Natural	186,27	931,33
5	Lixiviado Natural	187,48	937,38
10	Lixiviado Natural	186,27	931,33
6	Lixiviado Sintético	188,69	943,46
7	Lixiviado Sintético	181,46	907,29
8	Lixiviado Sintético	179,08	895,39
2	Água	183,85	919,27
4	Água	187,48	937,38
9	Água	181,46	907,29

Foram realizadas 3 coletas dos efluentes na base de cada coluna, de 4 em 4 dias. As amostras dos efluentes coletados foram preservadas em geladeira até o momento da análise, visando manter as características de DBO e DQO, para posterior análise química e físico-química. Os resultados apresentados neste artigo são referentes à primeira coleta, realizada após 4 dias do início da alimentação.

RESULTADOS

Neste item são apresentados os resultados parciais da dissertação de mestrado, que está em andamento, no PPGECEA-UEFS, Ba.

O solo em estudo foi identificado como argilo-arenoso, com 46% de areia e 46% de argila. Apresentou um índice de plasticidade (IP), que o caracteriza como um solo altamente plástico (IP>15%), devido à presença de argila na composição (Tabela 5).

Tabela 5- Características físicas do solo

Parâmetro		Valores encontrados
Frações de solo (%) (NBR-7181, ABNT, 1984d)	Areia grossa	7
	Areia média	25
	Areia fina	14
	Silte	8
	Argila	46
Peso específico dos sólidos (kN/m³) (NBR-6508 ABNT, 1984b)		25,68
Limite de liquidez (%) (NBR-6459 ABNT, 1984a)		34
Limite de plasticidade (%) (NBR-7180 ABNT, 1984c)		17
Índice de plasticidade (%)		17
Peso específico seco (kN/m³) (ABNT, 1986): ensaio de compactação (NBR-7182 ABNT, 1986)		18,3
Umidade ótima (%) (NBR-7182 ABNT, 1986): ensaio de compactação		12,9

A taxa de percolação dos líquidos nas colunas foi de $5,8 \times 10^{-5}$ cm/s, menor que o coeficiente de permeabilidade (k) do solo ($5,6 \times 10^{-4}$ cm/s), determinado para a água, o que permitiu que os líquidos percolassem nas colunas e não houvesse a formação de lâminas líquidas no topo.

Os valores encontrados para a caracterização físico-química dos contaminantes utilizados estão apresentados na Tabela 6. Aqueles apresentados após a percolação foram obtidos na primeira coleta dos efluentes, realizada após 4 dias do início da alimentação, sendo que para o estudo final, serão realizadas mais duas coletas em igual período.

Tabela 6 - Caracterização físico-química dos lixiviados antes e após percolação no solo (1a. coleta)

Parâmetro	Lixiviado natural (antes da percolação)	Colunas - Lixiviado natural (após a percolação)			Lixiviado sintético (antes da percolação)	Colunas - Lixiviado sintético (após a percolação)		
		1 GC=81,58%	5 GC=85,45%	10 GC=81,46%		6 GC=87,47%	7 GC= 86,23%	8 GC= 87,79%
pH	8,1	8,4	8,5	8,4	3,9	5	6,1	5,7
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	14.733	3.366,7	3.866,7	2633	2.033	5,3	4,6	5,3
Condutividade elétrica (mS/cm)	33,96	12,6	18,3	15,06	5,23	2,32	2,32	2,18
DBO (mg/L O ₂)	1.033	900	1000	1000	4.150	850	600	800
DQO (mg/L O ₂)	8.800	1.052	1.261	2.051	16.500	165	114	128

Na tabela 6 observa-se que as características dos lixiviados natural e sintético diferem bastante, uma vez que não é possível controlar a proporção de resíduos sólidos que gerou o lixiviado natural. Para o lixiviado sintético, foram utilizadas proporções bem definidas de cada tipo de resíduo baseado na composição gravimétrica nacional. Além disto, o lixiviado sintético não possuiu pelos mesmos processos que o natural, que

em confinamento no aterro sanitário passa por diversas fases de degradação microbiológica. Cabe ressaltar que as colunas apresentaram diferenças na porosidade, fato este que interfere na capacidade de retenção.

Para os parâmetros analisados antes da percolação, a DBO e DQO de ambos os lixiviados apresentam-se dentro dos valores encontrados na literatura. Para o pH, o lixiviado natural apresenta valor característico de RSU velho, porém o lixiviado sintético possui um pH ácido, caracterizando um lixiviado jovem que não passou pelas fases de estabilização, o que é esperado, devido a sua recente produção.

Segundo Cunha (2009), a degradação dos resíduos é um processo que varia de acordo com diferentes fatores, como, quantidade de resíduos biodegradáveis, condições do meio ambiente (interno e externo), condições de operação do aterro e disponibilidade de microrganismos que atuam mutuamente para auxiliar a degradação. Diante disto, o lixiviado sintético por não passar pelos processos biológicos e físico-químicos inerentes aos aterros sanitários, como as fases (aeróbia, anaeróbia, metanogênica inicial e estabilização metanogênica) que ocorrem desde a disposição dos resíduos no aterro até sua estabilização completa, apresentou valores mais elevados para a DBO, quando comparado com o lixiviado natural.

Quanto à condutividade elétrica e alcalinidade, os valores encontrados para o lixiviado natural estão muito acima dos valores encontrados na literatura para aterros sanitários brasileiros, diferente dos valores medidos para o lixiviado sintético.

Os resultados encontrados indicam que o tipo de solo em estudo funciona como atenuante para lixiviados com características jovens. Os dados obtidos revelam que, o solo analisado reduziu para até 12% do valor inicial de DQO do lixiviado natural, na coluna 1 e para menos de 1% do valor inicial no lixiviado sintético, nas colunas 7 e 8, mostrando para a metodologia aplicada que a atenuação desse solo é mais eficiente em lixiviados jovens.

Após a percolação dos contaminantes, não houve alteração nos parâmetros pH e DBO do lixiviado natural, enquanto que todos os parâmetros sofreram alterações, para o lixiviado sintético. O pH das colunas com lixiviado sintético aumentou, reduzindo a acidez, provavelmente, devido à solubilização dos minerais contidos no solo, que quando em contato com a solução percoladora ácida, dissociou bases existentes no solo, que foram arrastadas pelo lixiviado durante a infiltração. Ao final do período de observação do experimento, verificou-se que os valores de DBO e DQO efluentes das colunas para o lixiviado sintético, apresentaram alterações significativas, indicando maior capacidade de remoção da matéria orgânica. É possível notar que, para as colunas alimentadas com lixiviado sintético e que possuem graus de compactação maiores que as das colunas alimentadas com lixiviado natural, há uma retenção maior das cargas orgânicas, que foram significativamente maiores quando comparadas aos valores encontrados para o natural.

CONCLUSÕES

Em suma, observa-se que as características dos contaminantes natural e sintético diferem bastante, uma vez que não é possível controlar a proporção de resíduos sólidos que gerou o lixiviado natural. Em contrapartida, para o lixiviado sintético, foram utilizadas proporções bem definidas de cada tipo de resíduo baseado na composição gravimétrica municipal. Além disto, o lixiviado sintético não passou pelos mesmos processos que o natural, o qual em confinamento no aterro sanitário esteve sujeito a diversas fases de degradação microbiológica.

O solo em estudo apresenta, sob diferentes condições de graus de compactação, bom potencial para retenção de carga orgânica de aterros sanitários. Porém, os resultados obtidos, ainda devem ser avaliados cuidadosamente quanto à aplicação deste tipo de solo sob condições de campo, uma vez que o estudo está sendo realizado em escala piloto.

Para o lixiviado sintético, ocorre uma atenuação muito maior, indicando que estudos sobre contaminação dos solos com lixiviado de aterros de RSU deverão ser realizados utilizando o lixiviado “in natura”, para ter representatividade. Os ensaios encontram-se em andamento e as análises ainda estão sendo complementadas, para possibilitar avaliar, de forma consistente, a atenuação da carga orgânica dos lixiviados testados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984d.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.
3. ENVEX ENGENHARIA E CONSULTORIA. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Feira de Santana – BA. Agosto de 2016.
4. HAMADA, J.; CALÇAS, D. A. N. de Q. P.; GIACHETI, H. L. Influência da compactação de um solo arenoso na infiltração e retenção de carga orgânica de chorume. Revista de Engenharia sanitária e ambiental, v. 9, n. 9, p. 180– 186, 2004.
5. MATEUS, M.S.C.S. Proposta de Modelo para Avaliação do Balanço Hídrico de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso do Aterro Metropolitano Centro de Salvador-BA. Tese de Doutorado- Ciências em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008.
6. SOUTO, G. D. de B.; POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte –MG. 2007.
7. CUNHA, E. R. da. Avaliação do Processo de Bioestabilização de Resíduos Sólidos Urbanos em Lisímetro de Campo. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2009.