

AVALIAÇÃO DE BALANÇO HÍDRICO EM ATERRO SANITÁRIO UTILIZANDO CAMADA DE COBERTURA FINAL EVAPOTRANSPIRATIVA COM RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Daiane do Carmo Rios ⁽¹⁾

Engenheira Civil e Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). E-mail: daianecrios@outlook.com

Maria do Socorro Costa São Mateus ⁽²⁾

Engenheira Civil pela UCSAL. Mestre em Geotecnia pela EESC – USP. Doutora em Geotecnia Ambiental pela COPPE – UFRJ. Professora Adjunto do Departamento de Tecnologia – UEFS. E-mail: so_mateus@yahoo.com.br

RESUMO

O balanço hídrico do local do aterro sanitário é de suma importância na concepção do projeto do mesmo, visto que permite monitorar o volume de líquido armazenado e a geração de efluentes líquidos e gasosos gerados na decomposição dos resíduos. A estimativa do balanço hídrico em aterros sanitários é a chave para o projeto de sistemas de cobertura final cuja função é impedir a entrada de líquidos no maciço de resíduos. Para isto, é utilizada uma composição de solo e manta ou, apenas, solo. Nesta pesquisa, foi estudado o resíduo da construção civil (RCC), um material a ser utilizado em substituição ao solo, com um funcionamento evapotranspirativo em camadas de cobertura final de aterros. Foi comparado o balanço hídrico de aterros para dois materiais, o RCC e um solo de Feira de Santana/BA, empregando o método de Fenn et al. (1975). Para ambos os materiais, verificou-se que os valores obtidos para a geração de percolados foram nulos na maior parte do ano de 2015, podendo avaliar o RCC como um material adequado para cobertura evapotranspirativa.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço hídrico, Aterro sanitário, Resíduo da Construção Civil.

INTRODUÇÃO

Em um projeto de aterro sanitário, um dos fatores que deve ser levado em consideração, em se tratando de proteção ambiental, é o balanço hídrico do local do aterro, visto que ele permite monitorar o volume de líquido armazenado e, a geração de efluentes líquidos e gasosos que está associada à entrada de líquidos no aterro, seja por meio do teor de umidade dos resíduos ou pela infiltração de água no aterro.

A estimativa do balanço hídrico em aterros sanitários é a chave para o projeto de sistemas de cobertura final e de impermeabilização de fundo. Significa, também, entender a variação de umidade no interior da massa de resíduos com o tempo, que tem importância fundamental na análise dos processos de degradação dos resíduos e na avaliação de propriedades geotécnicas dos mesmos, o que permite a avaliação da estabilidade estrutural dos aterros sanitários.

Nos aterros brasileiros, a precipitação pluviométrica é uma das formas de entrada de água. Por isso, é necessário o projeto e a construção de barreira efetiva, de vida útil longa, na superfície desses empreendimentos, denominada como camada de cobertura, cuja finalidade é controlar a entrada de água de chuva para a célula. São constituídas, geralmente, por solo ou por uma composição de solo e manta.

O solo, por ser um meio poroso, absorve a água da chuva que cai sobre ele até que as camadas superiores atinjam a saturação. A partir desse momento, o excesso não infiltrado começa a escoar pela superfície. A água infiltrada no solo sofre a ação da capilaridade e da gravidade, prosseguindo seu caminho até atingir a massa de resíduos, umedecendo-a de cima para baixo, alterando, assim, o perfil de umidade da célula. Em casos de coberturas com argila e manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), é muito mais difícil a água percolar até os resíduos, a menos que haja fissuras nas camadas ou que a manta esteja danificada. Porém, isto não quer dizer que o maciço de resíduos esteja isento de umidade, já que estudos mostram que, em algumas regiões, a quantidade de umidade do próprio resíduo é maior do que a umidade produzida a partir de infiltrações.

Tendo em vista a necessidade da utilização de materiais para a composição das diversas camadas dos sistemas de cobertura, torna-se indispensável o estudo de materiais alternativos para a substituição dos materiais usados originalmente, seja para a redução de custos, no caso de aterros de pequeno porte, ou visando apenas a preservação dos materiais naturais.

Para tanto, pesquisadores têm estudado as propriedades dos resíduos da construção civil (RCC) com o intuito de utilizá-los como parte constituinte dos sistemas de cobertura final de aterros sanitários e de drenagem. Partindo deste

pressuposto, torna-se necessário avaliar as propriedades deste material, para fins de funcionamento evapotranspirativo, considerando a sua influência no balanço hídrico.

A utilização destes materiais como camada de cobertura final, em aterros sanitários de médio e pequeno portes, situados em regiões de clima árido e semiárido, apresenta-se como uma solução alternativa para o seu destino e para a redução de custos. Considerando-se que, o alto custo para se construir um aterro sanitário, é uma das principais razões da grande maioria dos municípios brasileiros não aderirem à forma correta de disposição dos resíduos, é de grande valia o reaproveitamento de outros materiais, principalmente quando o destino destes é um problema para muitos municípios.

OBJETIVO DO TRABALHO

Comparar o RCC com solos utilizados em camada de cobertura evapotranspirativa para aterro sanitário, utilizando um modelo de balanço hídrico.

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido, utilizando parâmetros determinados em laboratório para o RCC e um solo de Feira de Santana/BA, na simulação de balanço hídrico para camada de cobertura de aterro sanitário, aplicando o modelo de balanço hídrico de Fenn et al. (1975).

A metodologia consistiu das seguintes etapas:

- Para o RCC - Coleta dos resultados de ensaios de laboratório (massa específica dos grãos, granulometria, compactação, permeabilidade, capacidade de campo, evaporação), realizados por Damasceno (2013), Ribeiro (2014), Damasceno, Ribeiro e São Mateus (2014) e Damasceno e São Mateus (2015).
- Para um solo de Feira de Santana/BA - Coleta dos resultados de ensaios de laboratório (massa específica dos grãos, granulometria, limites de Atterberg, compactação, permeabilidade), realizados por Santos e São Mateus (2015).
- Aplicação dos resultados de laboratório, para o RCC e para o solo, ao modelo de balanço hídrico de Fenn et al. (1975) com o auxílio de planilhas do Excel.

Os parâmetros dos ensaios de compactação foram utilizados no modelo de Fenn et al. (1975) e para a compactação das amostras submetidas aos ensaios de permeabilidade, capacidade de campo e evaporação. O ensaio de granulometria foi repetido para o material utilizado na compactação, com objetivo de verificar se havia quebra significativa dos grãos para o RCC.

A Tabela 1 apresenta o modo de obtenção de cada um dos parâmetros do solo e do RCC utilizados para o cálculo do balanço hídrico.

Tabela 1: Modo de obtenção dos parâmetros do solo e do RCC.

PARÂMETROS	OBTENÇÃO
Massa específica seca máxima ($\rho_{dm\acute{a}x}$)	RCC: obtida nos ensaios de compactação realizados por Damasceno (2013), Ribeiro (2004) e Damasceno e São Mateus (2015)
	Solo: obtida nos ensaios de compactação realizados por Santos (2015) e Santos e São Mateus (2015)
Umidade ótima ($\omega_{\acute{o}t}$)	RCC: obtida nos ensaios de compactação realizados por Damasceno (2013), Ribeiro (2004) e Damasceno e São Mateus (2015)
	Solo: obtida nos ensaios de compactação realizados por Santos (2015) e Santos e São Mateus (2015)
Umidade inicial de campo (θ_0)	$\theta_0 = \omega_{\acute{o}t} \cdot \rho_d / \rho_{\acute{a}gua}$
Armazenamento da Camada após compactação (AS_0)	$AS_0 = \theta_0 \cdot \text{Espessura da camada de cobertura}$

As condições necessárias para a utilização do método de balanço hídrico de Fenn et al. (1975) são: Espessura da camada de cobertura = 60 cm; declividade da cobertura = 2 a 4%; existência de vegetação na cobertura; infiltração resultante

apenas da água de chuva; características hidráulicas uniformes para o RSU e cobertura; adição de umidade ocorre somente após o fechamento de cada trincheira; movimento de água somente na direção vertical; parâmetros meteorológicos = médias aritméticas mensais de séries históricas.

Para a aplicação deste método, é indispensável conhecer, previamente, alguns dados, que foram destacados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados de entrada do modelo de Fenn et al. (1975).

DADOS DE ENTRADA	SIGLA	UNIDADE	OBTENÇÃO
Precipitação pluviométrica	P	mm	Estação climatológica da UEFS
Evaporação potencial	EP	mm	Estação climatológica da UEFS - Tanque Classe A multiplicado pelo coeficiente 0,7
Coeficiente de escoamento	C'	adim.	Vide Tabela 3

Fonte: Adaptado de Fenn et al. (1975).

Na Tabela 3 foram apresentados valores para o coeficiente de escoamento superficial em função do tipo de solo e da declividade do terreno, variando de acordo com as estações seca e úmida.

Tabela 3: Valores do coeficiente de escoamento superficial (C').

TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE (%)	COEFICIENTE C'	
		ESTAÇÃO SECA	ESTAÇÃO ÚMIDA
Arenoso	$i \leq 2$	0,05	0,10
	$2 < i < 7$	0,1	0,15
	$i \geq 7$	0,15	0,2
Argiloso	$i \leq 2$	0,13	0,17
	$2 < i < 7$	0,18	0,22
	$i \geq 7$	0,25	0,35

Fonte: Fenn et al. (1975).

A partir daí, segue-se o roteiro apresentado na Tabela 4, para efetuar a estimativa da geração de percolado em um aterro sanitário.

Tabela 4: Roteiro de cálculo dos parâmetros do modelo de Fenn et al. (1975).

PARÂMETRO	SIGLA	UNIDADE	FÓRMULA
Escoamento superficial	ES	mm	$ES = P \cdot C'$
Infiltração	I	mm	$I = P - ES$
Diferença entre a água que infiltra e o potencial de evaporação		mm	$I - EP$
Valores negativos de (I - EP)		mm	$\sum(\text{neg}(I-EP))$
Armazenamento de água no solo de cobertura	AS	mm	$(I - EP) > 0$, $AS = [(\text{espessura da camada}) \times (\text{água disponível na camada})] \rightarrow$ Ver Tabela 5
			$(I - EP) < 0$, Ver tabela de armazenamento para solo arenoso em Fenn et al. (1975)
Varição no armazenamento de água no solo	ΔAS	mm	$\Delta AS = AS_n - AS_{n-1}$
Evaporação real	ER	mm	$(I - EP) > 0$, $ER = EP$
			$(I - EP) < 0$, $ER = EP + (I - EP) - \Delta AS$
Percolação	PER	mm	$PER = P - ES - \Delta AS - ER$
Vazão mensal	QM	l/s	$QM = \frac{PER \cdot A_{\text{aterro}}}{t}$

FONTE: Adaptado de Fenn et al. (1975).

A quantidade de água disponível no material, segundo Fenn et al. (1975), é igual à diferença entre a quantidade de água na capacidade de campo e no ponto de murcha, de acordo com a Tabela 5, que podem ser obtidos na curva de retenção de umidade dos solos.

Tabela 5: Umidade no solo (mm de água/m de profundidade de solo).

TIPO DE SOLO	CAPACIDADE DE CAMPO	PONTO DE MURCHAMENTO	ÁGUA DISPONÍVEL
Arenoso	200	50	150
Siltoso	300	100	200
Argiloso	375	125	250

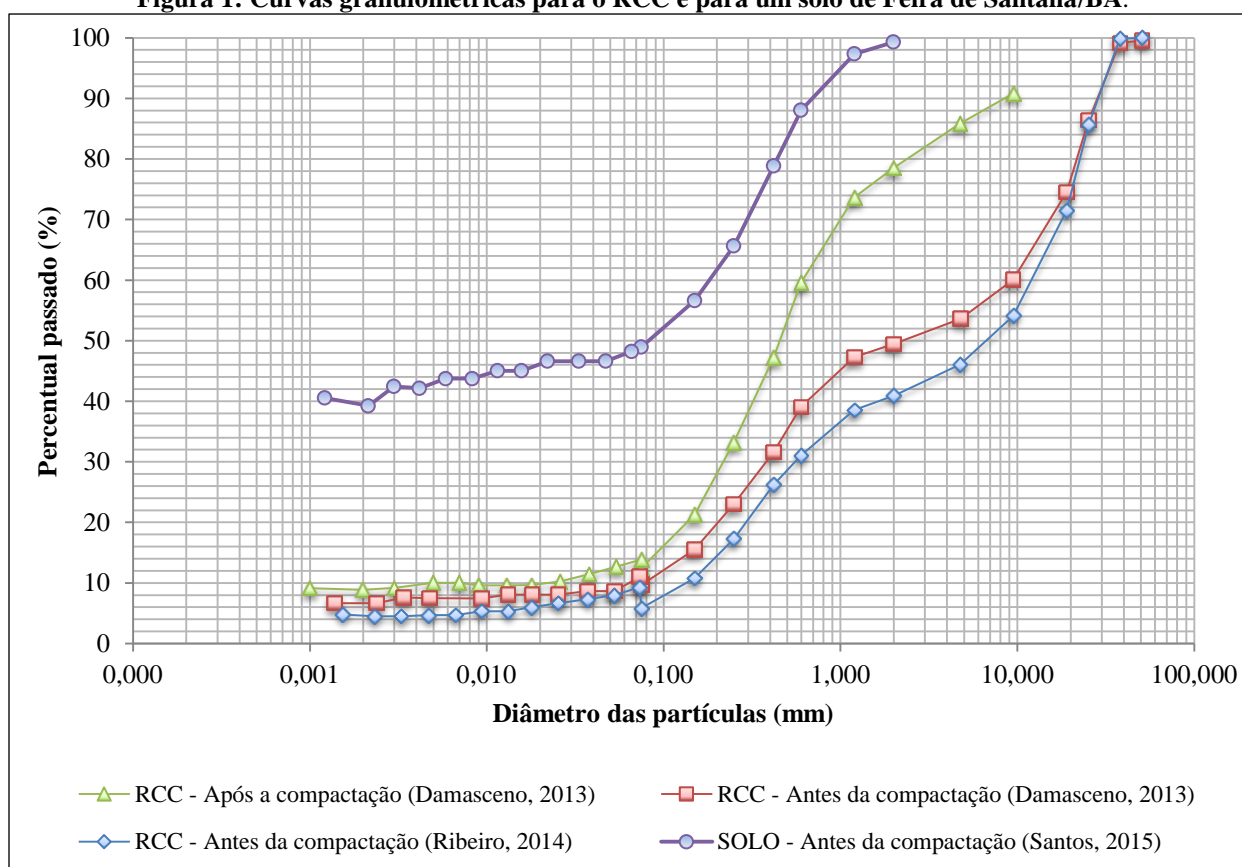
FONTE: Fenn et al. (1975).

Fenn et al. (1975) apresentam uma tabela de armazenamento para cada tipo de solo listado na Tabela 5, em função da água disponível e espessura da camada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os ensaios de granulometria para ambos os materiais (RCC e solo de Feira de Santana/BA) foram traçadas as suas respectivas curvas granulométricas, que foram comparadas na Figura 1, antes da compactação destes materiais.

Figura 1: Curvas granulométricas para o RCC e para um solo de Feira de Santana/BA.



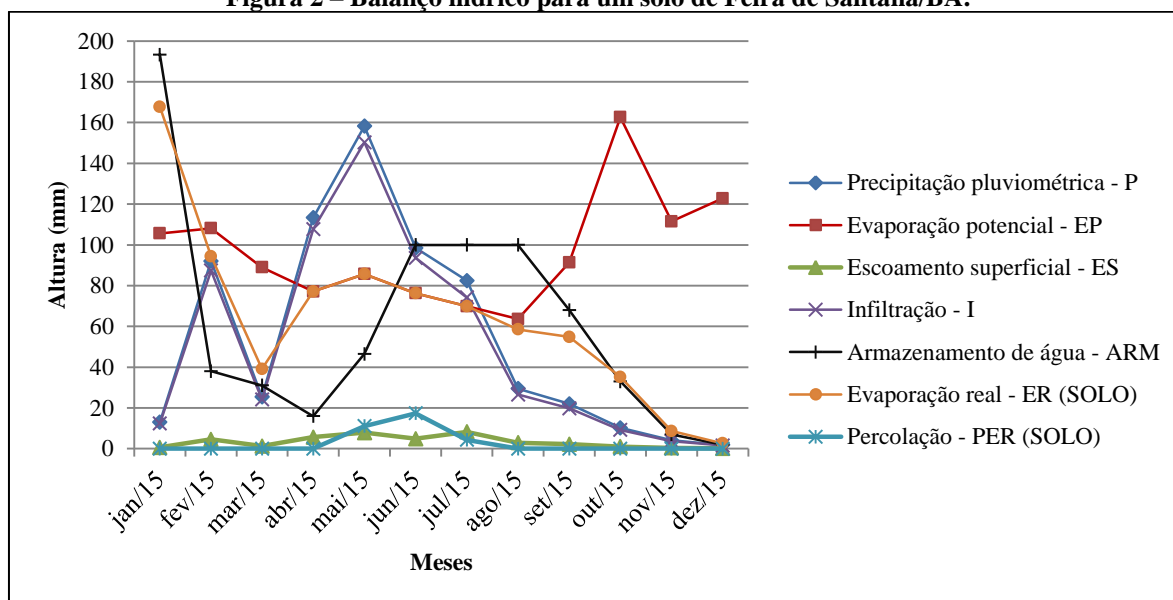
A partir da Figura 1, é possível classificar os materiais ensaiados. O RCC classifica-se como pedregulho arenoso com pouca argila e vestígios de silte (DAMASCENO, 2013 e RIBEIRO, 2014), e o solo como areia fina argilosa (SANTOS E SÃO MATEUS, 2015).

Na tabela 6, estão apresentados os dados utilizados para a realização do cálculo do balanço hídrico.

Tabela 6: Dados de entrada utilizados no balanço hídrico para o RCC e para o solo.

DADOS	UNIDADE	RCC	SOLO
Massa específica seca máxima ($\rho_{dm\acute{a}x}$)	g/cm ³	1,825	2,663
Umidade ótima ($\omega_{\acute{o}t}$)	%	10,5	12,1
Umidade inicial de campo (θ_0)	%	19,16	32,22
Armazenamento da camada após compactação (AS_0)	mm	114,98	193,33
C' (Pedregulho arenoso) - estação seca	adim	0,05	0,05
C' (Pedregulho arenoso) - estação úmida	adim	0,10	0,10
Água disponível (solo arenoso)	mm/m	150	150
Capacidade de armazenamento (solo arenoso)	mm	90	90

Na Figura 2, estão indicadas as curvas de precipitação pluviométrica, evaporação potencial, escoamento superficial, infiltração, evaporação real e percolação para o solo de Feira de Santana/BA.

Figura 2 – Balanço hídrico para um solo de Feira de Santana/BA.

A ER é sempre menor ou igual à EP, no entanto, em janeiro/2015, o valor evaporado excedeu o potencial de evaporação. Isto aconteceu porque a camada de solo estava na umidade ótima inicialmente, havendo água disponível para evaporar, embora não devesse ter ultrapassado a EP. Está sendo reavaliado o coeficiente de 0,7 utilizado na redução dos dados de evaporação do Tanque Classe A, e o valor do armazenamento inicial, utilizado nos cálculos e a sua adequação às tabelas do método.

Observa-se também, que entre janeiro e março de 2015, a ER foi superior a P; isto aconteceu porque no início da simulação a camada de cobertura tinha água armazenada, correspondente ao teor de umidade ótima utilizado para compactar a mesma. Esta umidade somada a P deixou o solo com uma disponibilidade maior para evaporar. Entre abril e julho/2015 a ER foi menor do que a P, período em que houve aumento no ARM. A partir de agosto/2015, a água armazenada sofreu evaporação.

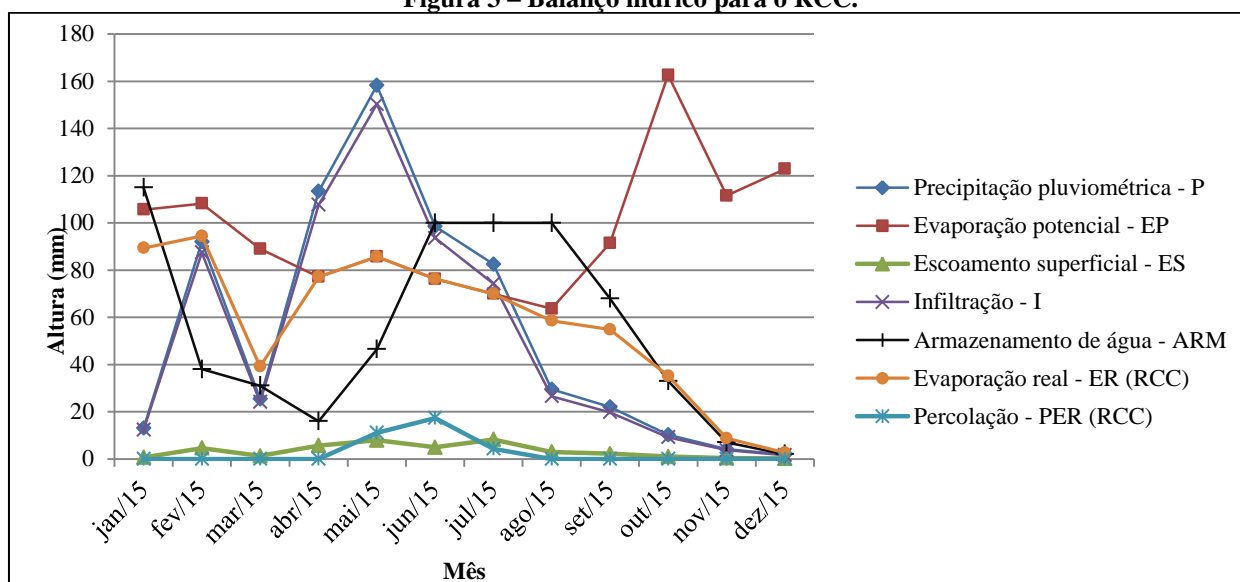
Para a PER, obteve-se uma curva constante e nula nos períodos de janeiro a abril/2015 e agosto a dezembro/2015, devido à elevada ER em relação a P; já no período de maio a julho/2015 esta condição foi invertida, estando a P mais elevada do que a ER e, portanto, havendo PER.

A quantidade de percolado ao longo do ano de 2015 é muito pequena, inferior a 20 mm. Este valor não é suficiente para atingir a capacidade de armazenamento (90 mm) da camada de solo e, portanto, não atinge o resíduo.

Além disso, os dados utilizados na simulação foram mensais, o que significa que estes valores são distribuídos, e uma avaliação diária do balanço hídrico seria o mais indicado para um melhor detalhamento.

A Figura 3 apresenta as curvas com os parâmetros necessários ao balanço hídrico para o RCC.

Figura 3 – Balanço hídrico para o RCC.



A partir da Figura 3, observa-se que o RCC mostrou um comportamento muito semelhante ao do solo. Constata-se que o solo apresentou um armazenamento inicial maior, pelo fato de ter sido compactado com uma umidade superior a do RCC, pois a umidade ótima do solo é maior do que a do mesmo.

CONCLUSÃO

O solo estudado é bastante eficaz como camada de cobertura final de aterros sanitários, entretanto, faz-se necessário avaliar o balanço hídrico diário, além de utilizar outros modelos.

Para avaliar o RCC como material em substituição aos solos e, verificar a sua adequação como cobertura evapotranspirativa, está sendo realizado o balanço hídrico, utilizando diferentes modelos e com frequência diária.

Tanto para o solo quanto para o RCC, verificou-se que os valores obtidos para o armazenamento pelo método de Fenn et al. (1975) foram iguais, com exceção do valor inicial adotado neste estudo. As tabelas do método, indicando os valores de armazenamento apresentam possibilidades para três capacidades de campo (100, 125 e 150 mm), sendo que para valores maiores foi utilizada a tabela correspondente a 150 mm, situação que precisa ser analisada com maior cautela.

REFERÊNCIAS

- DAMASCENO, L. A. G. Estudo das propriedades hidráulicas do RCD (resíduos de construção e demolição) para aplicação em coberturas de aterros de RSU (resíduos sólidos urbanos). *Relatório de Iniciação científica - FAPESB/UEFS*. Feira de Santana, 2013.
- DAMASCENO, L. A. G.; RIBEIRO, R. C.; SÃO MATEUS, M. DO S. C. Estudo dos parâmetros geotécnicos de resíduos de construção e demolição para uso em cobertura final de aterros de pequeno porte. *III COBESA - Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Barreiras, 2014.
- DAMASCENO, L. A. G.; SÃO MATEUS, M. DO S. C. Estudo da geração e características técnicas dos resíduos da construção civil (RCC) para aplicação em cobertura final de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (RSU). *REGEO 2015 - VII Congresso Brasileiro de Geossintéticos/ VIII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental*. Brasília, 2015.
- FENN, D. G.; HANLEY, K. J.; DeGEORE, T. V. Use of the Water Balance Method for Predicting Leachate Generation for Solid Waste Disposition Sites. U. S. *Environmental Protection Agency*, Report no. EPA/530/SW 168. 1975.
- RIBEIRO, R. C. Estudo da capacidade de campo do RCD (resíduo de construção e demolição) para utilização em camada de cobertura de aterro de RSU. *Relatório de Iniciação científica - PROBIC/UEFS*. Feira de Santana, 2014.
- SANTOS, Z. S. dos.; SÃO MATEUS, M. do S. C. Estudo das propriedades geotécnicas e físico-químicas do solo de Feira de Santana - BA após contaminação com soluções químicas representativas de lixiviados de aterros sanitários. *REGEO 2015 - VII Congresso Brasileiro de Geossintéticos/ VIII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental*. Brasília, 2015.