

SISTEMA DE COBERTURA FINAL DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA A RMB DE BELÉM-PA COM EMPREGO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

DOI: 10.19177/rgsa.v6e32017573-596

Rafaele Freitas de Oliveira¹
Risete Maria Queiroz Leão Braga²

RESUMO

A viabilidade técnica do aproveitamento dos resíduos de construção em obras geotécnicas, no caso de aterros sanitários, poderá ser uma solução ambientalmente sustentável, porque além de reduzir a exploração de recursos naturais contribuirá com os problemas de disposição final desse tipo de resíduo. A presente pesquisa propôs o emprego de Resíduos da Construção Civil (RCC) como material alternativo em substituição aos materiais convencionalmente empregados, tais como britas, rachões e etc. em sistemas de cobertura final de aterros sanitários, com aplicação de um modelo de balanço hídrico proposto por Koerner e Daniel, 1997, adaptado de Thorntwaite e Mather, 1957 para um aterro hipotético na Região Metropolitana de Belém – RMB-Pará. Os resultados apontaram que o emprego de RCC como material alternativo aos convencionalmente utilizados se apresentou satisfatoriamente à necessidade de drenagem do sistema de cobertura final, tanto para a camada de drenagem como para a camada de coleta de gás.

Palavras-chave: Resíduos de Construção Civil. Balanço Hídrico. Aterro Sanitário.

¹ Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA). Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: rafa.frei.oli@gmail.com

² Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA). Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: risetemaria@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o acelerado processo de urbanização dos municípios, requer uma demanda cada vez maior de obras de construção civil, atividade que impacta o meio ambiente devido ao grande uso de recursos naturais (insumos), geralmente de origem não renovável, gerando um volume considerável de resíduos, que associado ao descaso do seu manejo e destino final inadequado, ocasiona assoreamento de rios e lagos, obstrução do sistema de drenagem, proliferação de agentes patológicos, resultando na degradação ambiental e comprometimento da qualidade de vida das populações (CONAMA, 2011).

O impacto ambiental causado pela produção e descarte de resíduos da indústria da construção civil é um dos principais do planeta, seja pela quantidade descartada diariamente ou pelo uso irracional das jazidas de recursos naturais (BAPTISTA JUNIOR; ROMANEL, 2013). O percentual de variação da quantidade de resíduos de construção civil (RCC) na massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil varia entre 40 a 70% (Pinto, 1999; Ulsen, 2010; Silva & Fernandes, 2012). De acordo com dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2014 os municípios brasileiros coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCC, podendo essa quantidade ser ainda maior haja vista se tratar apenas de resíduos lançados nos logradouros públicos. Estima-se que no Brasil, para cada metro quadrado construído, 150 kg de resíduos de construção são gerados (PINTO, 1999).

De acordo com o Departamento de Resíduos Sólidos da Prefeitura de Belém, são coletados 51.760 m³/mês de RSU, como os materiais de capinação, varrição e resíduos de obras, sendo que dessa quantidade coletada 60% do material é RCC (MAIA E GAIA, 2012). Entretanto, não se tem uma informação exata do local de destino final desses resíduos.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307, de 5 de julho de 2002, define os Resíduos de Construção Civil (RCC) como os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas entre outros (CONAMA, 2002).

A maioria dos resíduos gerados nos canteiros de obras pode ser reutilizável ou reciclado como matéria-prima para agregados em uma grande variedade de processos construtivos, como: confecção de tijolos, blocos pré-moldados, meio-fio, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base, pavimentos. A Resolução Conama 307/2002, alterada pela nº 448/12, aponta esses resíduos como pertencentes a classe A, e estabelece que não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei (CONAMA, 2012). Entretanto, devido à ausência de mercados para suas formas recicladas esses resíduos permanecem em aterros de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros por muito tempo (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

No ano de 2010 o Brasil aprovou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por intermédio da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, onde definiu que a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) deverá ser realizada em aterros sanitários, quando não for possível a reutilização e reciclagem dos seus resíduos, por agregar dispositivos que permitem o seu bom funcionamento, no sentido de proteger o meio ambiente.

As NBR's 8419/1992 e 13.896/1997 apresentam diretrizes e as exigências para projetos de aterros sanitários de RSU e diversos sistemas que o compõe: impermeabilização da base e laterais, recobrimento de camadas diário e cobertura final, coleta e drenagem de líquidos percolados, coleta e tratamento de gases, drenagem superficial; e, tratamento de líquidos percolados (ABNT, 1992).

A camada de cobertura final, objeto deste estudo, é uma medida de proteção ambiental constituída de multicamadas que serve para reduzir a infiltração de água para o lixo depositado e para minimizar emissões de gás do aterro para a atmosfera (TRAVAR et al, 2015), além de reduzir a ocorrência de outros inconvenientes como odores e vetores de doenças. Segundo a NBR 13896/97 a concepção de uma camada de cobertura final de um aterro exige pouca manutenção e deve ser prevista no plano de encerramento do aterro, de forma minimizar a infiltração de água na célula, não estar sujeita a erosão, acomodar assentamento sem fratura e possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro (ABNT, 1997).

Existem diferentes configurações de camadas de cobertura, as mais referenciadas na literatura, são: cobertura convencional, que utiliza solos de baixa

condutividade, coberturas evapotranspirativas, baseados no uso de componentes do balanço hídrico de um aterro, e camadas oxidativas, onde se utilizam materiais que condicionem o desenvolvimento de microrganismos consumidores de CH₄ (COSTA, M., 2015).

Koerner e Daniel (1997 apud BARROS, 2005) apresentam, a composição de um sistema de cobertura final de um aterro sanitário (Figura 1), composto por uma camada de superfície (que separa as camadas inferiores do meio ambiente), a camada de proteção (protege as camadas inferiores e armazena a água percolada da camada superficial), a camada de drenagem (remove grande parte da água que penetra no sistema), a camada de barreira hidráulica (controla o movimento de líquidos com utilização de materiais impermeabilizantes), a camada de coleta de gás e a camada de fundação (drena os gases e serve de base para as camadas superiores).

Figura 1- Sistema de cobertura de aterro sanitário proposto por Koerner e Daniel (1997).



Fonte: Baseado em KOERNER E DANIEL, 1997.

A escolha do tipo de camada de cobertura de aterros sanitários, leva em consideração algumas particularidades do local onde se pretende aplicar essa camada, podendo haver uma combinação entre elas ou até a dispensa de uma delas. A concepção da camada também depende de fatores como o clima, a disponibilidade e o custo de solos naturais argilosos (COSTA, M., 2015).

Empreendimentos como os aterros sanitários são fontes de poluição de águas subterrâneas e do solo devido à produção de lixiviados e sua migração através dos

resíduos (SABAHI et al., 2009). De acordo com Mateus (2008), nas regiões de clima úmido, a incidência de chuvas na área dos aterros poderá aumentar a produção de lixiviado, neste caso, a camada de cobertura de aterro assume papel importante no controle da entrada de água de chuva nos resíduos.

A região norte apresenta grande volume de chuva, com uma precipitação acumulada anual que chega a ultrapassar 3000 mm, em relação às demais regiões brasileiras. No nordeste esse volume precipitado é inferior a 1250 mm, enquanto na região sul é de no máximo 2050 mm (INMET, 2016). Deste modo, em uma implantação de aterro sanitário é notório que seja avaliado o fluxo de vazão de chuvas na sua camada de cobertura final, pois esse incidirá no montante de lixiviados sobre a massa de resíduos sólidos.

A determinação do balanço hídrico regional é de grande relevância para estudos que necessitam conhecimento sobre a disponibilidade de água em uma dada região, podendo fornecer estimativas da evapotranspiração potencial e relativa, da deficiência e do excedente hídrico e do armazenamento de água no solo, podendo representar um indicador climatológico fundamental para o cálculo da disponibilidade hídrica (SANTOS; CHANG; KIANG, 2012).

Silva (2008), evidencia a importância do balanço hídrico em projeto de aterros de disposição de resíduos, como medida de proteção ambiental, tendo em vista que ele permite monitorar o volume de água armazenada e que a geração de efluentes líquidos e gasosos está associada à infiltração de água no aterro.

Padilha (2007), considera o balanço hídrico como chave para o projeto de sistemas de cobertura final e de impermeabilização do fundo de aterros, pois significa também entender a variação de umidade no interior da massa de resíduos com o tempo.

Um dos modelos mais conhecidos para o cálculo do balanço hídrico foi o proposto por Thornthwaite e Mather (1957), que é utilizado para determinar o regime hídrico de um local, sem a realização de medidas diretas das condições do solo. Para a aplicação deste modelo, deve-se definir o armazenamento máximo no solo (Capacidade de Água Disponível-CAD), precipitação do local e estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. A partir dessas informações básicas, o balanço hídrico permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período (CATAPRETA, 2008). Koerner e Daniel em 1997, desenvolveram uma planilha simplificada para

aplicação do método de Thornthwaite e Mather, 1957, que utiliza informações das características do material, do projeto e também das condições meteorológicas fornecida na entrada de dados, como precipitação, temperatura e luz solar média (KOERNER; DANIEL, 1997).

Os materiais convencionalmente usados na construção de camadas de cobertura final de aterros são solos de baixa permeabilidade (argilas) e britas compactadas. No entanto, Barros (2005); Dias (2014) e Costa, C. (2015), avaliaram a possibilidade da aplicação de materiais alternativos como os RCC, como relatado a seguir:

Barros (2005), avaliou a utilização do agregado reciclado miúdo proveniente do resíduo da construção e demolição (RCD) beneficiado em uma Usina localizada no bairro Catumbi-RJ, como material substitutivo dos agregados naturais usados nas diversas camadas de um sistema de cobertura final de aterro e constatou que a aplicação do RCD é viável, principalmente em regiões áridas e semiáridas e em municípios pequenos, onde os aterros sanitários são construídos para atender uma demanda pequena.

Dias (2014) analisou o uso de RCC e de uma mistura (RCC + solo), materiais provenientes da cidade de Goiânia e Aparecida de Goiânia-GO, em sistema de cobertura final de aterro (camadas de proteção, superficial e barreira hidráulica) de forma a reduzir a permeabilidade e aumentar a capacidade de armazenamento de água e verificou um comportamento similar aos materiais convencionalmente empregados nessas coberturas.

Costa, C. (2015), estudou a adição de agregado miúdo reciclado de RCC (empresa Areia Bela Vista) e fibras de Polietileno Tereftalano – PET ao solo (coletado na Região Administrativa de Samambaia) em camadas de cobertura de aterro sanitário do Distrito Federal e notou que a adição dos materiais alternativos utilizados, afetou positivamente o comportamento das misturas quanto ao ressecamento e à formação e propagação de fissuras.

É recente a adequação do município de Belém ao cumprimento da Lei nº 12.305/10, que se refere à Política Nacional de Resíduos Sólidos, quanto à determinação do fechamento dos lixões a céu aberto e a implantação de aterros sanitários. A partir de junho de 2015 todos os RSU coletados nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba, municípios pertencentes à Região Metropolitana de Belém (RMB), e de alguns particulares são direcionados a Central de

Processamento e Tratamento de Resíduos de Resíduos, localizado em Marituba (informação verbal)¹-CPTR-Marituba. Na Central não existe células para a disposição de resíduos da construção.

A possibilidade futura da implantação de aterros sanitários na RMB ou em outros municípios do estado do Pará, em função do imposto pela Lei nº 12.305/10, implica, sobretudo na extração de materiais naturais que serão empregados na maioria dos sistemas que o compõe. Neste trabalho, buscou-se avaliar o uso de RCC em sistema de cobertura final de aterro sanitário como uma perspectiva mais sustentável.

2 METODOLOGIA

O estudo foi elaborado analisando três sistemas de coberturas finais para um aterro sanitário hipotético na região da CPTR-Marituba. Além disso, verificou-se a influência do clima (precipitação e evapotranspiração) da região, na aplicação do modelo de balanço hídrico de Koerner e Daniel (1997), adaptado de Thornthwaite e Mather (1957) para o cálculo da vazão de fluxo de percolação (Q_{nec}) do volume precipitado que chegará ao sistema de cobertura.

2.1 Área de estudo

O município de Belém está situado na porção norte do estado do Pará com uma área territorial de 1.059,458 km² (IBGE, 2016). A Central de Processamento e Tratamento de Resíduos Sólidos-CPTR, localizada em Marituba, dista 11 km da capital, apresentando coordenadas geográficas de 1°23 S e 48°20 O, com acesso pela Alça Viária. Possui uma área de 110 ha e capacidade máxima de recebimento de resíduos prevista de 1.232 ton/dia (EIA/RIMA, 2011).

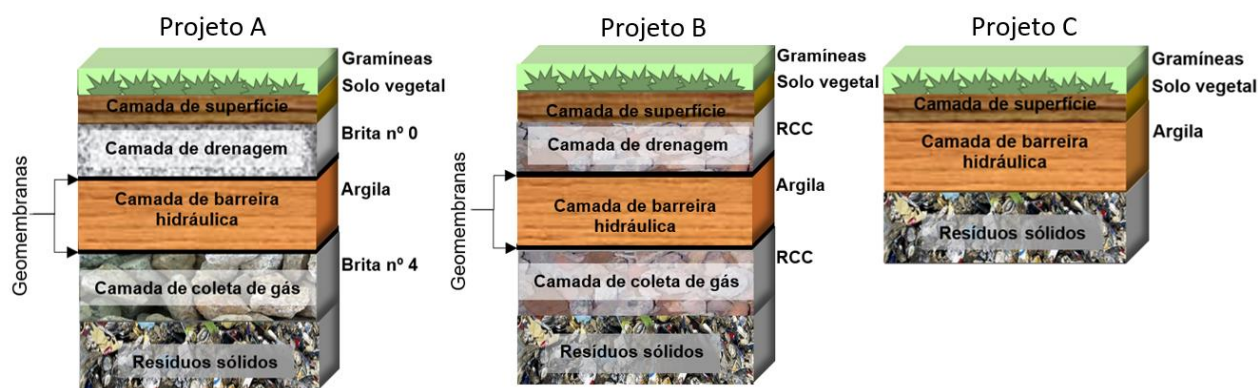
2.2 Sistema de cobertura final

Para o estudo foram elaborados três desenhos esquemáticos, que representam um sistema de cobertura final para um aterro sanitário hipotético, denominados Projetos A, B e C (Figura 2). O Projeto A foi baseado no modelo

¹ Informação fornecida por Deyved Nascimento em 2016-Engenheiro Sanitarista da CPTR-Marituba.

recomendado por Koerner e Daniel (1997 apud BARROS, 2005) com materiais convencionalmente empregados nesse tipo de obra (britas). O Projeto B apresenta uma alteração de agregados naturais por RCC nas camadas de drenagem e de gases. E o Projeto C é uma configuração proposta no EIA/RIMA, apresentada à Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará para fins de licenciamento ambiental (EIA/RIMA, 2011). Nota-se que no Projeto C existe apenas o emprego de solo vegetal na camada superficial e argila compactada na camada de barreira hidráulica, diferindo dos demais em relação às camadas de drenagem e coleta de gás.

Figura 2- Sistemas de cobertura final de aterro: Projeto A (emprego de materiais convencionais), Projeto B (com RCC) e Projeto C (CPR-Marituba) com materiais convencionais).



Fonte: Autoras, 2016

Para o Projeto B, além de verificar a viabilidade de utilização de RCC na camada de drenagem e de coleta de gás em substituição aos materiais convencionalmente empregados (britas), também se evidenciou a importância destas camadas no controle de infiltração do fluxo de líquido, reduzindo assim, o volume de precipitado na massa de resíduos.

As geomembranas ilustradas no desenho dos projetos A e B estão sendo atribuídas como um dispositivo a mais para o controle de infiltração, que consequentemente reduziria as vazões calculadas, entretanto, não foram consideradas nos cálculos do balanço hídrico.

2.3 Solo e RCC

A região metropolitana de Belém é caracterizada pela ocorrência de sedimentos Quaternários e Terciários, onde na superfície do terreno, associada ao Horizonte do solo, apresenta fácies Silto-Arenosa e Argilo-Arenosa (COSTA, 2001). Para o balanço hídrico das três configurações propostas nos sistemas foi considerado um solo superficial argilo-arenoso. As informações de umidades volumétricas e coeficiente de permeabilidade hidráulica referentes a este solo foram as obtidas por Oliveira et al. (1997).

Nas camadas de drenagem e coleta de gás dos Sistemas A e B, as informações referentes respectivamente, ao coeficiente de permeabilidade das britas e do RCC das camadas de drenagem pluvial e coleta de gás foram os determinados no estudo de Affonso (2005). No caso dos coeficientes de permeabilidade para os RCC (prensados e embebidos em água) utilizados tanto na camada drenante como na camada de coleta de gás, considerou-se respectivamente, uma granulometria na ordem de nº 1 a 4 (diâmetro variando de 4,8 mm a 76 mm) e de nº 2 a 4 (diâmetro variando de 12,5 mm a 76 mm).

Para a camada de barreira hidráulica, nos três sistemas, foi considerada a utilização de argila compactada, sendo adotados os dados de coeficiente de permeabilidade de Barros (2005).

2.4 Balanço Hídrico

O balanço hídrico para o sistema de cobertura final do aterro foi calculado para as três configurações apresentadas na Figura 2, compreendendo: camada de superfície, camada de drenagem, camada de barreira hidráulica e camada de coleta de gases.

Os dados de entrada necessários para o cálculo do balanço na camada de superfície, que compôs a planilha em Excel, segundo Koerner e Daniel, 1997, adaptado de Thornthwaite e Mather, 1957 foram: temperatura; luz solar média mensal; precipitação; coeficiente de runoff e características do solo considerado.

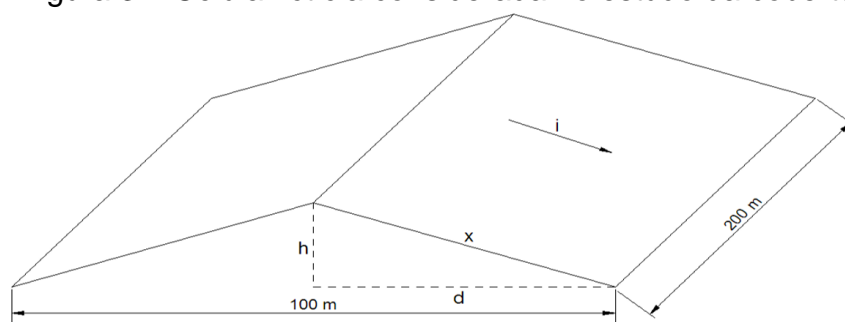
Os dados referentes a precipitação (P) e temperatura (T), foram obtidos da série histórica de dez anos (2006-2010) da Estação Meteorológica Convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)-2º DISME, que fica à longitude -1,43º e

latitude $-48,43^\circ$, próximo à estrada da Ceasa, bairro do Curió Utinga, distante 12 km da CPTR-Marituba.

A distância da estação pluviométrica é considerada válida para o estudo, haja vista que segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em seu Guia de Práticas Hidrológicas (WMO, 2008), a densidade máxima de cobertura de uma estação é de 10 até 20 Km² em zonas urbanas.

Foi considerado no estudo da cobertura do aterro uma célula com dimensões fictícias (Figura 3), conforme Barbosa (2009 apud Salgado, 2010). As dimensões e área da cobertura final da célula, bem como os parâmetros utilizados para se obter as vazões de fluxo nas camadas referentes aos Projetos A, B e C, baseados nas pesquisas bibliográficas, estão apresentadas na Tabela 1.

Figura 3 – Célula fictícia considerada no estudo da cobertura do aterro



Fonte: Modificado de Barbosa, 2009 apud Salgado, 2010.

Tabela 1 – Principais parâmetros adotados para o cálculo das vazões nas camadas do sistema de cobertura final para a célula do aterro.

| Parâmetros | Camada superficial | | | Camada de drenagem | | | Camada de barreira hidráulica | | | Camada de coleta de gás | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| | Projeto | | | Projeto | | | Projeto | | | Projeto | | |
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| i (m/m) | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| A _L (m ²) | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 | 10.012 |
| A _T (m ²) | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 | 20.024,98 |
| W (m) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| d (m) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| h (m) | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| x (m) | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 | 50,06 |
| Espessura da camada D (m) ^a | 0,15 | 0,15 | 0,10 | 0,30 | 0,30 | - | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,30 | 0,30 | - |
| A _T =W.D (m ²) | 30 | 30 | 20 | 60 | 60 | - | 80 | 80 | 80 | 60 | 60 | - |
| K (m/s) | (3,1.10 ⁻⁶) ^b | (3,1.10 ⁻⁶) ^b | (3,1.10 ⁻⁶) ^b | (1.10 ⁻²) ^c | (2,44.10 ⁻²) ^c | - | (1,0.10 ⁻⁹) ^a | (1,0.10 ⁻⁹) ^a | (1,0.10 ⁻⁹) ^a | (8.10 ⁻¹) ^c | (2,52.10 ⁻²) ^c | - |

A_L: Área de um lado da célula; A_T: Área total da célula; W: Largura da célula; A_i: Área transversal da camada; K: Coeficiente de permeabilidade.

Fonte: Autoras, 2016 (^aBarros, 2005; ^bOliveira et al., 1997; ^cAfonso, 2005).

O cálculo do balanço hídrico foi dividido em quatro etapas: evapotranspiração potencial (EP); balanço de infiltração e evapotranspiração potencial (IN-EP); evapotranspiração real (ET); e, cálculo do fluxo de percolação para a camada inferior (Q).

2.5 Evapotranspiração potencial (EP)

Refere-se à perda de água para a atmosfera de uma superfície saturada exposta a determinados fatores meteorológicos, calculada pela Equação 1.

$$EP = UPET \cdot N \quad (1)$$

Sendo:

UPET: evapotranspiração potencial diária não ajustada

N: luz solar média mensal

Para a aplicação da equação, foi necessário obter primeiramente os valores dos índices de calor mensal (H_m), parâmetro empírico usado para estimativa da evapotranspiração e os valores de unadjusted daily potential evapotranspiration (UPET) (evapotranspiração potencial diária não ajustada), considerada a evapotranspiração máxima em um solo saturado, ambos baseados nos valores de temperatura da série histórica.

Quanto a luz solar média mensal (N), que representa a duração mensal de luz solar de acordo com a latitude do local do hemisfério sul, expressa em unidade de 12 h, nesse trabalho foi obtida por interpolação dos valores da tabela de Thornthwaite e Mather (1957), para a latitude de $1,23^\circ$ e da área onde está instalada a CPTR-Marituba (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores mensais de luz solar média para a CPTR-Marituba

| Latitude (graus) | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 31,2 | 28,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,3 | 31,2 |
| 1,23 | 31,3 | 28,2 | 31,2 | 30,3 | 31,1 | 30,2 | 31,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,4 | 31,3 |
| 2 | 31,5 | 28,2 | 31,2 | 30,3 | 30,9 | 30 | 31,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,6 | 31,5 |

Fonte: modificada de Thornthwaite e Mather, 1957 apud Koerner e Daniel, 1997.

2.6 Balanço de infiltração e evapotranspiração potencial

Refere-se à quantidade de água que de fato infiltrou no solo, considerando a perda que ocorre devido a EP. A equação deste balanço é dada por $(IN-EP)$, onde a infiltração (IN) é a quantidade de água que infiltra no solo, determinada por $IN = (P - R)$, que é a precipitação (P) subtraído dos valores do escoamento superficial ou de runoff (R), onde contabiliza a parcela de água precipitada que não evaporou e não infiltrou no solo, calculados pela equação $R = C.P$, onde $C=0,20$ é o coeficiente de runoff para um solo argilo-arenoso (Tabela 3), característico da área de estudo considerada.

Tabela 3- Coeficiente de escoamento superficial (runoff) (C)

| Tipologia da área de drenagem | Coeficiente de escoamento superficial |
|--|---------------------------------------|
| Solo arenoso, declividade baixa < 2 % | 0,05 – 0,10 |
| Solo arenoso, declividade média entre 2% e 7% | 0,10 – 0,15 |
| Solo arenoso, declividade alta > 7 % | 0,15 – 0,20 |
| Solo argiloso, declividade baixa < 2 % | 0,15 – 0,20 |
| Solo argiloso, declividade média entre 2% e 7% | 0,20 – 0,25 |
| Solo argiloso, declividade alta > 7 % | 0,25 – 0,30 |

Fonte: modificada de Rio-Águas, 2010.

2.7 Evapotranspiração real (ET)

É a quantidade de água que, em condições ambientais reais, é evaporada e transpirada pela vegetação. Para o cálculo da ET, determinou-se a perda de água acumulada (WL), quando $(IN - EP) \geq 0$, $(WL)_i = (WL)_{i-1}$ e quando $(IN - EP) < 0$, $(WL)_1 = (WL)_{i-1} + (IN - EP)_i$.

A água armazenada no solo (WS) é calculada de acordo com as condições do balanço $IN - EP$, umidade volumétrica do solo na capacidade de campo (θ_{CC}), obtidas de Oliveira et al. (1997) considerando um latossolo amarelo de textura média e profundidade de alcance máximo das raízes ($H_{R\text{ máx}}$), onde se $(IN - EP) < 0$, logo $WS = WS_{máx} \cdot 10^{b(IN-EP)}$ e se $(IN - EP) \geq 0$, logo $WL_i = (WS)_{i-1} + (IN - EP)_i$, sendo: $b = (0,455/WS_{máx})$ e $WS_{máx} = (\theta_{CC}) \cdot H_{R\text{ máx}}$.

Na sequência, calculou-se o armazenamento de água mensal $\Delta WS = (WS_i - WS_{i-1})$, que é a parcela de água retida no solo ao longo do mês e a evapotranspiração real mensal (ET), dada pelas condições: se $(IN - EP) \geq 0$ logo, $ET = EP$ e se $(IN - EP) < 0$ logo, $ET = EP + [(IN - EP) - \Delta WS]$.

2.8 Fluxo de percolação para a camada inferior (Q)

Trata-se da quantidade de líquido que irá entrar na camada inferior. A percolação é determinada por $PERC = 0$, quando $(IN - EP) \leq 0$ e, $PERC = (IN - EP) - \Delta WS$ quando $(IN - EP) > 0$. Para a verificação da coerência dos cálculos realizados foi realizada uma checagem (CK), que deve resultar em valores iguais ao da precipitação em cada mês: $CK(PERC + ET + \Delta WS + R) = P$, ou seja $\sum CK = \sum P$.

A quantificação do fluxo de percolação médio mensal Q (m³/s) é determinado pela equação 2.

$$Q = \frac{[(PERC \div 1000) \cdot A_t]}{2.592.000} \quad (2)$$

Onde:

2.592.000 é o tempo de um mês em segundos.

2.9 Balanço Hídrico dos Projetos A, B e C

Para a quantificação de líquidos nas camadas dos sistemas de cobertura dos projetos A, B e C se considerou as condições para a máxima infiltração, ou seja, o maior valor de precipitação e o menor valor de evapotranspiração.

A vazão necessária calculada (Q_{nec}), refere-se à vazão que deve infiltrar no sistema para os três projetos, considerando-se as mesmas condições de infiltração, calculada pelo método racional de acordo com Silva (2008) - Equação 3.

$$Q_{nec} = \frac{[(P_{m\acute{a}x} - R) - ET] \cdot A_L}{T \cdot W} \quad (3)$$

Onde:

$P_{m\acute{a}x}$: precipitação diária máxima;

R: escoamento superficial;

ET: evapotranspiração real diária;

A_L : área lateral da célula;
 T : duração de um dia em segundos;
 W : largura da célula.

A partir da Q_{nec} é calculada a vazão admissível (Q_{adm}) em cada camada que compõe os projetos da Figura 2. Para o Projeto A e B foram calculadas as Q_{adm} , respectivamente para as camadas de superfície, drenagem com brita e RCC, já à camada de coleta de gases foram determinados um novo valor de Q_{nec} e Q_{adm} por se tratar de uma nova contribuição de percolado. No projeto C a Q_{adm} foi calculada para a camada superficial, haja vista que o sistema não apresenta uma camada drenagem.

Ao final do cálculo das vazões admissíveis foi necessário verificar o fator de segurança (FS) = Q_{adm}/Q_{nec} dessas camadas, que deverá ser maior que 1, pois sendo inferior a 1 implicará na ineficiência do sistema, considerando-se que as camadas subsequentes a camada superficial não atenderão a Q_{nec} .

2.10 Vazão Admissível para as camadas de superfície, drenagem de águas pluviais e de gases-Projeto A e B

A Q_{adm} para a camada de drenagem foi calculada considerando um fluxo laminar e aplicando da Lei de Darcy a partir da Equação 4. Os coeficientes de permeabilidade (K) utilizados nos projetos A e B foram respectivamente, $K_{(solo)}$, $K_{(brita)}$ e $K_{(RCC)}$, definidos na Tabela 1.

$$Q_{adm} = \frac{K_{(camada)} \cdot i \cdot A_t}{W} \quad (4)$$

Onde:

K -coeficiente de permeabilidade do material da camada;

W -largura da célula;

i – declividade da célula;

A_t -área transversal da célula.

No cálculo da Q_{nec} para a camada de coleta de gases foi considerada a vazão total que percolou da camada superior a essa (camada de barreira), onde $Q_{nec} = \frac{Q_{total}}{W}$. A Q_{adm} foi determinada pela equação 4, utilizando-se os coeficientes de

permeabilidade do material constituinte da camada ($K_{(brita)}$ e $K_{(RCC)}$) correspondente aos projetos A e B, conforme a Tabela 1.

2.10.1 Vazão Admissível para a camada superficial-Projeto C

Para o cálculo da Q_{adm} na camada superficial (equação 4) foi utilizado o coeficiente de permeabilidade do solo superficial $K_{(solo)}$ (Tabela 1).

2.10.2 Vazão Admissível para a Camada de Barreira Mineral – Projeto A, B e C

Nesta camada, foi considerado que os materiais constituintes (argila compactada) das camadas apresentavam-se saturados, criando-se uma lâmina de água em sua superfície (H). A Q_{adm} que percolará nas camadas foi obtido, conforme a equação $Q_{admissível} = k_{(argila)} \cdot \left(\frac{H+D}{D}\right) \cdot A_L$. Como ela recebe uma contribuição dos dois lados da cobertura de cada célula a $Q_{total} = 2Q_{admissível}$.

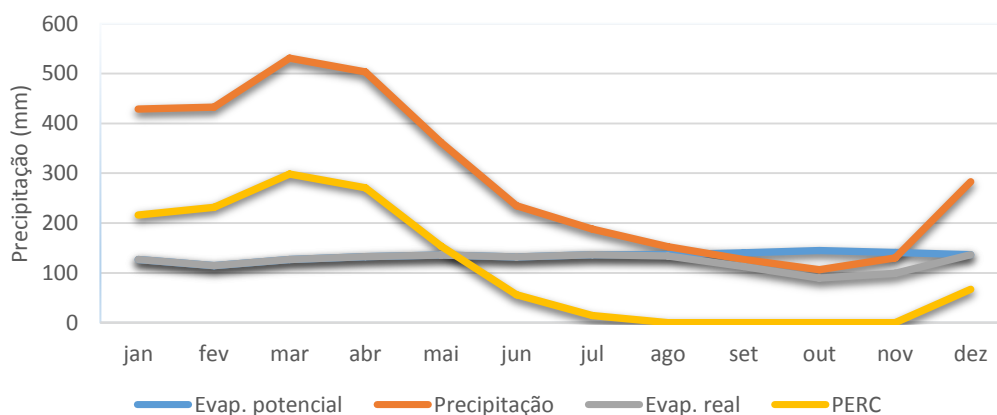
3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados do balanço hídrico da camada superficial para os três projetos estão apresentados na Tabela 4. Verifica-se valores de precipitação mensal alto para os períodos chuvosos (dezembro a maio), com um valor médio de 423 mm. Com a redução das chuvas, nos meses de junho a novembro (período menos chuvoso), a média de precipitação foi de 156 mm. A temperatura média se mantém entorno de 27°C ao longo de 12 meses. Considerando-se a média anual de precipitação de 290 mm e uma evapotranspiração de 134 mm.

A partir do levantamento de dados pluviométricos de Nascimento; Fernandes; Yoshino (2016), para uma série histórica de 46 anos (1967-2013) do município de Belém chegou-se a um valor médio mensal de precipitação de 253 mm, ou seja, não houve variações significativas no valor médio de precipitação de 10 anos que foi empregado nesse estudo, assegurando a representatividade dos dados.

A distribuição das precipitações médias ao longo da série histórica de 10 anos para a área do aterro e também o comportamento da PERC e da evapotranspiração potencial e real pode ser verificada na Figura 4. Nota-se que a percolação (PERC) varia de acordo com a precipitação, chegando a zero nos meses em que aconteceu um déficit hídrico, com a evapotranspiração potencial superando a infiltração, reforçando a importância do estudo dos fatores climáticos para uma dada região onde serão implantados aterros sanitários. Baseado na PERC e na precipitação média mensal verifica-se que a média de líquido que percolará na célula do aterro, desse estudo, no período chuvoso é de 47% do total precipitado, chegando a 56% no mês de maior precipitação (março).

Figura 4- Balanço Hídrico na área da CPTR-Marituba.



Fonte: Autoras, 2016

O fluxo médio de percolação, Q_{nec} , para a célula (linha 16) foi de $1,59 \cdot 10^{-3}$ m³/s para o período chuvoso e no período menos chuvoso foi de $2,70 \cdot 10^{-4}$ m³/s, ou seja, a vazão no período chuvoso é 10 vezes maior.

Gomes (2005) aponta um valor de Q_{nec} da ordem de $6,44 \cdot 10^{-4}$ m³/s para um trimestre de maior precipitação no estudo de balanço hídrico da região de Santa Maria-RS.

Nota-se que em regiões de maior precipitação a tendência é de haver uma maior percolação de fluxo (Q_{nec}), o que implicará na maior quantidade de líquido infiltrando na camada de cobertura de aterro, podendo causar uma instabilidade do sistema (Silva, 2008).

Considerando-se a situação de maior precipitação diária $P_{m\acute{a}x} = 98,20$ mm, registrada na série histórica 2006-2015, que ocorreu em 22/04/2007, período

chuvoso, e o menor valor de evapotranspiração real foi de 2,88 mm/dia, observado no mês de outubro, a Q_{nec} para os projetos foi de $8,78 \times 10^{-3}$ m³/s (ou $4,39 \times 10^{-5}$ m³/s.m vazão distribuída pela unidade de largura da célula do aterro - W). Nota-se, que esse valor é superior ao fluxo médio de percolação para os períodos chuvoso e menos chuvoso, o que fornece maior segurança para o cálculo das vazões nas camadas dos projetos.

Para o cálculo da Q_{adm} em cada camada dos projetos foi adotado um valor de coeficiente de permeabilidade em função do tipo de material a ser empregado (Tabela 5). O ideal é que esse valor seja menor ou igual a 10^{-7} m/s na camada de barreira hidráulica e na camada de drenagem não inferior a 10^{-4} m/s. Na camada de coleta de gás é recomendável a utilização de grãos grossos e materiais de alta permeabilidade (Barros, 2005). Nesse estudo, entendeu-se que o emprego de RCC em camadas de cobertura final devam atender os critérios de coeficiente de permeabilidade dos agregados convencionalmente utilizados nesse tipo de obra.

Tabela 5 - Valores das vazões adotadas para os projetos A, B e C e Fs.

| Vazões e FS | Camada superficial | | | Camada de drenagem de água pluvial | | Camada de barreira hidráulica | | | Camada de coleta de gás | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| | Projeto | | | Projeto | | Projeto | | | Projeto | |
| | A | B | C | A | B | A | B | C | A | B |
| Q_{nec} (m ³ /s.m) | $4,39 \cdot 10^{-5}$ | $4,39 \cdot 10^{-5}$ | $4,39 \cdot 10^{-5}$ | $4,39 \cdot 10^{-5}$ | $4,39 \cdot 10^{-5}$ | -- | -- | -- | $1,22 \cdot 10^{-7}$ | $1,09 \cdot 10^{-7}$ |
| Q_{adm} (m ³ /s.m) | $2,33 \cdot 10^{-8}$ | $2,33 \cdot 10^{-8}$ | $1,55 \cdot 10^{-8}$ | $1,50 \cdot 10^{-4}$ | $3,66 \cdot 10^{-4}$ | $(2,44 \cdot 10^{-5})$ | $2,18 \cdot 10^{-5}$ | $1,42 \cdot 10^{-2})^a$ | $1,20 \cdot 10^{-2}$ | $3,78 \cdot 10^{-4}$ |
| Fator de segurança (FS= Q_{adm}/Q_{nec}) | 0,00053 | 0,00053 | 0,00035 | 3,42 | 8,35 | -- | -- | -- | 98.278 | 3.464 |

Q_{nec} : vazão necessária; Q_{adm} : vazão admissível; ^a m³/s

Fonte: Autoras, 2016

Nota-se que o FS para a camada superficial é inferior a 1 para os três projetos, o que implica a necessidade de uma camada de drenagem subjacente a esta, que permitirá a drenagem do fluxo de percolação de águas. Já a camada de drenagem dos Projetos A e B os FS foram de 3,42 e 8,35, respectivamente, configurando a sua importância para a contenção desse volume de fluxo. Além disso, a utilização de RCC nessa camada resultou em um menor valor de coeficiente de permeabilidade (Tabela 1), o que ocasionou um FS maior para o Projeto B, permitindo concluir que o RCC pode substituir a brita natural em camadas de drenagem.

A vazão admissível na camada de barreira hidráulica, para os Projetos A e B, foram inferiores ao valor do Projeto C, o que configura que a camada superficial não

atendeu esse fluxo. Além disso, essa proposta prevê uma camada superficial com espessura de 0,10 m, o que pode ser insuficiente para acomodar as raízes das gramíneas e ocasionar intrusão das raízes para a camada de barreira hidráulica, levando a infiltração maior de água nessa camada. Logo, a configuração antevista de cobertura final para o aterro da CPTR-Marituba, Projeto C, é inadequada para a região.

Zhang, Zhang e Wang (2009), realizaram um estudo experimental simulando infiltração e evapotranspiração em cobertura de aterros sanitários e verificaram a importância da espessura da camada superficial, pois o chamado fluxo preferencial comum em solos naturais não saturados faz com que a água se propague rapidamente a profundidades significativas, ignorando uma grande parte do volume de solo, aumentando a percolação no sistema.

Por outro lado, em condições de baixa precipitação, em que a percolação pode chegar a zero (Figura 5), a configuração proposta no Projeto C pode levar a uma condição de não saturação do solo, podendo apresentar problemas de fissuração na cobertura final do aterro.

Costa, C. (2015) aponta que solos com baixa permeabilidade em sistemas de cobertura de aterros podem apresentar características de retração e inchamento, dependendo das condições de umidade e temperatura do ambiente. Além disso, relata que em estações mais secas do ano pode ocorrer o ressecamento das camadas, com o surgimento de fissuras, criando-se caminhos preferenciais para o transporte de fluidos, o que provocará aumento considerável da condutividade hidráulica e perda de sua função impermeabilizante.

Por fim, a camada de coleta de gás proposta para os Projetos A e B, funciona como integrante do sistema de drenagem dos líquidos percolados e podem captar gases para um posterior tratamento. As Q_{nec} para os dois projetos foram bem semelhantes, ambos da ordem de $10^{-7} \text{ m}^3/\text{s.m}$, enquanto a Q_{adm} foi maior para a camada constituída de brita (Projeto A) do que a composta por RCC (Projeto B).

Apesar da aplicação de RCC na camada de coleta de gás fornecer um valor de vazão admissível menor, ainda assim é aceitável, pois o FS calculado para a camada mostra um valor bem superior a 1. Portanto, a brita poder ser substituída pelo RCC sem restrição técnica para a sua aplicação e como uma solução alternativa para a destinação final desse resíduo.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De posse dos valores das vazões de percolação obtidas no balanço hídrico para a cobertura final de um aterro hipotético para a RMB, dois fatores foram determinantes: condição climática no local do aterro e as características de permeabilidade dos materiais empregados no sistema de cobertura (solo, agregados naturais e RCC).

Para o estudo dos elementos climáticos (precipitação e evapotranspiração), em função da variação sazonal, poderá ocorrer uma maior ou menor incidência de percolação de líquido no sistema de cobertura final de aterro. Quando a precipitação for superior a evapotranspiração incidirá em uma percolação maior de líquido no sistema, podendo causar instabilidade do sistema (FS inferior a 1). Já no caso da evapotranspiração ser maior que a precipitação, ocorrência do déficit hídrico, verificou-se que para o Projeto C poderá ocorrer o ressecamento do solo e induzir o aparecimento de fissuras, promovendo um excesso de fluxo de percolação no sistema. Nos Projetos A e B, a camada de drenagem em seus sistemas, permitirá um controle maior do fluxo permanentemente.

Os RCC, propostos como material alternativo em substituição aos convencionalmente utilizados em aterros se comportou satisfatoriamente à necessidade de drenagem do sistema de cobertura final, tanto na camada de drenagem como na camada de coleta de gás, em função da semelhança dos coeficientes de permeabilidade dos materiais.

Recomenda-se para futuros trabalhos o estudo da viabilidade econômica e operacional da utilização de RCC em substituição as britas e as características físicas do solo no local de implantação do aterro para fins de classificação textural, obtenção da curva de umidade e o coeficiente de permeabilidade, pois valores secundários podem gerar equívocos no balanço hídrico, e conseqüente erros na determinação das vazões (Q_{nec} e Q_{adm}) e determinação dos fatores de segurança.

Outro ponto interessante, a ser estudado futuramente, seria um tratamento estatístico dos dados pluviométricos da série histórica empregada no estudo para detectar possíveis falhas, que podem interferir no resultado do balanço hídrico e conseqüentemente no cálculo do fluxo das vazões.

SYSTEM OF FINAL COVERAGE OF A LANDFILL FOR RMB OF BELÉM-PA WITH USE OF CIVIL CONSTRUCTION WASTE

ABSTRACT

The technical viability of the use of construction waste in geotechnical works, in the case of landfills, it may be an environmentally sustainable solution because in addition to reducing the exploration of natural resources will help with the problems of final disposition this type of waste. The presente research has proposed the use of Civil Construction Waste (RCC) as alternative material to replace the materials conventionally employed, such as crushed stone, on systems of final coverage of landfills with application of a water balance model proposed by Koerner and Daniel, 1997, adapted from Thorntwaite and Mather, 1957, for a hypothetical landfill in the Metropolitan Region of Belém – RMB – Pará. The results showed that the use of RCC as alternative material instead of the conventionally used was satisfactory the need for drainage of the system of final coverage for both drainage layer and the gas collection layer.

Keywords: Civil Construction Waste. Water Balance. Landfill.

REFERÊNCIAS

ABNT (1992). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, RJ, 7 p.

ABNT (1997). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos -Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, RJ, 12 p.

ABRELPE- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014>>. Acesso em: 03 maio 2016.

AFFONSO, F. J. de A. **Caracterização de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) para Uso em Camadas Drenantes de Aterros de Resíduos Sólidos**. 2005. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

AMPLA. **Relatório de Impacto Ambiental da Central de Processamento e Tratamento de Resíduos Classe II**. Ampla Meio Ambiente. 2011.

BAPTISTA JUNIOR, J. V.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. **Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [s.l.], v. 5, n. 480, p.27-37, 2013. Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR

BARROS, M. C. **Avaliação de um Resíduo da Construção Civil Beneficiado como Material Alternativo para Sistema de Cobertura**. 2005. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coppe, Rio de Janeiro, 2005.

Brasil (2010) Lei nº 12.305 de 02 de agosto 2010, Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Presidência da República, Brasília, DF

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. (Comp.). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, [s.l.], v. 61, n. 358, p.178-189, jun. 2015.

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação**. 2008. 316 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CONAMA, Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Diretrizes e procedimentos para gestão dos resíduos da construção**. Brasília: MMA/CONAMA. 2002.

CONAMA, Resolução nº 357, de 18 de março de 2011. **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**. Brasília: MMA/CONAMA. 2011.

COSTA, C. M. C. **Avaliação da Fissuração por Ressecamento em Camadas de Cobertura de Aterro Sanitários Utilizando Materiais Alternativos**. 2015. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

COSTA, M. D. **Estudos de Camadas de Cobertura de Aterros Sanitários em Colunas de Solos**. 2015. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

COSTA, T. C. D. **Análise Crítica das Metodologias Gerais de Mapeamento Geotécnico Visando a Formulação de Diretrizes para a Cartografia Geotécnica no Trópico Úmido e Aplicação na Região Metropolitana de Belém, Escala 1:50.000**. 2001. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

DIAS, M. C. C. **Viabilidade do Uso do Solo Tropical e Resíduos de Construção Civil em Sistemas de Cobertura de Aterro Sanitário**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

GOMES, T.L. **Avaliação Quali-Quantitativa do Percolado no Aterro Controlado de Santa Maria-RS**. 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria-RS, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@**. Site que traz informações sobre os municípios brasileiros. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 27 de agosto de 2016.

Instituto Nacional de Meteorologia -INMET. **Normal Climatológica do Brasil 1961-1990-Precipitação mensal e anual (mm)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 12 out. 2016.

Instituto Nacional de Meteorologia -INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 17 maio 2016.

KARAK, T.; BHAGAT, R. M.; BHATTACHARYYA, P. Municipal solid waste generation, composition, and management: The world scenario. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 42, n. 15, p. 1509-1630, 2012.

KOERNER, R. M., DANIEL, D. E. **Final Covers for Solid Waste Landfills and Abandoned Drumps**. Thomas Telford & ASCE Press. 1997.

MATEUS, M. S. C.. **Proposta de Modelo para Avaliação do Balanço Hídrico de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso do Aterro Metropolitano Centro de Salvador-BA**. 2008. 312 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

NASCIMENTO, T.V.; FERNANDES, L. L.; YOSHINO, G. H. Potencial de Aproveitamento de Água de Chuva na Universidade Federal do Pará – Belém/PA. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria-RS, v15, n1, p. 105-116, jan-abr. 2016.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. C. de et al. **Caracterização físico-hídrica de cinco perfis de solos do nordeste paraense**. 177. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 27 p.

OLIVEIRA, W.; TAGLIARINI, E. M.; TANCREDI, A. C. F. N. S. **Estudo Hidrogeológico para a implantação do Cemitério Max Domini II – Região de Belém – Pará**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Resumos...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2002. p. 1 – 12.

PADILLA, R. S. **Aplicação de um Modelo Computacional Tridimensional para Estimativa de Balanço Hídrico em Aterros Sanitários**. 2007. 107 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. Manejo e gestão de resíduos da construção civil. Brasília: CEF, 2005. v. 1. 196 p. (Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios, v. 1).

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.189f.

RIO ÁGUAS. **RIO-ÁGUAS “N” Nº. 004/2010**: Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana . 1 ed. Rio de Janeiro: Prefeitura do Rio de Janeiro, 2010.

SABAHI, E. A. et al. The Characteristics of Leachate and Groundwater Pollution at Municipal Solid Waste Landfill of Ibb City, Yemen. **American Journal Of Environmental Sciences**, United States, v. 5, n. 3, p.256-266, 30 jun. 2009.

SALGADO, L. D. **Análise da Aplicação de Agregado Reciclado em Cobertura Final de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2010. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SANTOS, M. M.; CHANG, M. R. C.; KIANG, C. H. Análise do Balanço Hídrico Climatológico do Sistema Aquífero Guarani, em sua Área de Afloramento no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba-PR, v. 8, n. 10, p.153-170, jun. 2012.

SILVA, A. T. A. **Aspectos Meteorológicos e Balanço Hídrico em um Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, V. A.; FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. **Revista Sociedade & Natureza**, ano 24, n. 2, p. 333-344, mai. / ago. 2012.

TRAVAR, I. et al. Development of Drainage Water Quality From a Landfill Cover Built With Secondary Construction Materials. **Waste Management**, [s.l.], v. 35, p.148-158, jan. 2015.

Ulsen, C.; Kahn, H.; Angulo, S. C.; John, V. M. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo. **Revista da Escola de Minas**, 63(2), 339-346, 2010.

WMO – World Meteorological Organization, 2008. **Guide to Hydrological Practices**, WMO – nº 168, Sixth Edition, Geneva.

ZHANG, W.; ZHANG, Z.; WANG, K. Experimental study and simulations of infiltration in evapotranspiration landfill covers. **Water Science and Engineering**, [s.l.], v. 3, n. 2, p.96-109, set