



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM COBERTURA DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Licia Domeneck Salgado

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadores: Maria Cláudia Barbosa

Alvaro Luiz G. Cantanhede

Rio de Janeiro

Agosto de 2010

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM COBERTURA
DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Licia Domeneck Salgado

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinada por:

Prof^a. Maria Cláudia Barbosa – D.Sc

Prof^o. Alvaro Luiz G. Cantanhede – M.Sc.

Prof^a. Iene Christie Figueiredo – D. Sc.

Prof^a. Katia Monte Chiari Dantas – D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO de 2010

Salgado, Licia Domeneck

Análise da aplicação de agregado reciclado em cobertura de aterros de resíduos sólidos urbanos/ Licia Domeneck Salgado. – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2010. viii, 55 p.:il.; 29,7 cm.

Orientadores: Maria Claudia Barbosa

Alvaro Luiz G. Cantanhede

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 43-45.

1. Resíduos da Construção Civil. 2. Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. I. Barbosa, Maria Claudia *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título.

Dedico este projeto de graduação aos meus pais Mauro e Sandra por toda força e apoio que sempre dedicaram a mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço e reverencio a magnífica Energia Criadora que move o Universo e guia nossos destinos.

Aos meus pais por todo apoio e incentivo que dirigiram a mim desde os meus primeiros passos neste mundo. A toda minha família: irmã, cunhado, avós, tios, tias e primas pelo carinho que têm por mim.

Aos meus professores do Colégio Nossa Senhora Rainha dos Corações, da Escola de Ensino Fundamental e Médio Tenente Rêgo Barros, do Colégio Brigadeiro Newton Braga, do Colégio Pedro II e principalmente aos do Colégio Militar do Rio de Janeiro (CMRJ). Em especial aos professores do 3º ano do Ensino Médio do CMRJ por possibilitarem o meu ingresso na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Ao professor Severino Fonseca pela boa vontade e pelas valiosas explicações durante os primeiros períodos da faculdade.

Ao amigo Renan pela paciência e ajuda em momentos de percalços da graduação. Às minhas queridas amigas por me proporcionarem momentos tão divertidos, dançantes e risinhos. À Thaís, amiga querida, pela ajuda no inglês e por tudo o mais. Ao Marcos pela compreensão e apoio nos últimos períodos de faculdade.

À turma de Engenharia Ambiental de 2005/1 nas pessoas de Ana, Lana, Lívia, Marcelle, Adriana, Denise, Felipe, Cid, Rodrigo, Thiago, Japa, Lucas, Pelé, Bernardo, Daniel e Tiago por todas as viagens, churrascos e risadas que me proporcionaram.

À professora Iene Figueiredo por sempre ter sido tão solícita para a resolução de problemas burocráticos que me deparei na graduação. À professora Maria Cláudia Barbosa e ao professor Alvaro Cantanhede pela orientação para a realização deste projeto de graduação. À professora Kátia Monte Chiari pela compreensão e esforço para que os meus planos se concretizem.

À professora Rosane Cunha Maia Nobre da Universidade Federal de Alagoas por ter possibilitado o acesso ao modelo HELP *Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*.

À COMLURB, na pessoa de Paulo Jardim pela atenção e ajuda primorosa na disponibilização de informações para o desenvolvimento deste projeto.

À HAZTEC, na pessoa de Graciele Moreira pela disponibilização dos dados climatológicos da CTR Nova Iguaçu.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Análise da aplicação de agregado reciclado em cobertura de aterros de resíduos sólidos urbanos

Licia Domeneck Salgado

Agosto / 2010

Orientadores: Maria Claudia Barbosa
Alvaro Luiz G. Cantanhede

Curso: Engenharia Ambiental

Este trabalho tem por finalidade analisar a aplicação de agregados reciclados miúdos e graúdos, oriundos de resíduos da construção civil (RCC), em coberturas de Aterros Sanitários. O trabalho descreve o estado da arte do manejo dos RCC no município do Rio de Janeiro e práticas de reaproveitamento.

Através de uma planilha em Excel desenvolvida por Koerner e Daniel, 1997; adaptado de Thorntwaite e Mathes, 1957, pôde-se calcular o balanço hídrico simplificado de um aterro hipotético, utilizando dados de precipitação da CTR Nova Iguaçu, dados sobre as características dos agregados reciclados obtidos de dissertações de mestrado realizadas na UFRJ, dados de um solo típico para compor a cobertura do aterro, além de especificações de projeto características de um aterro de resíduos sólidos urbanos.

Ao final é feita uma comparação entre a aplicação de argila e pedra britada com a utilização de agregados reciclados como matéria prima em camadas de cobertura de aterros.

Palavras-chave: Resíduos da Construção Civil, Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos, Agregados Reciclados.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

Analysis of the application of recycled aggregates in municipal solid waste landfill covers

Licia Domeneck Salgado

August / 2010

Advisors: Maria Claudia Barbosa
Alvaro Luiz G. Cantanhede

Course: Environmental Engineering

This study aims to analyze the application of coarse and fine recycled aggregates from civil construction waste (RCC in Portuguese) in sanitary landfills. The study describes the state of the art of RCC management in the city of Rio de Janeiro (Brazil) and some practices of reuse.

A worksheet in Excel, developed by Koerner e Daniel, 1997 and adapted from Thorntwaite e Mathes, 1957, was used to make simple calculation of the water balance in a hypothetical landfill, by using precipitation data from CTR Nova Iguaçu, data about the recycled aggregates obtained from researches developed at Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), and data related to a typical soil to compose the landfill cover, besides the characteristic configuration adopted in the design of MSW landfill covers.

In the end, a comparison is made between conventional clay and natural aggregates performance and the use of recycled aggregates as construction materials in landfill cover layers.

Keywords: Civil Construction Waste, Sanitary Landfills, Recycled Aggregate.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	JUSTIFICATIVA	2
3	OBJETIVOS GERAIS.....	3
	3.1 Objetivos Específicos	3
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
	4.1 Os Resíduos da Construção Civil	4
	4.2 Panorama do Manejo dos Resíduos da Construção Civil no Município do Rio de Janeiro	6
	4.3 Arcabouço Legal.....	10
	4.4 Cobertura de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos.....	17
	4.5 Balanço Hídrico	18
5	METODOLOGIA.....	19
6	CÁLCULOS DO BALANÇO HÍDRICO.....	20
	6.1 Modelo de Cálculo e Parâmetros Adotados.....	20
	6.2 Camada Superficial	25
	6.3 Camada de Drenagem de Águas Pluviais	31
	6.4 Camada de Barreira Mineral.....	32
	6.5 Camada de Drenagem de Gases.	35
7	PROBLEMAS POTENCIAIS DA APLICAÇÃO.....	38
8	ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	40
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
10	ANEXOS.....	46
	Anexo 1.....	46
	Anexo 2.....	51
	Anexo 3.....	53
	Anexo 4.....	55

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a maneira mais viável economicamente de dispor os resíduos sólidos urbanos é através da disposição em aterros sanitários. É importante ressaltar a grande diferença que existe entre os chamados lixões e estes aterros. No primeiro, basicamente não há qualquer controle para minimização dos efeitos da poluição: o chorume percola livremente pelo solo, podendo atingir o lençol freático da região, há a presença de vetores e animais que podem causar problemas para a saúde da população do entorno e muitas vezes ainda há catadores de materiais recicláveis entre os resíduos.

Já nos aterros sanitários, existe a preocupação com o “envelopamento” desses resíduos, para evitar a contaminação do meio ambiente. É feito um revestimento de fundo em cada célula antes do início de sua operação. Neste revestimento há uma camada para drenagem dos líquidos percolados além de outra impermeável, que tem a função de diminuir drasticamente a passagem desses líquidos para o solo natural. Ao final da operação de cada célula é feita uma cobertura que tem a função de diminuir a entrada de águas de chuva na camada de resíduos, que, portanto, diminui a produção de chorume.

A proposta deste trabalho é analisar a aplicação de agregados reciclados miúdos e graúdos, provenientes dos resíduos da construção civil (RCC), na camada de cobertura dos aterros sanitários. Esta é uma forma de destinar corretamente uma grande parte dos RCCs, além de obter uma utilização para esta fração de resíduos. Vale ressaltar que a não utilização do RCC nessas camadas implica na extração de solo natural para aplicação na cobertura dos aterros sanitários.

As principais aplicações dos agregados reciclados de RCC são em pavimentação, base e sub-base ou em elementos construtivos (concreto não-estrutural, argamassa, tijolos). A literatura sobre estas aplicações é bastante extensa, e atualmente já existem normas de utilização do RCC em vários países relacionadas a estes dois tipos de aplicação. Para as construtoras, provavelmente a melhor aplicação é o uso em elementos construtivos nas próprias obras ou na construção de acessos e ruas. Estas aplicações, no entanto, embora importantes, não irão esgotar totalmente a produção do RCC que hoje é gerado nas cidades brasileiras. (BARBOSA *et al*, 2008)

A classificação dos materiais granulares para uso em construção civil, assim como as condições para aplicação, é definida pela ABNT na norma NBR 7.225 (1993) – *Materiais de pedra e agregados naturais*. Segundo essa norma o agregado é um

“material natural de propriedades adequadas ou obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm.” O agregado graúdo portanto tem o seu diâmetro variando de 4,8 mm a 100 mm e a agregado miúdo de 0,075 a 4,8 mm.

Ao longo do trabalho foi utilizada uma planilha em Excel desenvolvida por Koerner e Daniel, 1997 para o cálculo do balanço hídrico para a camada de cobertura. A planilha de cálculo representa um método de cálculo manual desenvolvido pelos autores com base em três trabalhos: Thornthwaite e Mather (1957), Fenn *et al* (1975) e Kmet (1982).

Utilizando-se os agregados reciclados (miúdo e graúdo) e materiais naturais (argila e pedra britada) pôde-se comparar a utilização de um e de outro. Ao final, foi feita uma análise crítica da aplicação desses materiais levando-se em conta os pontos de vista técnico e ambiental.

2 JUSTIFICATIVA

Pequenas quantidades de Resíduos da Construção Civil são produzidas todos os dias. Quando há um evento catastrófico como uma grande enchente ou um terremoto, por exemplo, há uma geração em larga escala desses resíduos.

Os RCC são popularmente chamados de “entulho” e segundo o jornal “O GLOBO” de 16/07/10, estima-se que metade do que é gerado no Rio de Janeiro, é despejada irregularmente. A figura 1 mostra um exemplo de disposição irregular na margem de um rio.



Figura 1: Foto do Final do Canal do Anil – Jacarepaguá / Rio de Janeiro

Fonte: VALE, Ana Cristina Rodrigues. 2006.

A utilização desses resíduos em camadas de cobertura de Aterros Sanitários traz mais uma alternativa de reaproveitamento dos RCC. Além disso, contribui com a diminuição de extração de solo natural para o recobrimento dos resíduos sólidos urbanos.

3 OBJETIVOS GERAIS

Este projeto de graduação tem por objetivo fazer uma análise técnica e ambiental da aplicação de agregados reciclados de resíduos da construção civil (RCC) em camadas de cobertura de Aterros Sanitários.

Os agregados reciclados, de acordo com a resolução CONAMA nº 307/02, são os resíduos **classe A**, oriundos de solos, concretos, cerâmicas, pedras e argamassas provenientes de resíduos de construção civil. Estes são previamente tratados a fim de se obter o agregado reciclado miúdo e graúdo de acordo com a granulometria requerida.

3.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos que este trabalho se propõe a atender estão listados a seguir:

- Contextualizar o manejo dos resíduos da construção civil no município do Rio de Janeiro;
- Avaliar a influência no balanço hídrico da aplicação dos agregados reciclados de RCC em sistema de cobertura de Aterros Sanitários, comparando com a aplicação de argila e pedra britada;
- Analisar a viabilidade técnica de aplicação dos agregados reciclados em sistema de cobertura de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Os Resíduos da Construção Civil

Os resíduos da construção civil (RCCs) são oriundos de reformas, demolição ou construção de edificações. Os RCCs são compostos principalmente por resíduos de concreto e argamassas e material cerâmico (tijolos, pisos, azulejos), mas incluem também material metálico, madeira, vidros, plásticos, fios, gesso, papel/papelão, bem como tintas, solventes e vernizes (que podem ser considerados resíduos perigosos).

Assim, para um melhor aproveitamento e destinação adequada é preciso, primeiramente, separar os resíduos inservíveis e principalmente os perigosos dos resíduos recicláveis. E dentro do grupo dos recicláveis existem resíduos que podem ser aproveitados em outras destinações, como a madeira, o ferro e o vidro, e os materiais minerais e cerâmicos que podem ser reaproveitados em obras civis após beneficiamento. Este último grupo é o que tem maior interesse prático, e que dá origem aos agregados reciclados de RCCs. (BARBOSA *et al*, 2008)

Os agregados oriundos de resíduos da construção civil podem ser divididos em dois grupos: os agregados miúdos e os graúdos como foi mencionado no capítulo 1.

Segundo BARBOSA *et al* (2008), os agregados graúdos analisados por AFFONSO (2005) apresentaram condutividade hidráulica horizontal média de $2,5 \times 10^{-2}$ m/s e vertical média de 8×10^{-2} m/s. Os ensaios mecânicos mostraram que este tipo de agregado apresenta uma deformação específica de 12% sob a carga equivalente a uma pilha de 100 metros de altura, sem alterar significativamente a permeabilidade.

Já BARROS (2005) analisou os agregados miúdos. Esses apresentaram características físicas, mecânicas e hidráulicas de um material granular, com peso específico aparente seco máximo de $1,93\text{g/cm}^3$ para umidade ótima de 13,5%, permeabilidade da ordem de 10^{-7} m/s e um ângulo de atrito interno de 35° . Segundo BARBOSA *et al* (2008), este material pode ser utilizado como um componente interno de um sistema de cobertura de aterros de resíduos. Devido ao seu comportamento erodível, embora não dispersivo, não é recomendado como camada externa do sistema de cobertura, ou seja, na camada superficial.

O processo de beneficiamento dos RCCs

Um exemplo de como o processo de beneficiamento do RCC pode ser desenvolvido é o que era realizado na antiga Usina de Reciclagem da Arcano Arquitetura e Engenharia de 2003 a 2005, no Rio de Janeiro. Segundo Barbosa *et al* (2008) este processo compreendia quatro etapas básicas:

- Triagem e separação de materiais inservíveis
- Homogeneização
- Britagem
- Separação por peneiramento

A primeira etapa era iniciada por uma inspeção visual superficial no interior da caçamba na chegada dos caminhões. Aqueles que eram aceitos eram encaminhados para a área de triagem, onde todo o material era basculado. A seguir a pá carregadeira espalhava todo o material em uma camada de cerca de 10 cm, para remoção de resíduos considerados inservíveis para o processo de beneficiamento do RCC, tais como papel, plástico, papelão, vidro, madeira, metais, gesso e orgânicos. Os materiais considerados inservíveis eram então encaminhados ao aterro sanitário.

Para melhor homogeneizar o material, foi preparada uma área de 10 metros de largura por 200 metros de comprimento. Neste local o material selecionado para britagem era empilhado.

Para britagem a Usina da Arcano utilizava um britador de mandíbula cuja saída era acoplada a um sistema de peneiras.

Eram geradas três pilhas na Usina da Arcano: areia reciclada e agregado de número zero (agregado reciclado miúdo) e mistura de agregados de número 1 a 4 (agregado reciclado graúdo). A correspondência destes agregados com a abertura de peneiras obedece a NBR 7211 (ABNT), que especifica uma faixa granulométrica para cada graduação de pedra. Pela norma, as britas 1, 2, 3 e 4 podem variar de diâmetro entre 4,8 a 12,5; 12,5 a 25; 25 a 50 e 50 a 76 mm respectivamente.

O material gerado por esse processo de beneficiamento foi o estudado por AFFONSO (2005) e BARROS (2005). Os resultados de condutividade hidráulica encontrados nesses estudos foram os utilizados no presente projeto de graduação.

4.2 Panorama do Manejo dos Resíduos da Construção Civil no Município do Rio de Janeiro

Com base no 1º semestre de 2010 foram coletados na cidade do Rio de Janeiro em torno de 300.000 ton/mês de resíduos sólidos (COMLURB, 2010). Dessa quantidade, cerca de 80% eram **resíduos sólidos urbanos** que engloba o **domiciliar** coletado porta a porta e o **público** proveniente da varrição dos logradouros. Os **resíduos da construção civil** contribuíram com 6% no total de resíduos sólidos coletados. O gráfico 1 ilustra os percentuais de resíduos sólidos coletados nesta cidade.

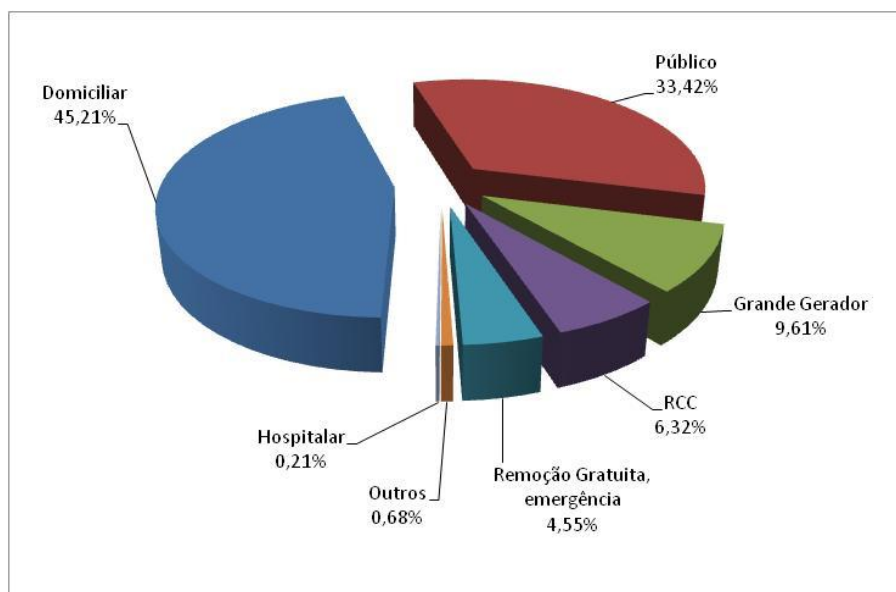


Gráfico 1: Resíduos coletados por mês no município do Rio de Janeiro com base no 1º semestre de 2010.

Fonte: COMLURB, 2010.

De acordo com a Resolução CONAMA 307/02, os RCCs não devem ser dispostos em aterros sanitários, pois são resíduos muito volumosos e podem ser dispostos em aterros com menos exigências técnicas como determina a NBR 15.113/2004 comentada no item 4.3.

Porém a sua disposição em aterros deve ser uma alternativa adotada quando se esgotam as possibilidades de reaproveitamento desses resíduos. Após seu beneficiamento eles podem ser utilizados na própria construção civil, em pavimentação, terraplanagem e em sistema de cobertura de aterros sanitários.

Há relatos de que desde a década de 80 o Brasil vem realizando experiências de aplicação do resíduo de construção civil como material de pavimentação, porém sem estudos sistemáticos e monitoramentos periódicos. No início da década de 90, foi instalada a primeira recicladora no país pela Prefeitura do Município de São Paulo. (ABDOU e BERNUCCI, 2006)

Segundo reportagem publicada no Jornal O GLOBO de 16/07/10, a Secretaria Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro anunciou a implantação de 110 unidades de recebimento de RCC na Região Metropolitana. A maior parte desses pontos deve ser instalada na Baixada Fluminense, região onde a questão da disposição inadequada é ainda mais grave.

Em março de 2004 estavam em operação 42 pontos de recepção de entulho (ecopontos) na cidade do Rio de Janeiro (NUNES, 2004). Desses, 35 eram na Zona Oeste e 7 na Zona Norte. Hoje esses pontos têm utilização diversa, como por exemplo, a recepção de pneus e materiais recicláveis (COMLURB, 2010). Em muitos deles ainda há caixas abertas de 5 m³ para a recepção de RCC, de forma a minorar a questão do vazamento irregular de entulho em áreas públicas ou privadas.

Segundo o Engenheiro Paulo Jardim, coordenador de gestão estratégica da Diretoria Técnica e Industrial da COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro, na capital do Estado há três áreas de reservação de Resíduos da Construção Civil. Uma localiza-se no bairro de Inhaúma, outra em Senador Camará, ambas em antigas pedreiras sendo administradas pela iniciativa privada, e uma outra no Km 0 da rodovia Washington Luiz em Cordovil, localizada em instalações da COMLURB.

O Município do Rio de Janeiro possui ao todo seis Unidades de Processamento de Resíduos Sólidos sob responsabilidade da COMLURB, sendo a unidade de Gramacho localizada no município de Duque de Caxias e todas as outras cinco no próprio Município. Atualmente encontra-se em fase de licenciamento ambiental a construção de um novo Aterro Sanitário no município de Seropédica, pois o aterro de Gramacho encontra-se ao fim de sua vida útil.

Abaixo estão listadas as Unidades de Processamento de Resíduos Sólidos que estão sob responsabilidade da COMLURB:

1. **Usina de Irajá:** usina de triagem de recicláveis e estação de transferência;
2. **Usina do Cajú:** usina de triagem de recicláveis, compostagem natural e estação de transferência;

3. **Jacarepaguá:** estação de transferência;
4. **ATT Missões:** estação de transferência e triagem;
5. **Gericinó:** Aterro Sanitário;
6. **Gramacho:** Aterro Controlado.

Ainda segundo Paulo Jardim, a instalação de Cordovil no km 0 da rodovia Washington Luiz (ATT Missões - Av. das Missões, 250) recebe resíduos da construção civil, com uma média histórica de cerca de 1.000 ton/dia, provenientes da coleta de RCC da COMLURB e de empresas e autônomos credenciados pela COMLURB para a coleta de resíduos inertes. Nessa instalação é efetuada uma separação visual em duas frações de acordo com a granulometria dos RCC e outra fração de materiais recicláveis (sucata ferrosa, madeira, etc).

A ATT Missões é uma Área de Transbordo e Triagem. Transbordo tem o mesmo significado de estação de transferência, onde os resíduos são despejados por caminhões que fizeram a coleta na cidade. Neste local, outros caminhões de maior porte recolhem os resíduos e os transferem para seu destino final. No caso da ATT Missões os RCCs podem ser levados para esta área sem que nenhuma taxa seja cobrada.

As frações de RCC que passam pela triagem manual nessa área são encaminhadas para aproveitamento na operação do aterro de Gramacho, onde são utilizadas nas vias de acesso, praças de vazamento e na cobertura dos resíduos. Da mesma forma, a madeira é retirada pela Cerâmica Marajó, de Tanguá, evitando a queima de combustíveis fósseis ou de mata nativa na produção de cerâmica. A sucata ferrosa e outros recicláveis são aproveitados por catadores da região, gerando emprego e renda.

Os aterros da COMLURB, conforme legislação municipal, somente recebem agregados reciclados que possam ser utilizados na operação dos mesmos (sub-bases e bases de pistas e praças de trabalho e outras utilizações).

Uma alternativa a ser considerada na gestão dos RCCs é o estabelecimento de Parcerias Público-Privadas (PPPs) entre o órgão municipal de limpeza urbana e empresas que administrem antigas pedreiras, pois estes locais, em geral, são adequados para a disposição desses resíduos.

Segundo DANTAS (2008) as ações conjuntas dos entes federados com a iniciativa privada através dessas PPPs é importante, pois mesmo que municípios reúnam esforços e recursos para resolverem seus problemas em comum, em algumas

situações se faz necessária a captação de investimentos privados para tornar viáveis os empreendimentos. A Parceria Público-Privada é o contrato administrativo de **concessão**, na modalidade **patrocinada** ou **administrativa**, regulamentada pelo Decreto-lei nº 11.079 de 30/12/2004.

A concessão patrocinada é a concessão de serviços públicos ou de obras públicas de que trata a Lei no 54 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, quando envolver, adicionalmente à tarifa cobrada dos usuários, contraprestação pecuniária do parceiro público ao parceiro privado. A concessão administrativa é o contrato de prestação de serviços em que a Administração Pública será a usuária direta ou indireta, ainda que envolva execução de obra ou fornecimento de bens.

É vedada a celebração de contrato de parceria público-privada nos seguintes casos:

I – cujo valor do contrato seja inferior a R\$ 20.000.000,00 (vinte milhões de reais);

II – cujo período de prestação do serviço seja inferior a 5 (cinco) anos;

III– que tenha como objeto único o fornecimento de mão-de-obra, o fornecimento e instalação de equipamentos ou a execução de obra pública.

Segundo Jardim, existem dois aterros de inertes no município do Rio de Janeiro licenciados pelo INEA sob responsabilidade da iniciativa privada, ambos são antigas pedreiras. Esses se localizam nos seguintes endereços:

1. Emasa Mineração S/A

Avenida de Santa Cruz, 7333 - Senador Camará

Rio de Janeiro / RJ

2. Pedreira Nacional de Inertes,

Estrada Velha da Pavuna, 3.686 – Inhaúma

Rio de Janeiro / RJ

Como foi visto, os agregados reciclados já são utilizados pela COMLURB em camadas de cobertura de aterros. Este trabalho apresenta então um estudo do comportamento hidrológico desses resíduos, devidamente pré-tratados, em sistemas de cobertura de aterros sanitários.

4.3 Arcabouço Legal

Legislação Federal sobre Resíduos Sólidos

A legislação é um importante instrumento que a sociedade possui. Aqui são apresentadas duas leis de relevância para o tema dos resíduos sólidos no Brasil.

- Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.

De acordo com esta lei em seu Art 3º o manejo dos resíduos sólidos urbanos está incluído nos serviços de saneamento básico, pois ela diz:

Saneamento básico: conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de:

a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;

c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas;

- Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências.

Esta lei foi aprovada em 07 de julho de 2010 pelo Senado Federal e sancionada no dia 02 de agosto do mesmo ano pelo Presidente Lula.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos os resíduos sólidos são classificados de acordo com sua origem de seguinte maneira:

a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;

b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;

d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;

e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;

f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;

g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA

O CONAMA apresenta duas importantes resoluções na área de resíduos listadas a seguir:

- RESOLUÇÃO CONAMA n° 404, de 11 de novembro de 2008. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

Esta resolução estabelece os procedimentos de licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte para que sejam realizados de forma simplificada.

Para efeito desta Resolução são considerados aterros sanitários de pequeno porte aqueles com disposição diária de até 20 t (vinte toneladas) de resíduos sólidos urbanos.

- RESOLUÇÃO CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

Esta resolução tem grande relevância na gestão dos RCC e encontra-se na íntegra no anexo 1. Ela divide os resíduos da construção civil em quatro classes, descritas a seguir:

- *Classe A:* Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (solos, concretos, cerâmica, pedras e argamassa);
- *Classe B:* São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeira e outros;
- *Classe C:* São os resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas técnicas ou aplicações economicamente viáveis. Ex.: produtos oriundo de gesso;
- *Classe D:* São resíduos perigosos: tintas, solventes, óleos e outros contaminados com estes e outros materiais perigosos.

A proposta deste trabalho é analisar a aplicação de resíduos classe A de RCC, especificamente os agregados miúdos compactados e os agregados graúdos, em sistemas de cobertura de Aterros Sanitários. Esses agregados devem ser provenientes de Usinas de Reciclagem de RCC, onde é feita uma triagem do material e separação de acordo com as classes mencionadas acima, tornando o RCC classe A um material viável comercialmente.

Legislação Estadual sobre Resíduos Sólidos

- Lei nº 4.191, de 30 de setembro de 2003. Dispõe sobre a política estadual de resíduos sólidos e dá outras providências.

Esta lei estabelece alguns instrumentos para seu cumprimento além de direcionar o órgão responsável pelo licenciamento das atividades de manejo dos resíduos e pela fiscalização. Estabelece infrações e penalidades, orienta a educação ambiental e enfatiza a importância do apoio técnico e científico.

- Lei nº 4.943, de 20 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a implantação de aterros sanitários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Esta lei determina que o Poder Executivo, através de seu órgão competente, elabore o Plano Diretor Metropolitano de Resíduos Sólidos, nos termos das diretrizes contidas na Lei 4.191/03.

- IT-1.302.R-1 – Instrução Técnica para Requerimento de Licenças para Aterros Sanitários. Aprovada pela Deliberação CECA nº 3.326 de 29/11/94.

Esta instrução técnica define a documentação que deverá ser apresentada ao órgão ambiental do Estado, por ocasião dos Requerimentos de Licença Prévia – LP, Licença de Instalação – LI e Licença de Operação – LO para a disposição em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP.

- Lei nº 5.101, de 04 de outubro de 2007. Dispõe sobre a criação do Instituto Estadual do Ambiente – INEA e sobre outras providências para maior eficiência na execução das políticas estaduais de meio ambiente, de recursos hídricos e florestais.

Esta lei cria o órgão ambiental do Estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) que unifica e amplia a ação de três órgãos ambientais vinculados à Secretaria de Estado do Ambiente (SEA): a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (Feema), a Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (Serla) e o Instituto Estadual de Florestas (IEF). O INEA é o órgão responsável por expedir as licenças ambientais de atividades potencialmente poluidoras que pretendam se instalar no território do estado. O Aterro Sanitário está incluído nesse tipo de atividade.

- Lei nº 4.829 de 30 de agosto de 2006. Institui a política de reciclagem de entulhos de construção civil e dá outras providências.

Esta lei tem como objetivo incentivar o uso, a comercialização e a industrialização de materiais recicláveis, que resultem principalmente em reaproveitamento na construção de casas populares.

Legislação Municipal do Rio de Janeiro sobre Resíduos Sólidos

- Resolução SMAC nº 387 de 24 de maio de 2005. Disciplina a apresentação de projetos de gerenciamento de resíduos da construção civil – RCC.

Esta resolução da Secretaria Municipal de Meio Ambiente atende às orientações contidas na Resolução CONAMA 307/02 disciplinando a apresentação de projetos de gerenciamento de RCC para grandes geradores.

- Decreto nº 27.078 de 27 de setembro de 2006. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e dá outras providências.

Este decreto também vem atender às instruções contidas na Resolução CONAMA 307/02, que estabelece o Município como responsável pela elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de RCC.

- Lei nº 519, de 16 de abril de 1984. Proíbe a existência de aterros sanitários e depósitos de lixo a céu aberto, nas condições que menciona, e dá outras providências.

Esta lei proíbe a existência de depósitos de lixo que não se situem a uma distância mínima de um quilômetro de áreas residenciais. Os Aterros Sanitários cujos projetos sejam elaborados de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e aprovados pelo órgão estadual de controle do meio ambiente estão excluídos desta proibição.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT

A Associação Brasileira de Normas Técnicas possui uma série de Normas voltadas para o tema resíduo. Essas normas não têm caráter de lei, elas estabelecem as especificações técnicas que devem ser seguidas em um projeto. Abaixo seguem listadas essas normas:

- NBR 8.849 (1985) - Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.
- NBR 8.419 (1992) - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.
- NBR 7.225 (1993) – Materiais de pedra e agregados naturais – Terminologia. Padroniza as faixas de tamanho dos agregados.
- NBR 6.502 (1995) – Rochas e Solos.
- NBR 13.896 (1997) - Aterros de resíduos não perigosos. Critérios para projetos, implantação e operação. Procedimento.
- NBR 15.112/2004 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos. Áreas de Transbordo e Triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação.

Segundo AFFONSO (2005), de acordo com esta Norma, deve-se dispor de dados estatísticos da operação, e a área deve ser dotada de proteções para evitar ruídos e poeira. Sistemas de drenagens superficiais devem ser feitos para evitar o

carreamento de materiais. Para a licença de instalação e operação, são requeridos vários dados sobre a vizinhança, plantas topográficas, metodologias de manejo e lay out. O ingresso de qualquer material deve ser precedido por um documento denominado CTR - Controle de Transporte de Resíduos, onde o nome do transportador, nome do gerador e endereço de coleta, volume, quantidade e descrição do material predominante são apresentados.

- NBR 15.113/2004 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação.

De acordo com AFFONSO (2005) os procedimentos desta norma apresentam uma quantidade de exigências muito similar a aterros sanitários, com exceção do *liner* e impermeabilização de fundo, que neste caso não é uma exigência, mas deixa claro que não deverá haver contaminação das águas subterrâneas. A avaliação preliminar deverá prever o mínimo de impacto ambiental na circunvizinhança. Requer a aceitação do projeto por parte dos moradores do local. Requer também que o projeto esteja de acordo com a legislação de uso do solo e com a legislação ambiental. Estudos geológicos, hidrológicos e de vegetação devem ser considerados ainda na fase de escolha do local. Vias de acesso, distância dos núcleos habitacionais, área, volume e vida útil do aterro também são importantes. Toda a área deverá ser cercada, iluminada e dotada de sistema de comunicação para casos de emergência.

Ainda segundo AFFONSO (2005), a área de aterro poderá ter como destino futuro o reaproveitamento de todo o material estocado com o reuso ou ser utilizada, após atingido o limite de estocagem, como praça, condomínios etc. Após a licença de operação – LO, todo o material que for direcionado para o aterro deverá ser submetido a uma triagem, para separação dos materiais de classes A,B,C e D (de acordo com a resolução CONAMA 307/02). Os materiais A serão então direcionados para o aterro, enquanto os outros serão redirecionados para locais adequados. Todo o material deverá ser segregado dentro do aterro.

- NBR 15.114/2004 - Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de Reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação.

Esta Norma trata especificamente de áreas de reciclagem. Ela apresenta parâmetros bastante genéricos e gerais. Acredita-se que isso ocorre justamente para se criar facilidades de implantação para este tipo de usina. (AFFONSO, 2005)

- NBR 15.115/2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos.

Esta é uma norma pioneira, realizada pela ABNT de São Paulo. Participaram da sua elaboração, além de empresas privadas, as prefeituras de São Paulo e Santos, o Sinduscom-SP e a Escola Politécnica de São Paulo. Portanto, os debates não contaram com a contribuição de outros estados que trabalham com este tema. Essa norma estabeleceu alguns critérios para o uso deste material em camadas de pavimentação. (AFFONSO, 2005).

- NBR 15.116/2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Requisitos.
- NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos, Classificação.

De acordo com esta norma os resíduos são classificados em:

- Classe I - Perigoso
- Classe II - Não Perigoso
 - IIA – Não Inertes
 - IIB – Inertes

Uma parte dos RCCs (classe A de acordo com a Resolução CONAMA 307/02) pode ser considerada de classe IIB por esta norma, pois esses resíduos não são perigosos e os seus elementos constituintes, quando solubilizados, não atingem concentrações significativas para causar danos à saúde pública.

- NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimentos.
- NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimentos.
- NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimentos

4.4 Cobertura de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos

O sistema de cobertura de um Aterro Sanitário consiste em diversas camadas de solo. Este sistema tem a finalidade de diminuir a percolação vertical de águas de chuvas e, conseqüentemente, a lixiviação de poluente. Além disso, serve também para minimizar a dispersão de substâncias orgânicas voláteis para a atmosfera, tais como compostos organoclorados, que são nocivas à saúde pública (NOBRE *et al*, 1993). A cobertura deve então desempenhar as seguintes funções:

- Controlar a erosão superficial pelo vento e pela chuva;
- Prevenir o contato direto do rejeito com vetores e animais ;
- Diminuir a infiltração de água da chuva para dentro da massa de resíduos;
- Direcionar o escoamento superficial;
- Minimizar as trocas gasosas entre o rejeito e atmosfera.

As camadas que compõem este sistema irão variar de acordo com o tipo de aterro. Um perfil típico de sistema de cobertura inclui uma camada superficial, dreno para águas pluviais, camada de barreira e dreno para gases.

A Camada Superficial fica em contato com o ar e é constituída de um solo de proteção vegetado. Ela tem como principal função proteger as camadas inferiores da ação direta e dos efeitos das intempéries como chuva, ventos e radiação solar. A vegetação irá auxiliar na prevenção da erosão, além de diminuir a perda de umidade no solo. O uso da gramínea é mais indicado, pois sua raiz tem pouca profundidade já que a raiz da vegetação não pode atingir as outras camadas do sistema, principalmente a pilha de rejeito. A raiz de uma gramínea chega apenas a 15 cm.

É indicado que um filtro Geotêxtil seja inserido entre a camada superficial e a próxima camada para evitar a colmatção do dreno.

A Camada de dreno lateral para água de chuva é composta por um pedregulho fino. Ela tem a função de escoar as águas de chuvas que vierem a percolar por entre a camada superficial. Os materiais com função de drenagem devem ter permeabilidade elevada e baixa ou nenhuma reatividade, para que não ocorra colmatção dos poros e degradação do sistema com o tempo.

A Camada de Barreira deve ser composta por um material de permeabilidade baixa e alta reatividade. As principais funções da camada de barreira do sistema de cobertura são a interceptação da água da chuva para minimizar a infiltração para os rejeitos e prevenir as emissões de gases para a atmosfera.

Logo abaixo da camada de barreira é indicado que seja inserido um filtro geotêxtil. Esse filtro retém os grãos da camada de barreira acima dele, não permitindo que esses grãos entrem na camada de drenagem de gases o que ocasionaria um problema no desempenho da função dessa camada.

A camada de drenagem de gases deve ser composta por um material muito permeável. Esse horizonte do sistema de cobertura tem a função de captar os gases direcionando-os para um sistema de tratamento. Esse tratamento pode ser o aproveitamento do biogás para geração de energia ou sua simples queima que converte o gás metano em gás carbônico reduzindo o potencial de efeito estufa do biogás. Essa camada também evita um aumento na pressão no interior da massa de resíduos pelo gás aprisionado.

4.5 Balanço Hídrico

O balanço hídrico do sistema de cobertura de um aterro faz a estimativa da quantidade de água que irá percolar para a massa de resíduos e conseqüentemente vai contribuir para a produção de chorume.

A partir de dados de temperatura, luz solar média mensal, precipitação, coeficiente de runoff e características do solo considerado, o balanço hídrico fornece os valores de escoamento superficial, evapotranspiração, quantidade de água armazenada no solo e finalmente o fluxo de percolação para a pilha de rejeito.

5 METODOLOGIA

Este trabalho se propõe a fornecer meios comparativos entre a aplicação de agregados reciclados miúdos (compactados) e graúdos de RCC e a aplicação de argila e pedra britada nº 5 em camadas de cobertura de aterros sanitários.

Utilizando informações sobre o manejo e reaproveitamento desses resíduos na cidade coletadas diretamente junto à Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB, pôde-se traçar o panorama da gestão dos resíduos da construção civil no município do Rio de Janeiro.

O balanço hídrico da aplicação desses materiais beneficiados utilizou dados climatológicos fornecidos pela Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu operada pela Haztec. Os dados descritivos dos agregados reciclados foram obtidos a partir duas teses de mestrado: AFFONSO (2005) e BARROS (2005). Os dados de argila e de pedra britada nº 5 foram estimados de acordo com as características de um e de outro.

Os dados descritivos de projeto foram adotados de forma a permitir uma comparação entre as duas simulações.

Com o auxílio da planilha em Excel desenvolvida por Koerner e Daniel, 1997; adaptado de Thorntwaite e Mathes, 1957, pode-se estudar o comportamento hidrológico para o sistema de cobertura proposto. Esta planilha faz uma análise simplificada do balanço hídrico de acordo com as características do material e de projeto além das condições meteorológicas fornecidas na entrada de dados.

Os resultados obtidos foram analisados sob os pontos de vista técnico e ambiental.

6 CÁLCULOS DO BALANÇO HÍDRICO

6.1 Modelo de Cálculo e Parâmetros Adotados.

O cálculo do balanço hídrico foi feito através da planilha em Excel desenvolvida por Koerner e Daniel, 1997; adaptado de Thorntwaite e Mathes, 1957. Esta planilha faz uma análise simplificada do balanço hídrico de acordo com as características do material e de projeto além das condições meteorológicas como precipitação, temperatura e luz solar média mensal.

Existem outros modelos usados para o cálculo do balanço hídrico como, por exemplo, o programa HELP - *Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*, desenvolvido por Schroeder *et al.* (1988). Este é um modelo determinístico quasi-bidimensional que estima os diversos componentes do balanço hídrico de um aterro, utilizando como valores de entrada dados climatológicos, dados sobre as características do solo que compõe o aterro e especificações do projeto. Com esses dados o programa executa uma análise diária de fluxo d'água através das diversas camadas que compõem o aterro e fornece o balanço hídrico diário, mensal, anual e de longa duração. (NOBRE *et al.*, 1993)

Nos dois modelos de cálculo do balanço hídrico não é considerada a influência do comportamento hidráulico não saturado do solo, pois quanto menos saturado estiver, menos permeável ele será devido ao efeito de sucção.

No presente trabalho foram considerados dois projetos para o cálculo do balanço hídrico. O Projeto 1 utilizando dados de agregados reciclados miúdos compactados como material de barreira mineral e com os dados de agregados reciclados graúdos na drenagem de gases. Para o Projeto 2 utilizou-se dados de argila compactada na barreira mineral e dados de pedra britada nº5 para drenagem de gases. Os mesmos dados climatológicos foram utilizados em ambas as situações, assim como as características de projeto.

A localização considerada foi a cidade de Nova Iguaçu, um dos 17 municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, onde está localizada a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Nova Iguaçu operada pela empresa Haztec. Esse empreendimento é um dos 7 Aterros Sanitários existentes no Estado. Nele foram realizadas pesquisas da tese de mestrado de AFFONSO (2005) a respeito do desempenho da aplicação dos agregados reciclados graúdos em drenagem de chorume.

Os valores de precipitação usados no presente trabalho foram obtidos junto à Haztec, da estação meteorológica da CTR de Nova Iguaçu, para um ano hidrológico (junho de 2009 a maio de 2010) que podem ser observados no anexo 3.

Para efeito de cálculo foi considerada uma célula de um aterro hipotético com as dimensões de acordo com a figura 2.

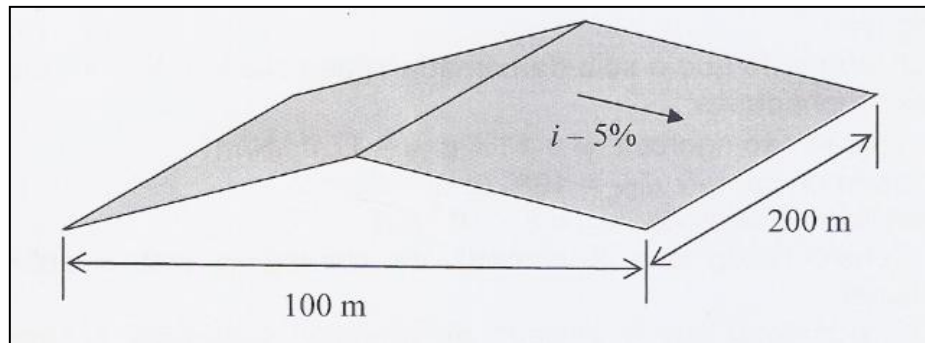
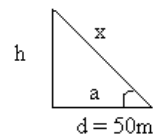
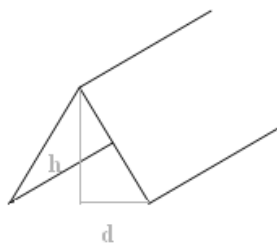


Figura 2: Dimensões da célula do aterro considerado.

Fonte: BARBOSA, 2009.

Para os cálculos de balanço hídrico é essencial que seja calculado o comprimento lateral de um lado da cobertura, assim como a área total.



$$i = 5\%$$

$$\frac{h}{d} = 0,05 \quad \therefore h = 0,05 \times 50 = 2,5 \text{ m}$$

$$d^2 + h^2 = x^2 \quad x = 50,06 \text{ m}$$

Como a largura (W) = 200m

Temos a área de um lado da cobertura:

$$\text{Área (A)} = 200 \times 50,06 = 10.012 \text{ m}^2$$

Portando a área total do aterro será: $A_t = 2 \times 10.012 = 20.024 \text{ m}^2$

Foram estudados dois tipos de projeto, cujas considerações são descritas a seguir:

Projeto 1- agregados reciclados:

- Uso de agregado reciclado miúdo compactado na camada de barreira;
- Uso de agregado reciclado graúdo na camada de drenagem de gases.

Projeto 2 – materiais naturais:

- Uso de argila compactada na camada de barreira;
- Uso de pedra britada nº5 na camada de drenagem de gases.

Os materiais utilizados em ambos os projetos foram:

- Solo de textura média siltosa para a camada superficial;
- Pedregulho fino para a drenagem lateral;
- Geotêxtil para filtro entre camadas, considerado permitindo a passagem de todo o fluxo de água, portanto não foi dimensionado, retendo apenas os grãos do solo que se encontram acima deste.

A tabela 1 apresenta um resumo dos parâmetros adotados para cada material.

Tabela 1: Resumo dos parâmetros adotados.

Materiais	Coefficiente de Permeabilidade (m/s)	Espessura da Camada (m)
Solo de proteção ¹	-	0,3
Pedregulho fino	$5,00 \times 10^{-3}$	0,3
Agregado miúdo compactado	$2,28 \times 10^{-7}$	0,3
Argila	$2,00 \times 10^{-9}$	0,3
Agregado graúdo	$8,00 \times 10^{-2}$	0,4
Pedra britada nº 5	$1,00 \times 10^{-1}$	0,4

Os valores utilizados do coeficiente de permeabilidade para o pedregulho fino, argila e pedra britada foram os usualmente adotados. O valor para o agregado reciclado miúdo compactado foi retirado de BARROS (2005) e o de agregado reciclado graúdo foi extraído de AFFONSO (2005).

Como este projeto de graduação tem a proposta de obter meios comparativos entre a aplicação da argila e do agregado miúdo, portanto optou-se por não inserir uma geomembrana acima da barreira mineral. Essa geomembrana diminuiria drasticamente a entrada de águas pluviais na barreira mineral e não se conseguiria fazer uma comparação consistente.

Além da comparação entre argila e agregado miúdo foi feita uma comparação da aplicação entre agregado graúdo e pedra britada na camada de drenagem de gases. A comparação foi no aspecto de passagem de líquidos nessa camada. Não é interessante que ela sature de águas pluviais porque isso impediria o desempenho de sua função que é drenar gases. Esse problema seria resolvido com a aplicação de uma geomembrana acima da barreira mineral.

As figuras 2 e 3 permitem uma visualização das camadas dos dois projetos com seus respectivos materiais.

¹ Outros parâmetros foram adotados como pode ser visto no item 6.2.

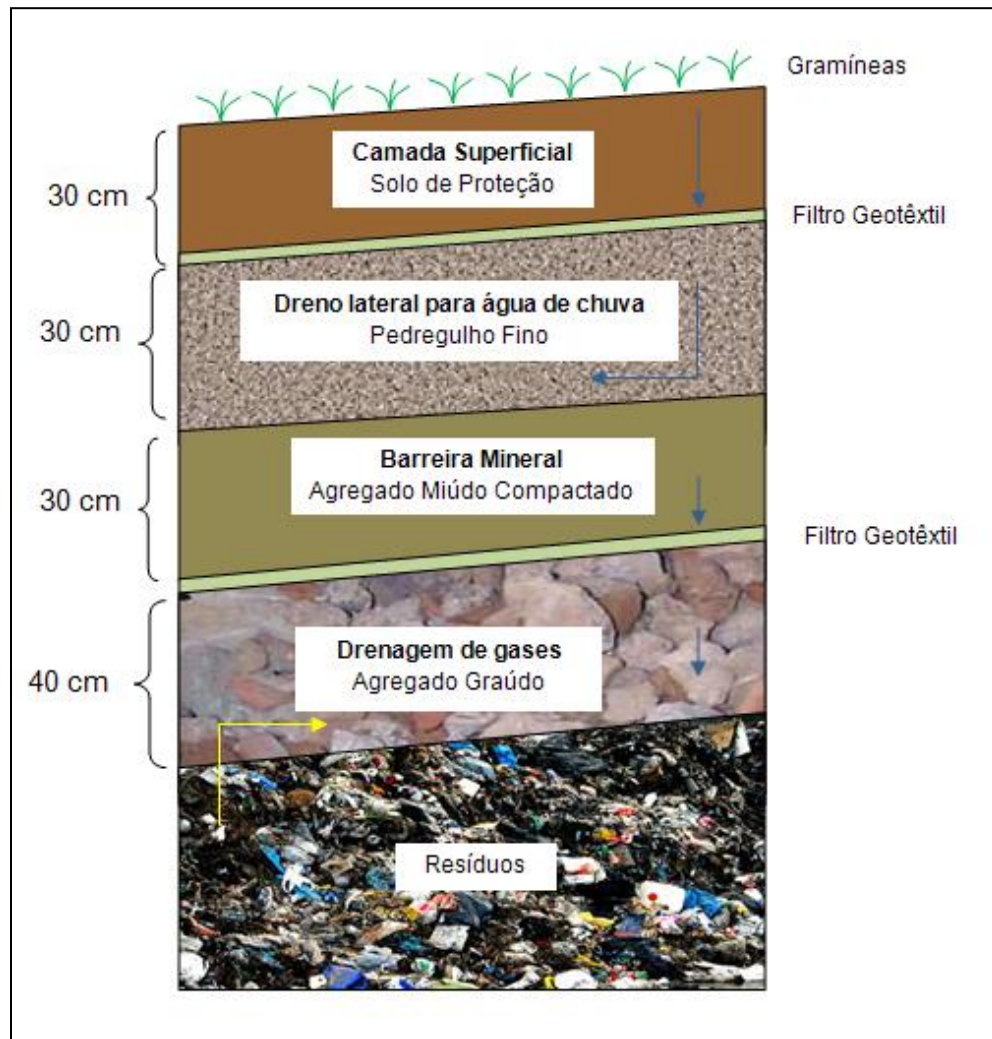


Figura 2: Perfil do sistema de cobertura do projeto 1

Foto do agregado graúdo: AFFONSO, 2005.

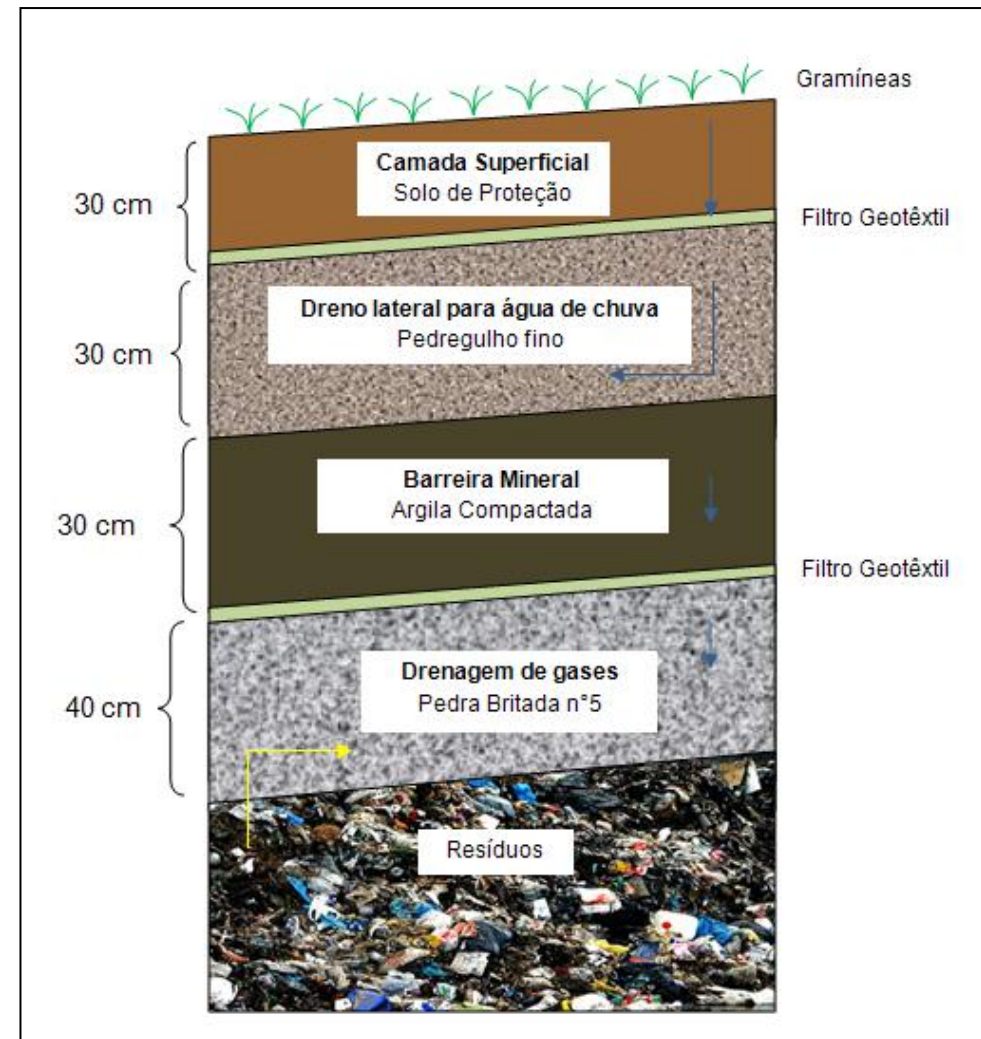


Figura 3: Perfil do sistema de cobertura do projeto 2

Fonte: elaboração própria. Foto dos resíduos: <http://planetainteligente.blog.terra.com.br>

6.2 Camada Superficial

O material utilizado na camada superficial é um solo de textura média siltosa, com 30 cm de espessura.

A tabela com o balanço hídrico para esta camada encontra-se no anexo 4. Esta tabela divide os cálculos em quatro etapas:

- A) Da linha 1 à linha 5: Cálculo da Evapotranspiração Potencial (EP);
- B) Da linha 6 à linha 9: Cálculo do balanço de infiltração e evapotranspiração potencial (IN - EP);
- C) Da linha 10 à linha 13: Cálculo da evapotranspiração real (ET);
- D) Da linha 14 à linha 16: Cálculo do fluxo de percolação para a drenagem (Q).

A seguir é dada a explicação de como foi calculada cada linha da tabela.

A) Cálculo da Evapotranspiração Potencial (EP)

- Linha 1: Temperatura média mensal – T (°C)

A temperatura é considerada no cálculo do balanço hídrico, pois influencia na quantidade da evapotranspiração (evaporação do solo + transpiração da vegetação) que irá ocorrer. Quanto mais elevada a temperatura, mais ocorrerá a evapotranspiração.

As temperaturas fictícias usadas são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Temperaturas usadas no balanço hídrico.

2009							2010				
Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
22	20	20	20	21	24	26	28	27	25	25	24

- Linha 2: Índice de calor mensal - H_m

O índice de calor mensal é um parâmetro empírico adimensional que é usado para estimar a evapotranspiração. É um índice de calor baseado na temperatura que se relaciona empiricamente ao fluxo de calor que irá causar a evaporação. No cálculo correto utilizam-se medições de evaporação ao invés de fazer esta estimativa, porque a umidade relativa do ar também influencia na evapotranspiração. Pois quanto mais

úmido estiver o ar no local considerado, menos irá evaporar. Essa relação empírica foi encontrada por Thornthwaite e Mather (1957) com base na medição de diversos lisímetros instalados em diferentes locais pelo mundo.

$$\text{Para } T \leq 0^{\circ}\text{C} \quad H_m = 0$$

$$\text{Para } T > 0^{\circ}\text{C} \quad H_m = (0,2 \times T)^{1,514}$$

- Linha 3: "Unadjusted daily potential evapotranspiration" - UPET (mm)

Este índice significa a evapotranspiração diária que ocorreria se o solo estivesse saturado, que é a máxima. Como o solo quase sempre está abaixo da saturação total o valor real de evapotranspiração é menor.

$$\text{Para } T \leq 0^{\circ}\text{C} \quad \text{UPET} = 0$$

$$\text{Para } 0^{\circ}\text{C} < T < 27^{\circ}\text{C} \quad \text{UPET} = 0,53 \times (10 \cdot T / \text{Ha})^a$$

$$\text{Para } T \geq 27^{\circ}\text{C} \quad \text{UPET} = (-0,015) \cdot (T)^2 + (1,093) \times T - (14,208)$$

Onde:

$$\text{Ha} = \sum (H_m) = 125,6037$$

$$a = (6,75 \times 10^{-7})(\text{Ha})^3 - (7,71 \times 10^{-5})(\text{Ha})^2 + (0,01792) \times \text{Ha} + (0,49239) = 2,864409096$$

- Linha 4: Luz solar média mensal - N

Esse parâmetro é retirado da Tabela de Thornthwaite e Mather (1957) que pode ser visualizada no anexo 2. Ele representa a duração mensal possível de luz solar em uma determinada latitude do hemisfério sul e é expressa em unidades de 12 horas. Como o local escolhido foi o Município de Nova Iguaçu / RJ, que está situado entre as latitudes 22° 30' e 23°S, optou se por utilizar os valores para 23°.

$$N = f(\text{latitude}, T)$$

- Linha 5: Evapotranspiração potencial mensal - EP(mm)

Este índice "é a evapotranspiração que ocorreria numa cobertura vegetal saudável e num solo fértil, quando a umidade do solo não for um fator limitante ao desenvolvimento do cultivo." (FILHO, 2007)

A evapotranspiração potencial depende da espécie vegetal, fase dentro do ciclo de crescimento, densidade de plantas por m² e principalmente do clima.

Para o uso na planilha este fator é calculado da seguinte forma:

$$EP = UPET \times N$$

B) Cálculo do balanço de infiltração e evapotranspiração potencial (IN - EP)

- Linha 6: Precipitação mensal – P(mm)

Os dados de precipitação foram obtidos na CTR de Nova Iguaçu e encontram-se no anexo 3. Para o uso na planilha de balanço hídrico foram considerados os valores da soma de cada mês.

- Linha 7: Escoamento superficial (runoff) - R(mm)

O escoamento superficial é a quantidade de água que não infiltra na camada superficial. Ela simplesmente escorre e quanto maior a declividade do terreno e mais argiloso for o solo, maior será a quantidade de água que irá escoar superficialmente. Este fator é calculado da seguinte maneira:

$$R = C \times P$$

Onde:

C - Coeficiente de runoff (adimensional)

Foi utilizado C= 0,17, pois se consideraram i = 5% e um solo siltoso (entre argiloso e arenoso) pela tabela 3.

Tabela 3: Valores para C.

Tabela para estimativa - Fenn et al (1975)		
Tipo de Solo	Declividade (%)	C
Arenoso	i < 2%	0,05 - 0,10
	2 < i < 7 %	0,10 - 0,15
	i > 7%	0,15 - 0,20
Argiloso	i < 2%	0,13 - 0,17
	2 < i < 7 %	0,18 - 0,22
	i > 7%	0,25 - 0,35

- Linha 8: Infiltração - IN(mm)

É a quantidade de água de chuva que não sofreu escoamento superficial e infiltrou no solo. É calculada pela fórmula a seguir:

$$IN = (P - R)$$

- Linha 9: Balanço: (IN - EP)

Esse balanço representa a quantidade de água que de fato infiltrou no solo, pois subtrai da infiltração o que evapotranspirou.

C) Cálculo da evapotranspiração real (ET)

- Linha 10: Perda de água acumulada - WL (mm)

$$\begin{array}{lll} 1^{\circ} \text{ Mês de Cálculo} & \text{Se } (IN - EP) \geq 0 & (WL)_1 = 0 \\ & \text{Se } (IN - EP) < 0 & (WL)_1 = (IN - EP)_1 \end{array}$$

Como $(IN-EP)_1 < 0$; $(WL)_1 = (IN - EP)_1 = -32,05 \text{ mm}$

Este resultado significa que a quantidade de água que evaporou foi maior do que a quantidade que infiltrou no mês de junho. Ou seja, nesse mês o solo estaria secando.

$$\begin{array}{lll} \text{Meses subsequentes} & \text{Se } (IN - EP) \geq 0 & (WL)_i = (WL)_{i-1} \\ & \text{Se } (IN - EP) < 0 & (WL)_i = (WL)_{i-1} + (IN - EP)_i \end{array}$$

- Linha 11: Água armazenada no solo - WS (mm)

1º Passo - Calcular a capacidade de armazenamento máxima dos solos da camada superficial $(WS)_{\text{máx}}$ (mm)

Esse parâmetro é calculado a partir do teor de umidade volumétrica do solo na capacidade de campo (cc). A capacidade de campo é a quantidade de água que o solo consegue reter contra a gravidade. Ela é usualmente adotada como a umidade correspondente a uma sucção de 33k Pa na curva de retenção de água do solo.

$$(WS)_{\text{máx}} = (\theta_{\text{CC}}) \cdot H_{\text{Rmáx}}$$

Onde:

θ_{CC} - teor de umidade volumétrica do solo na capacidade de campo. Foi adotado o valor de 18%, pois:

- Foi considerado que a umidade gravimétrica na capacidade de campo - $w_{cc} = 12\%$;
- Peso específico aparente seco - $\gamma_d = 15 \text{ kN/m}^3$;
- Peso específico da água - $\gamma_{\text{água}} = 1,0 \text{ g/cm}^3 = 10 \text{ kN/m}^3$;
- Então: $\theta_{cc} = (w)_{cc} \times (\gamma_d / \gamma_{\text{água}}) = 12 \times (15/10) = 18\%$

$H_{R_{\text{máx}}}$ - profundidade de alcance máximo das raízes (mm). O valor adotado foi de 150 mm.

$$(WS)_{\text{máx}} = (\theta_{CC}) \cdot H_{R_{\text{máx}}} = 0,18 \times 150 = 27\text{mm}$$

2º Passo - Calcular a capacidade de armazenamento da camada superficial no primeiro mês de cálculo - WS (mm)

Cálculo do teor de umidade no mês (θ):

$$\theta = (V_w/V) \quad \text{Teor de umidade volumétrico}$$

$$w = (M_w/M_s) \quad \text{Teor de umidade gravimétrico}$$

$$\theta = w (\gamma_d / \gamma_{\text{água}})$$

-Considerou-se o teor de umidade gravimétrico (w)=18%

-Peso específico aparente seco (γ_d) = 15,0KN/m³

-Resultando em $\theta = 18 \times (15 / 10) = 27\%$

$$(WS)_1 = (\theta) \cdot H_{R_{\text{máx}}} = 0,27 \times 150 = 40,5 \text{ mm}$$

$$\text{Como } (WS)_i \leq WS_{\text{máx}} \quad WS_1 = WS_{\text{Max}} = 27\text{mm}$$

3º Passo - Calcular a capacidade de armazenamento mensal da camada superficial (WS) (mm) - meses subsequentes

Se $(IN - EP) < 0$, o solo estará secando: $\Delta WS < 0$

$$WS = WS_{\text{máx}} \cdot (10)^{b(IN-EP)}$$

$$b = (0,455 / WS_{\text{máx}}) = 0,016851852$$

Se $(IN - EP) \geq 0$, o solo estará umedecendo: $\Delta WS > 0$

$$(WS)_i = (WS)_{i-1} + (IN - EP)_i$$

$$\text{Mas como } (WS)_i \leq WS_{\text{máx}} \quad WS_i = WS_{\text{máx}} \text{ para } (WS)_{i-1} + (IN - EP)_i > WS_{\text{máx}}$$

- Linha 12: Armazenamento de água mensal – ΔWS (mm)

Este parâmetro representa a quantidade de água, correspondente à cada mês, que fica retida no solo.

$$\Delta WS = (WS_i - WS_{i-1})$$

- Linha 13: Evapotranspiração real mensal - ET (mm)

$$\text{Se } (IN - EP) \geq 0 \quad ET = EP$$

$$\text{Se } (IN - EP) < 0 \quad ET = EP + [(IN - EP) - \Delta WS]$$

D) Cálculo do fluxo de percolação para a drenagem (Q)

- Linha 14: Percolação - PERC (mm)

Este valor fornece a quantidade de água que irá entrar na camada de drenagem.

$$\text{Quando } (IN - EP) \leq 0: \quad PERC = 0$$

$$\text{Quando } (IN - EP) > 0: \quad PERC = (IN - EP) - \Delta WS$$

- Linha 15: Linha de checagem – CK

A checagem fará a verificação do somatório de escoamento superficial, água armazenada no solo, evapotranspiração real e percolação para a drenagem. Este valor deve ser igual à precipitação em cada mês conforme a fórmula abaixo:

$$\text{Checagem mensal: } CK = PERC + ET + \Delta WS + R = P$$

$$\text{Checagem anual: } \sum CK = \sum P = 2.137,9 \text{ mm}$$

- Linha 16: Fluxo de percolação médio mensal- Q (m³/s)

Essa vazão é a percolação calculada na linha 14 que está em mm para cada mês, convertida para a unidade de m³/s, através da fórmula abaixo:

$$Q = [(PERC / 1000) \times A_t] / (2.592.000)$$

Onde:

A_t - área total da camada superficial (m²) = 20.024 m²

1 mês = 2.592.000 segundos

6.3 Camada de Drenagem de Águas Pluviais

Para o dimensionamento da camada de drenagem foi admitido o maior valor de precipitação diária ocorrido entre junho de 2009 e maio de 2010 (anexo 3) e o menor valor de evapotranspiração real calculado na planilha do anexo 4. Isto porque vamos dimensionar a drenagem para uma situação em que poderia ocorrer a maior infiltração de água de chuva para esta camada.

$P_{\text{máx}} = 87\text{mm/dia}$, para a intensidade de chuva ocorrida em 31 de dezembro de 2009 na CTR Nova Iguaçu.

Sendo o runoff (R) = $C \times P_{\text{máx}}$

$C = 0,17$ (solo siltoso)

$R = 0,17 \times 87\text{mm/dia} = 14,79 \text{ mm/dia}$

Utilizando o valor de evapotranspiração real do mês de junho (por ser o menor valor do ano) $ET=38,429 \text{ mm/mês} \Rightarrow ET=1,28 \text{ mm/dia}$

A Infiltração para a camada de drenagem será:

$I = 87 - 14,79 - 1,28 = 70,93\text{mm/dia}$

A infiltração (I) é expressa em mm/dia, enquanto a vazão necessária (Q_{nec}) que o dreno terá de escoar por unidade de largura será em $\text{m}^3/\text{s.m}$. Como o aterro tem uma cumeeira e a drenagem se dá para os dois lados, o dimensionamento é feito para a área de um lado da cobertura.

$$Q_{\text{nec}} = \frac{I \times A}{T \times W}, \text{ onde:}$$

I = infiltração

A = área de um lado da cobertura

T = tempo de 1 dia em segundos

W = largura do aterro

$$Q_{\text{nec}} = \frac{0,07093\text{m} \times 50,06\text{m} \times 200\text{m}}{86400\text{s} \times 200\text{m}} = 4,11 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

Como o fluxo é laminar é válida a lei de Darcy: $v = k \times i$. Onde k é a condutividade hidráulica do material em m/s e i é o gradiente hidráulico em m/m. Então a vazão máxima admissível que pode atravessar o plano transversal é igual a:

$$Q_{adm} = k \times i \times At$$

Onde At é a área transversal $At = W \times t$.

Para o material natural escolhido (pedregulho fino), temos: $k = 5,00 \times 10^{-3}$ m/s. Adotando a espessura da camada $t = 30$ cm e a declividade $i = 0,05$, calculamos a vazão admitida Q_{adm} por unidade de largura do dreno, expressando-a em $m^3/s.m$

$$Q_{adm} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times 0,05 \times 0,3 \text{ m} \times 200 \text{ m}}{200 \text{ m}} \therefore Q_{adm} = 7,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

A vazão admitida deve ser sempre maior do que a vazão necessária. Portanto calculamos o fator de segurança que deve ser maior do que 1.

$$F_s = \frac{Q_{adm}}{Q_{nec}} \therefore F_s = \frac{7,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.m}}{4,11 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.m}} = 1,8 \geq 1$$

Como o fator de segurança calculado forneceu o valor de 1,8, significa que o dreno tem 80% mais capacidade para escoar a vazão necessária para esse projeto.

6.4 Camada de Barreira Mineral

As principais funções da camada de barreira do sistema de cobertura são a interceptação da água da chuva para minimizar a infiltração para os rejeitos e prevenir as emissões de gases para a atmosfera. Para desempenhar essa segunda função, deve-se implantar um sistema de drenagem dos gases abaixo da barreira, para evitar a fuga lateral das emissões e a pressão que pode ser gerada sob a camada e no interior da massa de resíduos pelo gás aprisionado.

Projeto 1) Barreira com Agregado Miúdo Compactado

O material a ser utilizado nessa camada será agregado reciclado miúdo compactado, cuja permeabilidade saturada (K_{sat}) = $2,28 \times 10^{-7}$ m/s. (BARROS, 2005)

Admite-se o solo saturado, onde não há armazenamento de água. A vazão (q) que irá percolar por entre essa camada será:

$$q \text{ (m}^3\text{/s)} = k_{sat} \times \left[\frac{H+D}{D} \right] \times A$$

Onde:

H - altura de água acima da barreira (no dreno) (m)

D - espessura da barreira (m)

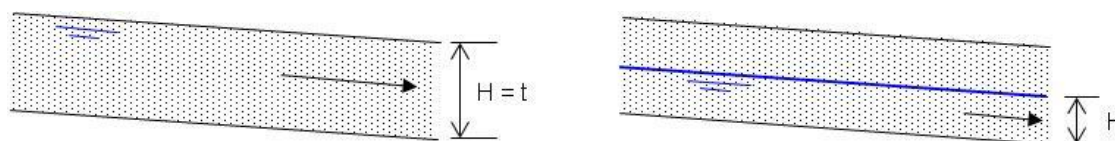
A - área da superfície (m²)

k_{sat} - permeabilidade saturada do agregado miúdo compactado = $2,28 \times 10^{-7}$ m/s.

- Cálculo de H admitindo-se a altura de água para a vazão de projeto (Q_{nec}).

A figura 4 representa a altura de água no dreno, acima da barreira.

Figura 4: Altura de água no dreno.



Fonte: BARBOSA, 2009.

Vazão necessária (Q_{nec}) = $4,11 \times 10^{-5}$ m³/s.m

$$Q = k \cdot i \cdot H \cdot 1 \quad \therefore \quad H = Q / k \cdot i$$

Onde:

H - altura de água no dreno (m)

K - coeficiente de permeabilidade pedregulho fino (m/s)

I – declividade (m/m)

$$H = 4,11 \times 10^{-5} / 5 \times 10^{-3} \times 0,05 \quad \therefore \quad H = 0,1644 \text{ m}$$

- Adotaremos $D = 30 \text{ cm} = 0,3\text{m}$
- Cálculo da área da superfície (1 lado): $A = 50,06 \text{ m} \times 200 \text{ m} = 10.012 \text{ m}^2$
- Portanto $q \text{ (m}^3/\text{s)} = 2,28 \times 10^{-7} \times \left[\frac{0,1644+0,3}{0,3} \right] \times 10.012$
 $q = 3,53 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Como a barreira recebe a contribuição dos dois lados da cobertura:

$$Q_{\text{total}} = 2 \times 3,53 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 7,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Projeto 2) Barreira com argila compactada

O material a ser utilizado nessa camada será argila compactada, cuja permeabilidade saturada ($K_{\text{sat}} = 2,00 \times 10^{-9} \text{ m/s}$)

Admite-se o solo saturado, onde não há armazenamento de água. A vazão (q) que irá percolar por entre essa camada será:

$$q \text{ (m}^3/\text{s)} = k_{\text{sat}} \times \left[\frac{H+D}{D} \right] \times A$$

Onde:

H - altura de água acima da barreira (no dreno) (m)

D - espessura da barreira (m)

A - área da superfície (m²)

k_{sat} - permeabilidade saturada do agregado miúdo compactado = 2×10^{-9} m/s

- H igual ao calculado para a barreira com agregado reciclado miúdo compactado.

$$H = 0,1664 \text{ m}$$

- Adotaremos D = 30 cm = 0,3m

- Área da superfície (1 lado): A = 10.012 m²

- Portanto q (m³/s) = $2 \times 10^{-9} \text{ m/s} \times \left[\frac{0,1664 + 0,3}{0,3} \right] \times 10.012$

$$q = 3,10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Como a barreira recebe a contribuição dos dois lados da cobertura:

$$Q_{total} = 2 \times 3,10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 6,20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

6.5 Camada de Drenagem de Gases.

Neste item é feita uma verificação da vazão de percolação de água de chuva nesta camada. Como a função deste dreno é permitir a passagem de gases, não é interessante que ele sature de água, pois quanto maior o grau de saturação, menor será a permeabilidade dos gases.

Projeto 1) Drenagem de gases com agregados reciclados graúdos

A vazão necessária (Q_{nec}) por unidade de largura que a drenagem precisará escoar será calculada a partir da vazão total que irá percolar na camada de barreira feita de agregados reciclados miúdos compactados.

$$Q_{nec} = \frac{7,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{200\text{m}} = 3,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

Como o material para drenagem é agregado reciclado graúdo, temos:

$$k = 8,00 \times 10^{-2} \text{ m/s (AFFONSO, 2005)}$$

Adotando a espessura da camada $t = 40 \text{ cm}$ e a declividade $i = 0,05$, calculamos a vazão admitida Q_{adm} :

$$Q_{adm} = \frac{8 \times 10^{-2} \text{ m/s} \times 0,05 \times 0,4\text{m} \times 200\text{m}}{200\text{m}} \therefore Q_{adm} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

De posse desses resultados calculamos o fator de segurança:

$$F_s = \frac{Q_{adm}}{Q_{nec}} \therefore F_s = \frac{1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s.m}}{3,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.m}} = 45 > 1$$

O valor mínimo para o fator de segurança é 1, pelo resultado obtido observamos que a vazão que o dreno permite passar é 45 vezes maior do que a vazão que necessária para este projeto. Desta forma será muito difícil saturar o dreno, não prejudicando a função dele que é a drenagem de gases.

Projeto 2) Drenagem de gases com pedras britadas n° 5 de diâmetro variando entre 76 a 100 mm

A vazão necessária (Q_{nec}) por unidade de largura que a drenagem precisará escoar será calculada a partir da vazão total que irá percolar na camada de barreira feita de argila compactada.

$$Q_{nec} = \frac{6,20 \times 10^{-5}}{200\text{m}} = 3,10 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

Como o material para drenagem é pedra britada n° 5, temos: $k = 1,00 \times 10^{-1} \text{ m/s}$. (AFFONSO, 2005)

Adotando a espessura da camada $t = 40 \text{ cm}$ e a declividade $i = 0,05$, calculamos a vazão admitida Q_{adm} :

$$Q_{adm} = \frac{10^{-4} \text{ m/s} \times 0,05 \times 0,4 \text{ m} \times 200 \text{ m}}{200 \text{ m}} \therefore Q_{adm} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

De posse desses resultados calculamos o fator de segurança (F_s):

$$F_s = \frac{Q_{adm}}{Q_{nec}} \therefore F_s = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s.m}}{3,10 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s.m}} = 6.451 \gg 1$$

O fator de segurança deve ser um valor superior à unidade. Neste caso, como o F_s encontrado é de 6.451, a vazão que o dreno permite passar é 6.451 vezes maior do que a vazão que necessária para este projeto. Desta forma será ainda mais difícil saturar o dreno, não prejudicando a função dele que é a drenagem de gases.

7 PROBLEMAS POTENCIAIS DA APLICAÇÃO

Segundo BARROS, 2005, a utilização de agregado reciclado miúdo de RCC para barreira hidráulica apresenta restrições quanto ao coeficiente de permeabilidade (k). Os resultados dos ensaios de permeabilidade mostram que, sem controle de compactação, o agregado miúdo mostra-se muito permeável (k_{sat} entre $5,4$ e $8,5 \times 10^{-5}$ m/s) e tem, portanto, um comportamento drenante. Porém, depois de compactado, apresenta permeabilidade saturada entre 10^{-7} e 10^{-6} m/s, um valor intermediário entre um dreno ($k > 10^{-5}$ m/s) e uma barreira ($k < 10^{-8}$ m/s).

Para a aplicação do agregado reciclado miúdo compactado em camada de barreira mineral, a permeabilidade elevada para essa função pode ser corrigida inserindo uma geomembrana acima dos agregados reciclados miúdos, onde basicamente só irá passar água pelos furos que ocasionalmente ocorrem. O adicionamento deste material implica em um maior custo de projeto, mas deve-se lembrar que este sistema de cobertura será feito apenas uma vez, quando a operação da célula for encerrada. Além disso, uma análise financeira deve ser feita levando-se em conta os custos da aplicação de cada um dos materiais dos projetos 1 e 2.

Para condições não saturadas o agregado miúdo pode funcionar bem sem a colocação de uma geomembrana, pois nestas condições foram encontrados coeficientes de permeabilidade até menores do que a argila compactada (k na ordem de 10^{-9} m/s), sendo na ordem de 1×10^{-12} cm/s para sucção de 200 kPa (BARROS,2005).

ARM (2001) relata um aumento na dureza em camadas de agregados reciclados miúdos oriundos dos resíduos da construção civil devido às suas propriedades de cimentação. Esse aumento é maior nos primeiros meses depois da formação dessas camadas e depois diminui. Pesquisas comparativas com agregados naturais não mostraram esse aumento na dureza. POON *et al* (2006) também verificou esse efeito quando agregados reciclados são aplicados em sub-bases.

Para o caso de aplicação desses agregados como barreira mineral, esse efeito de recimentação é positivo, pois diminuirá a permeabilidade tornando a cobertura mais eficiente com o tempo.

Com relação à aplicação de agregado graúdo na camada de drenagem de gases, o presente trabalho não detectou os possíveis problemas no desempenho como dreno de gases. Também não foi observada na bibliografia consultada uma análise com esse foco. Este projeto de graduação estudou a influência desse material na percolação de líquidos para dentro da massa de resíduos. Esse tipo de infiltração

pode ser reduzida drasticamente com a inserção de uma geomembrana acima da barreira mineral, como foi mencionado anteriormente. É necessário que se façam outras pesquisas voltadas especificamente para o tema, com programas experimentais para que sejam detectadas possíveis divergências quanto a esse tipo de reaproveitamento de RCC.

Em relação à liberação de elementos potencialmente tóxicos que podem causar degradação ambiental, segundo Barbosa *et al* (2008) o agregado reciclado de RCC apresentou valores de Al e de fenóis ligeiramente acima dos limites admissíveis pela norma brasileira (Fernandes, 2004; Barros, 2005):

- 0,29 mg/L de Al (limite = 0,20 mg/L)
- 0,004 mg/L de fenóis (limite = 0,001 mg/L)

Porém, resultados semelhantes foram relatados para amostras de concreto convencional na literatura. Esta não seria, portanto, uma limitação séria para o seu uso em cobertura de aterros de resíduos.

LEE *et al* (2006) fala sobre emissões de H₂S em aterros de RCCs e menciona o drywall como fonte de enxofre para gerar esse tipo de gás. EUN *et al* (2007) quantificou essas emissões encontrando valores entre 0,192 e 1,76 mg/(m²-d).

O uso de agregados reciclados de RCC em cobertura ou drenagem poderia gerar o mesmo tipo de problema, mas por enquanto usa-se pouco drywall no Brasil em comparação com os EUA, mas esse risco deve aumentar com o tempo, já que cada vez é mais comum o uso desse tipo de material nas novas construções.

TRANKLER *et al* (1996) ressalta a importância do pré-tratamento, ou seja, da seleção dos materiais que compõem o RCC, para o seu reaproveitamento. Pois quando dispostos sem separação, o percolato gerado é constituído por compostos inorgânicos, alguns orgânicos e também de metais pesados (Ni e Pb).

Para que seja feita a aplicação de agregados reciclados de RCC em sistemas de cobertura de aterros sanitários é necessário também considerar o aspecto operacional que não foi contemplado neste trabalho, pois pode-se detectar problemas na logística reversa do RCC quando este for encaminhado para o reaproveitamento aqui proposto.

8 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

A aplicação de agregados reciclados de RCC em sistemas de cobertura de aterros de RSU é uma prática comum no município do Rio de Janeiro como foi relatado no item 4.2. Essa cidade também conta com dois aterros de RCC localizados em antigas pedreiras. Apesar disso, é muito comum encontrar esses resíduos dispostos de forma irregular na capital do Estado.

DANTAS, 2008 observou que em vinte municípios pesquisados no Estado do Rio de Janeiro, nenhum apresenta disposição adequada dos resíduos de construção civil. Os gestores desses municípios alegam que não há recursos financeiros suficientes para implantação de Usinas de Processamento de RCC classe A para reciclagem. NUNES, 2004 já havia constatado as dificuldades financeiras na gestão de RCC e a falta de viabilidade financeira destes projetos, no entanto, não se pode admitir que a Resolução CONAMA 307/02 não esteja sendo cumprida.

O Governo Estadual e Federal devem dar suporte para que os municípios possam realizar essa gestão de forma eficiente. Segundo DANTAS (2008), mesmo que sejam realizados esforços para implementação de unidades municipais de reciclagem de RCC - tanto pelas prefeituras, como pelo setor de construção civil - não se pode descartar o envio desses resíduos para aterros apropriados, pois não é todo o material coletado que será reciclado.

Uma ferramenta importante na gestão de resíduos sólidos, que inclui os RCCs, são os indicadores para análise ambiental desenvolvidos especificamente para esse tipo de gestão. Alguns exemplos são: o ICGR - Índice de Condição da Gestão de Resíduos (DANTAS, 2008) e o IQR - Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (CETESB, 1997); aperfeiçoado por FARIA, 2002 criando o IQA e por LOUREIRO, 2005 estabelecendo o IQS.

Para que haja uma eficiente gestão dos RCCs é necessária a intensificação do uso dos agregados reciclados que só poderá ser realizada com um aumento no número de indústrias recicladoras que atuem no mercado, pois o RCC deve passar por um beneficiamento antes de sua aplicação e poucas são as indústrias voltadas para este mercado na cidade do Rio de Janeiro.

A aplicação desses agregados em sistema de cobertura de aterros sanitários traz mais uma alternativa de reaproveitamento desse material. Para tanto o cálculo do balanço hídrico para esse sistema é essencial no dimensionamento do tratamento de chorume do aterro, pois será este cálculo um dos fatores que determinará a

quantidade de percolado que será gerada, através da quantidade de águas de chuva que irá infiltrar na pilha de rejeitos.

O cálculo do balanço hídrico para os Projetos 1 e 2 trouxe resultados importantes na comparação da aplicação dos materiais propostos. A tabela 4 traz um resumo desses resultados.

Tabela 4: Resumo dos resultados do balanço hídrico para os dois projetos propostos.

	Projeto 1	Projeto 2
Barreira Mineral	Agregado miúdo compactado	Argila compactada
Vazão total de percolação (Q_{total})	$7,10 \times 10^{-3} m^3/s$	$6,22 \times 10^{-5} m^3/s$
Drenagem de gases	Agregado graúdo	Pedra Britada
Vazão admitida pelo dreno por unidade de largura (Q_{adm})	$1,6 \times 10^{-3} m^3/s.m$	$2,0 \times 10^{-3} m^3/s.m$

Sob a ótica técnica, a aplicação de agregado miúdo compactado aumenta a percolação de águas pluviais pela barreira mineral quando comparada com a aplicação da argila, pois:

$$Q_{total \text{ agregado miúdo}} (7,10 \times 10^{-3} m^3/s) > Q_{total \text{ argila}} (6,22 \times 10^{-5} m^3/s)$$

A vazão que percola pela barreira de agregado reciclado miúdo compactado é 100 vezes maior do que a vazão que passa pela barreira de argila compactada. Esse valor tem a mesma ordem de grandeza da diferença entre as permeabilidades desses materiais, pois:

$$K_{sat \text{ agregado}} = 2,28 \times 10^{-7} m/s \text{ e } K_{sat \text{ argila}} = 2,00 \times 10^{-9} m/s.$$

Mesmo com esse aumento recomenda-se o uso desse material, pois a camada de drenagem de gás pode ser capaz de retirar parte dessa vazão antes de entrar na pilha de resíduo. Pode-se também acrescentar a geomembrana acima da barreira mineral que reduz drasticamente a entrada de água nessa camada. Além disso, o reaproveitamento desse material implica na diminuição de extração de argila do meio natural e proporciona uma destinação ambientalmente correta para este resíduo.

Na comparação da aplicação de agregados graúdos com pedras britadas, foi detectado que as vazões permitidas para passagem de líquidos na camada de drenagem de gases para os dois casos analisados têm a mesma ordem de grandeza, pois:

$$Q_{\text{adm agreg graudo}} (1,6 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s.m}) \cong Q_{\text{adm brita}} (2,0 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s.m})$$

Portanto o uso de agregado reciclado graúdo de RCC como camada drenante em cobertura de aterro de RSU, possibilita a substituição da pedra britada natural. Desta forma, os recursos minerais são preservados para aplicações efetivamente imprescindíveis, apresentando-se uma alternativa de aplicabilidade deste material.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, F. J. de A. **Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

ARM, M. "Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: results from triaxial tests and field tests" **Waste Management**, v. 21, pp. 235 – 239, Pergamon. 2001.

BARBOSA, M. C. **Notas de aula da disciplina Disposição de Resíduos Sólidos**. Curso de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

BARBOSA, M. C., AFFONSO, F. J. A. e BARROS, M. C. (2008). **Caracterização de agregados reciclados de RCDs para uso em coberturas e sistemas de drenagem de aterros de resíduos**, Anais XIV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), Búzios, RJ, Brasil, pp.1111-1118.

BARROS, M. C. **Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

BRESCIANI, E. Senado aprova política nacional de resíduos sólidos. Disponível em: <<http://g1.globo.com/politica/noticia/2010/07/senado-aprova-politica-nacional-de-residuos-solidos.html>>. Acesso em 31 de jul de 2010.

CARNEIRO, A. P. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção – Projeto Entulho Bom- Salvador**, EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA (COMLURB). Relação de Ecopneus e Ecopontos. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <http://comlurb.rio.rj.gov.br/serv_ecopontos.htm>. Acesso em 30/07/2010.

DANTAS, K. M. C. **Proposição e avaliação de sistemas de gestão ambiental integrada de resíduos sólidos através de indicadores em municípios do Estado do Rio de Janeiro.** Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

FARIA, F. S., **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos - IQA,** Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

FERREIRA, R. T. **A Importância da gestão ambiental de resíduos da construção civil e propostas de solução.** Projeto de Graduação, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

FILHO, T. B. O. **Notas de aula da disciplina Hidrologia Geral.** Curso de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

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

LOUREIRO, S. M. **Índice de Qualidade no Sistema da gestão ambiental em aterros de resíduos sólidos urbanos – IQS,** Tese de mestrado, Rio de Janeiro, COPPE/ UFRJ, Outubro de 2005.

MATEUS, M. do 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 D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

MOTTA, C., SCHMITT, L. G. Prefeitura quer aproveitar material de entulho. **O GLOBO,** Rio de Janeiro, p.26, 16 jul. 2010.

NOBRE, R. C. M., NOBRE M. M., “Avaliação de Aterros de Resíduos Industriais Perigosos através do Modelo HELP”, **BIO – Engenharia Sanitária e Ambiental,** Ano II, nº 6, pp. 103 – 112, Nov./Dez. 1993.

NUNES, K. R. A. **Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição.** Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

POON, C. S., QIAO, X. C., CHAN, D., “The cause and influence of self-cementing properties of fine recycled concrete aggregates on the properties of unbound sub-base” **Waste Management**, v. 26, pp. 1166-1172, Elsevier. 2006.

LEE, S., XU, Q., BOOTH, M., *et al.* “Reduced sulfur compounds in gas from construction and demolition debris landfills”. **Waste Management**, v. 26, pp. 526 – 533, Elsevier. 2006.

EUN, S., REINHART, D. R., COOPER, D., *et al.* “Hydrogen sulfide flux measurements from construction and demolition debris (C&D) landfills” **Waste Management**, v. 27, pp. 220 – 227, Elsevier. 2007.

TRANKLER, J. O. V., WALKER, I., DOHMANN, M., “Environmental Impact of demolition waste – an overview on 10 years of research and experience” **Waste Management**, v. 16, pp. 21 – 26, Pergamon. 1996.

VALE, A. C. R. **O estudo da comunidade do Canal do Anil acerca do Desenvolvimento Local**. Tese de D.Sc., Instituto de Psicologia, Estudos Interdisciplinares de Comunidades e Ecologia Social – EICOS / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

10 ANEXOS

Anexo 1

RESOLUÇÃO CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002

Publicada no DOU nº 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, páginas 95-96

Correlações:

Alterada pela Resolução no 348/04 (alterado o inciso IV do art. 3o)

*Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos
para a gestão dos resíduos da construção civil.*

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe foram conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria nº 326, de 15 de dezembro de 1994/140, e

Considerando a política urbana de pleno desenvolvimento da função social da cidade e da propriedade urbana, conforme disposto na Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001; Considerando a necessidade de implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil;

Considerando que a disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental;

Considerando que os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas;

Considerando que os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos;

Considerando a viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil; e

Considerando que a gestão integrada de resíduos da construção civil deverá proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental, resolve:

Art. 1º Estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

II - Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

III - Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;

IV - Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

V - Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;

VI - Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

VII - Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

VIII - Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo à operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto;

IX - Aterro de resíduos da construção civil: é a área onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil Classe "A" no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente;

X - Áreas de destinação de resíduos: são áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos.

Art. 3º Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. *(nova redação dada pela Resolução nº 348/04)*.

Art. 4º Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

§ 1º Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei, obedecidos os prazos definidos no art. 13 desta Resolução.

§ 2º Os resíduos deverão ser destinados de acordo com o disposto no art. 10 desta Resolução.

Art. 5º É instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, o qual deverá incorporar:

I - Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil; e

II - Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Art. 6º Deverão constar do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil:

I - as diretrizes técnicas e procedimentos para o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e para os Projetos de Gerenciamento

de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores.

II - o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento;

III - o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e de disposição final de resíduos;

IV - a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas;

V - o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;

VI - a definição de critérios para o cadastramento de transportadores;

VII - as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos;

VIII - as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação.

Art. 7º O Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil será elaborado, implementado e coordenado pelos municípios e pelo Distrito Federal, e deverá estabelecer diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local.

Art. 8º Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil serão elaborados e implementados pelos geradores não enquadrados no artigo anterior e terão como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos.

§ 1º O Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, de empreendimentos e atividades não enquadrados na legislação como objeto de licenciamento ambiental, deverá ser apresentado juntamente com o projeto do empreendimento para análise pelo órgão competente do poder público municipal, em conformidade com o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

§ 2º O Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de atividades e empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, deverá ser analisado dentro do processo de licenciamento, junto ao órgão ambiental competente.

Art. 9º Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão contemplar as seguintes etapas:

I - caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;

II - triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta Resolução;

III - acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;

IV - transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;

V - destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução.

Art. 10º. Os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Art. 11º. Fica estabelecido o prazo máximo de doze meses para que os municípios e o Distrito Federal elaborem seus Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil, contemplando os Programas Municipais de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil oriundos de geradores de pequenos volumes, e o prazo máximo de dezoito meses para sua implementação.

Art. 12º. Fica estabelecido o prazo máximo de vinte e quatro meses para que os geradores, não enquadrados no art. 7º, incluam os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil nos projetos de obras a serem submetidos à aprovação ou ao licenciamento dos órgãos competentes, conforme §§ 1º e 2º do art. 8º.

Art. 13º. No prazo máximo de dezoito meses os Municípios e o Distrito Federal deverão cessar a disposição de resíduos de construção civil em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de “bota fora”.

Art. 14º. Esta Resolução entra em vigor em 2 de janeiro de 2003.

JOSÉ CARLOS CARVALHO - Presidente do Conselho

Anexo 2

TABLE 4.4. Mean Possible Monthly Duration of Sunlight in the Southern Hemisphere Expressed in Units of 12 Hours (from Thornthwaite and Mather, 1957)

"Southern Latitude"												
(deg.)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	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	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2
2	31.5	28.2	31.2	30.3	30.9	30.0	31.2	31.2	30.3	31.2	30.6	31.5
3	31.5	28.5	31.2	30.0	30.9	30.0	30.9	31.2	30.0	31.2	30.6	31.5
4	31.8	28.5	31.2	30.0	30.9	29.7	30.9	30.9	30.0	31.5	30.6	31.8
5	31.8	28.5	31.2	30.0	30.6	29.7	30.6	30.9	30.0	31.5	30.9	31.8
6	31.8	28.8	31.2	30.0	30.6	29.4	30.6	30.9	30.0	31.5	30.9	32.1
7	32.1	28.8	31.2	30.0	30.6	29.4	30.3	30.6	30.0	31.5	30.9	32.4
8	32.1	28.8	31.5	29.7	30.3	29.1	30.3	30.6	30.0	31.8	31.2	32.4
9	32.4	29.1	31.5	29.7	30.3	29.1	30.0	30.6	30.0	31.8	31.2	32.7
10	32.4	29.1	31.5	29.7	30.3	28.8	30.0	30.3	30.0	31.8	31.5	33.0
11	32.7	29.1	31.5	29.7	30.0	28.8	29.7	30.3	30.0	31.8	31.5	33.0
12	32.7	29.1	31.5	29.7	30.0	28.5	29.7	30.3	30.0	31.8	31.8	33.3
13	33.0	29.4	31.5	29.4	29.7	28.5	29.4	30.0	30.0	32.1	31.8	33.3
14	33.3	29.4	31.5	29.4	29.7	28.2	29.4	30.0	30.0	32.1	32.1	33.6
15	33.6	29.4	31.5	29.4	29.4	28.2	29.1	30.0	30.0	32.1	32.1	33.6
16	33.6	29.7	31.5	29.4	29.4	27.9	29.1	30.0	30.0	32.1	32.1	33.9
17	33.9	29.7	31.5	29.4	29.1	27.9	28.8	29.7	30.0	32.1	32.4	33.9
18	33.9	29.7	31.5	29.1	29.1	27.6	28.8	29.7	30.0	32.4	32.4	34.2
19	34.2	30.0	31.5	29.1	28.8	27.6	28.5	29.7	30.0	32.4	32.7	34.2
20	34.2	30.0	31.5	29.1	28.8	27.3	28.5	29.7	30.0	32.4	32.7	34.5
21	34.5	30.0	31.5	29.1	28.6	27.3	28.2	29.7	30.0	32.4	32.7	34.5
22	34.5	30.0	31.5	29.1	28.5	27.0	28.2	29.4	30.0	32.7	33.0	34.8
23	34.8	30.3	31.5	28.8	28.5	26.7	27.9	29.4	30.0	32.7	33.0	35.1
24	35.1	30.3	31.5	28.8	28.2	26.7	27.9	29.4	30.0	32.7	33.3	35.1
25	35.1	30.3	31.5	28.8	28.2	26.4	27.9	29.4	30.0	33.0	33.3	35.4
26	35.4	30.6	31.5	28.8	28.2	26.4	27.6	29.1	30.0	33.0	33.6	35.4
27	35.4	30.6	31.5	28.8	27.9	26.1	27.6	29.1	30.0	33.3	33.6	35.7
28	35.7	30.6	31.8	28.5	27.9	25.8	27.3	29.1	30.0	33.3	33.9	36.0
29	35.7	30.9	31.8	28.5	27.6	25.8	27.3	28.8	30.0	33.3	33.9	36.0
30	36.0	30.9	31.8	28.5	27.6	25.5	27.0	28.8	30.0	33.6	34.2	36.3
31	36.3	30.9	31.8	28.5	27.3	25.2	27.0	28.8	30.0	33.6	34.5	36.6
32	36.3	30.9	31.8	28.5	27.3	25.2	26.7	28.5	30.0	33.6	34.5	36.9
33	36.6	31.2	31.8	28.2	27.0	24.9	26.4	28.5	30.0	33.9	34.8	36.9
34	36.6	31.2	31.8	28.2	27.0	24.9	26.4	28.5	30.0	33.9	34.8	37.2
35	36.9	31.2	31.8	28.2	26.7	24.6	26.1	28.2	30.0	33.9	35.1	37.5
36	37.2	31.5	31.8	28.2	26.7	24.3	25.8	28.2	30.0	34.2	35.4	37.6
37	37.5	31.5	31.8	28.2	26.4	24.0	25.5	27.9	30.0	34.2	35.7	38.1
38	37.5	31.5	32.1	27.9	26.1	24.0	25.5	27.9	30.0	34.2	35.7	38.1
39	37.8	31.8	32.1	27.9	26.1	23.7	25.2	27.9	30.0	34.5	36.0	38.4

TABLE 4.4. Continued

"Southern Latitude"												
(deg.)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40	38.1	31.8	32.1	27.9	25.8	23.4	25.2	27.6	30.0	34.5	36.0	38.7
41	38.1	32.1	32.1	27.9	25.8	23.1	24.9	27.6	30.0	34.5	36.3	39.0
42	38.4	32.1	32.1	27.6	25.5	22.8	24.6	27.6	30.0	34.8	36.6	39.3
42	38.7	32.4	32.1	27.6	25.2	22.5	24.6	27.3	30.0	34.8	36.6	39.6
44	39.0	32.4	32.1	27.6	24.9	22.2	24.3	27.3	29.7	34.8	36.9	39.9
45	39.3	32.7	32.1	27.6	24.9	21.9	24.0	27.3	29.7	35.1	37.2	40.2
46	39.6	32.7	32.1	27.3	24.6	21.6	23.7	27.0	29.7	35.1	37.5	40.5
47	39.9	33.0	32.1	27.3	24.3	21.3	23.4	27.0	29.7	35.1	37.8	40.8
48	40.2	33.0	32.4	27.0	24.0	21.0	22.8	26.7	29.7	35.4	38.1	41.1
49	40.5	33.3	32.4	27.0	23.7	20.7	22.5	26.7	29.7	35.4	38.4	41.7
50	41.1	33.6	32.4	26.7	23.1	20.1	22.2	26.4	29.7	35.7	38.7	42.3

Anexo 3

Pluviometria (mm)												
Data	2009							2010				
	Junho	Julho	agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο
1	10,00	0,70	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00	36,20	0,00	40,70	0,00	0,00
2	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,40	10,50	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	5,90	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,50	0,00	5,20	0,00	12,20	19,10	16,60	13,60	11,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,80	13,30	0,00	68,10	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,20	0,00	0,00	36,30	26,40	0,00
7	0,00	0,00	0,00	14,80	12,80	0,00	17,70	17,10	2,00	0,00	18,80	0,00
8	0,00	0,00	0,00	15,30	36,70	9,20	9,80	0,00	27,00	0,00	12,40	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60	22,20	0,00	5,80	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	42,10	53,90	3,20	0,00	6,10	0,00	0,00	0,00
11	1,70	0,00	7,70	0,00	0,00	26,90	0,00	0,00	1,50	0,00	4,20	0,00
12	0,00	12,80	0,00	0,00	0,00	6,30	0,00	17,90	42,00	0,00	2,10	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	4,20	0,00	7,00	1,10	12,90	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	75,40	0,00	9,70	0,00	0,00
15	16,90	0,30	0,00	0,00	0,00	23,60	0,00	28,90	1,50	31,50	0,00	0,00
16	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	11,30	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00	0,00	15,80	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,70	0,00	0,00	0,00
19	0,00	9,20	5,50	0,00	44,90	0,00	0,00	32,90	0,70	0,00	0,00	0,70
20	0,00	2,00	0,70	4,90	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	43,70	0,50	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	25,60	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	10,00	0,60	0,00	0,00	0,00	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	3,30	4,60	0,00	0,00	0,00	38,40	20,00	0,00	0,00	0,00

Pluviometria (mm)												
Data	2009							2010				
	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior
25	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	3,30	0,00	38,60	9,20	0,00	0,00	0,00
26	2,70	8,70	0,00	0,00	9,50	0,00	0,00	0,00	52,30	0,00	2,60	0,00
27	0,00	13,90	0,00	0,00	74,90	0,00	56,40	0,00	0,00	0,00	5,20	1,50
28	15,00	0,00	0,00	0,00	16,10	0,00	28,10	0,00	0,00	18,60	4,80	0,00
29	0,00	8,70	0,00	4,30	13,40	18,10	27,20	0,00	-	40,90	9,40	0,00
30	0,00	11,20	0,00	14,60	0,00	0,00	78,30	0,00	-	7,90	0,00	0,00
31	-	3,10	0,00	-	0,00	-	87,00²	0,00	-	8,30	-	23,40
Total	46,30	78,30	32,20	106,20	260,30	154,60	414,20	356,20	248,00	251,00	165,00	25,60
	2.137,90											

² Maior valor de precipitação diária ocorrido nos meses considerados.

Anexo 4

BALANÇO HÍDRICO SIMPLIFICADO PARA CÁLCULO MENSAL MANUAL													(Fonte: Koerner e Daniel, 1997; adaptado de Thornthwaite e Mathes, 1957)												
													2009						2010						
													Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Total
CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (EP)																									
1	Temperatura média mensal (°C)	22	20	20	20	21	24	26	28	27	25	25	24												
2	Índice de calor mensal (H _m)	9,422960101	8,156781464	8,156781464	8,156781464	8,782121	10,74977	12,1347	13,57553	12,84825514	11,43512	11,43512	10,74977	125,6037											
3	UPET (mm)	2,639557993	2,008933793	2,008933793	2,008933793	2,310258	3,386672	4,259376	4,636	4,368	3,80676	3,80676	3,386672												
4	Luz solar média mensal (N)	26,7	27,9	29,4	30	32,7	33	35,1	34,8	30,3	31,5	28,8	28,5												
5	Evapotranspiração potencial mensal (mm)	70,47619841	56,04925283	59,06265352	60,2680138	75,54543	111,7602	149,5041	161,3328	132,3504	119,913	109,6347	96,52015												
CÁLCULO DO BALANÇO INFILTRAÇÃO (IN) x EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (EP): (IN - EP)																									
6	Precipitação total mensal - P(mm)	46,3	78,3	32,2	106,2	260,3	154,6	414,2	356,2	248	251	165	25,6	2137,9											
7	Escoamento superficial (runoff) - R(mm)	7,871	13,311	5,474	18,054	44,251	26,282	70,414	60,554	42,16	42,67	28,05	4,352												
8	Infiltração - IN = (P - R) (mm)	38,429	64,989	26,726	88,146	216,049	128,318	343,786	295,646	205,84	208,33	136,95	21,248	1774,457											
9	Balanço - (IN - EP) (mm)	-32,04719841	8,93974717	-32,33665352	27,8779862	140,5036	16,55783	194,2819	134,3132	73,4896	88,41705	27,3153	-75,2721												
CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ET)																									
10	Perda de água acumulada - WL (mm)	-32,04719841	-32,04719841	-64,38385193	-64,38385193	-64,3839	-64,3839	-64,3839	-64,3839	-64,38385193	-64,3839	-64,3839	-139,656												
11	Água armazenada no solo - WS (mm)	27	27	7,698945932	27	27	27	27	27	27	27	27	1,455086												
12	Armazenamento de água mensal - ΔWS	0	0	-19,30105407	19,30105407	0	0	0	0	0	0	0	-25,5449												
13	Evapotranspiração real mensal - ET (mm)	38,429	56,04925283	46,02705407	60,2680138	75,54543	111,7602	149,5041	161,3328	132,3504	119,913	109,6347	46,79291												
CÁLCULO DO FLUXO DE PERCOLAÇÃO PARA A DRENAGEM (Q)																									
14	Percolação - PERC (mm)	0	8,93974717	0	8,576932136	140,5036	16,55783	194,2819	134,3132	73,4896	88,41705	27,3153	0												
15	Linha de Checagem - CK (mm)	46,3	78,3	32,2	106,2	260,3	154,6	414,2	356,2	248	251	165	25,6	2137,9											
16	Fluxo de percolação - Q (m ³ /s)	0	6,90623E-05	0	6,62594E-05	0,001085	0,000128	0,001501	0,001038	0,00056773	0,000683	0,000211	0												