

# GEOLOGIA AMBIENTAL:

## Tecnologias para o desenvolvimento sustentável - Vol. 2

Eduardo de Lara Cardozo  
(Organizador)



Eduardo de Lara Cardozo  
(Organizador)

**GEOLOGIA AMBIENTAL: TECNOLOGIAS PARA O  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 2**

---

Atena Editora

2017

*2017 by Eduardo de Lara Cardozo*

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira

**Edição de Arte e Capa:** Geraldo Alves

**Revisão:** Os autores

**Conselho Editorial**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza (UEPA)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana Regina Redivo (UNEMAT)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatric)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves (UFT)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera (IFAP)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G345

Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável  
2 / Organizador Eduardo de Lara Cardozo. – Ponta Grossa (PR):  
Atena Editora, 2017.

252 p. : 38.026 kbytes – (Geologia Ambiental; v. 2)

Formato: PDF

ISBN 978-85-93243-38-7

DOI 10.22533/at.ed.3870809

Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Geologia ambiental. 3. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Cardozo, Eduardo de Lara. II. Título. III. Série.

CDD-363.70

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

E-mail: [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## Apresentação

No segundo volume da obra **“Geologia Ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável”**, apresentamos estudos ligados à preocupação da relação entre o homem e o meio ambiente, da ocupação e alteração do espaço geográfico e suas consequências. De que maneira utilizar os recursos naturais presentes, tendo como foco o desenvolvimento sustentável.

A população mundial hoje está próxima a 7,5 bilhões de habitantes, no Brasil próximo a 210 milhões de habitantes e constantemente usufruindo dos recursos naturais para o seu desenvolvimento, sua existência. Mas sabemos que os recursos são finitos, precisamos encontrar alternativas, trabalhar os recursos hoje presentes de uma forma sustentável, garantindo a nossa existência, bem como das próximas gerações.

Esta coletânea de artigos trabalha em diferentes temas o uso desses recursos naturais e a preocupação ambiental. Estudos como avaliação de uso de solo laterítico como sub-base em pavimentos urbanos, características geotécnicas de uma argila e um resíduo da construção e demolição visando sua utilização conjunta como barreira capilar, o crescimento do mercado da construção civil e a preocupação ambiental no que diz respeito aos recursos naturais como a areia e a avaliação da permeabilidade intrínseca em alguns solos tropicais representativos do Brasil, são também discutidos.

Questões sobre planejamento, avaliação a partir da Engenharia de Resiliência, processos erosivos lineares do tipo ravina e boçoroca, mapeamento de áreas de riscos geológico na prevenção de perda de vidas e prejuízos econômicos, delimitação de áreas frágeis à ocupação, gestão de riscos urbanos, mapeamento e concepção de soluções para áreas de risco geológico, regularização fundiária de núcleos de ocupação precária e loteamentos irregulares, mapeamento do risco geológico e hidrológico, mapeamento geomorfológico de áreas densamente urbanizadas e mapeamento georreferenciado de deslocamentos horizontais e verticais de muros de contenção em gabião, são outros temas debatidos nesta coletânea.

E para fechar os diferentes temas trabalhados, temos estudos ligados à caracterização de solos das potenciais jazidas de empréstimos selecionadas para projetos das barragens e as investigações geológicas geotécnicas para a implantação da barragem de São Bento do UNA, no Estado de Pernambuco.

Diversos temas e informações integradas sobre a geologia ambiental e o desenvolvimento sustentável. Temas esses presentes em nosso cotidiano, e que nos auxiliam a encontrar maneiras para um desenvolvimento sustentável e a mitigação dos inúmeros impactos ambientais gerados por nós, nessa relação homem e meio ambiente.

Desejo uma excelente leitura e que os artigos aqui apresentados contribuam para o enriquecimento do conhecimento do leitor.

*Eduardo de Lara Cardozo.*

## SUMÁRIO

<b>Apresentação.....</b>	<b>03</b>
<b><u>CAPÍTULO I</u></b>	
<b>AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA E DA DURABILIDADE À MOLHAGEM E SECAGEM DE UM SOLO DE SINOP-MT ESTABILIZADO COM CAL</b>	
<i>Raul Tadeu Lobato Ferreira, Augusto Romanini, Celso Todescatto Junior, Flavio Alessandro Crispim, Julio César Beltrame Benatti e Rogério Dias Dalla Riva.....</i>	<b>07</b>
<b><u>CAPÍTULO II</u></b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOTECNICA DE UM RCD E UMA ARGILA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO BARREIRA CAPILAR</b>	
<i>Julio César Bizarreta Ortega e Tácio Mauro Pereira de Campos.....</i>	<b>19</b>
<b><u>CAPÍTULO III</u></b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO ARENITO FURNAS NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (PR) PARA USO EM ARGAMASSAS</b>	
<i>Melissa Zanferrari Godoy, Fabio Luiz Chemin, Patrícia Kruger e Luiz Carlos Godoy.....</i>	<b>34</b>
<b><u>CAPÍTULO IV</u></b>	
<b>AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE INTRÍNSECA EM SOLOS REPRESENTATIVOS DA PAISAGEM BRASILEIRA</b>	
<i>Luiza Silva Betim, Eduardo Antonio Gomes Marques, Klingner Senra Rezende, Brahmani Sidhartha Tibúrcio Paes, Vitor Luiz Reis de Almeida e Luana Caetano Rocha de Andrade.....</i>	<b>56</b>
<b><u>CAPÍTULO V</u></b>	
<b>ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA: UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO COM A GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES SOCIONATURAIS</b>	
<i>Andréa Jaeger Foresti, Luiz Antônio Bressani, Cornelia Eckert e Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.....</i>	<b>67</b>
<b><u>CAPÍTULO VI</u></b>	
<b>EROSÕES LINEARES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE, SP</b>	
<i>Gerson Salviano de Almeida Filho, Maria Cristina Jacinto de Almeida, Tatiane Brasil de Freitas e Zeno Hellmeister Júnior.....</i>	<b>87</b>
<b><u>CAPÍTULO VII</u></b>	
<b>ESTUDO PRELIMINAR DE RISCOS GEOLÓGICOS EM REGIÃO DO MUNICÍPIO DE ARENÁPOLIS, MT: ETAPA PREPARATÓRIA DE DETALHAMENTO DE CAMPO</b>	
<i>Natália de Souza Arruda, Thiago de Oliveira Faria e Fernando Ximenes de Tavares Salomão.....</i>	<b>103</b>

## CAPÍTULO VIII

FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE NO BAIRRO BRIGADEIRO TOBIAS, SOROCABA-SP  
*Camila Bertaglia Carou, Fernando Nadal Junqueira Villela, Eduardo Soares de Macedo e Marcos Roberto Martines.....114*

## CAPÍTULO IX

GESTÃO DE RISCOS COMO POLÍTICA PÚBLICA PRIORITÁRIA NA REGIÃO DO GRANDE ABC  
*Luiz Antonio Bongiovanni e Sandra Teixeira Malvese.....125*

## CAPÍTULO X

LEVANTAMENTO, MAPEAMENTO E CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES PARA PROBLEMAS NAS ÁREAS DE RISCO DOS BAIROS DE NOVA CAPÃO BONITO, SÃO JUDAS TADEU, VILA APARECIDA E VILA JARDIM SÃO FRANCISCO, MUNICÍPIO DE CAPÃO BONITO, SP  
*Priscila Taminato Hirata, Fabrício Araujo Mirandola, Eduardo Soares de Macedo, Marcela Penha Pereira Guimarães, Claudio Luis Ridente Gomes e Alessandra Cristina Corsi.....136*

## CAPÍTULO XI

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES E DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPs) EM NÚCLEOS E LOTEAMENTOS IRREGULARES NO MUNICÍPIO DE SÃO ROQUE, SP  
*Priscila Ikematsu, Eduardo Soares de Macedo, Alessandra Cristina Corsi, André Luiz Ferreira, Fabrício Araújo Mirandola e Priscilla Moreira Argentin.....151*

## CAPÍTULO XII

MAPEAMENTO DO RISCO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO DO MUNICÍPIO DE CASTELO - BRASIL  
*Leonardo Andrade de Souza, Marco Aurélio Costa Caiado, Gilvimar Vieira Perdigão, Sílvia C. Alves, Larissa Tostes Leite Belo e Raphael Henrique O. Pimenta.....168*

## CAPÍTULO XIII

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE ÁREAS DENSAMENTE URBANIZADAS  
*Alberto Franco Lacerda.....184*

## CAPÍTULO XIV

MONITORAMENTO GEORREFERENCIADO DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DE MUROS DE CONTENÇÃO EM GABIÃO  
*Nilton de Souza Campelo, Mário Jorge Gonçalves Santoro Filho, Otávio César de Paiva Valadares, Michael Douglas da Costa Paes e Aroldo Figueiredo Aragão.....196*

## CAPÍTULO XV

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, COMPRESSIBILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE TRÊS MISTURAS DE SOLOS PARA BARRAGENS DE TERRA EM SANTA CATARINA  
*Nilo Rodrigues Júnior, Vitor Santini Müller, Matheus Klein Flach, Murilo da Silva Espíndola, Daniel Galvão Veronez Parizoto, Gabriela Bessa e Juan Antonio Altamirano*

Flores.....209

Capítulo XVI

INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM SÃO BENTO DO UNA - PE

*Hosana Emilia Abrantes Sarmiento Leite, Diana Damásio e Castro Lopes, Rafaella Teixeira Miranda e Maiara de Araújo Porto.....223*

**Sobre o organizador.....241**

**Sobre os autores.....242**

## **CAPÍTULO II**

### **CARACTERIZAÇÃO GEOTECNICA DE UM RCD E UMA ARGILA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO BARREIRA CAPILAR**

---

**Julio César Bizarreta Ortega  
Tácio Mauro Pereira de Campos**

# CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE UM RCD E UMA ARGILA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO BARREIRA CAPILAR

**Julio César Bizarreta Ortega**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Rio de Janeiro - Rio de Janeiro.

**Tácio Mauro Pereira de Campos**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Rio de Janeiro - Rio de Janeiro

**RESUMO:** Um sistema de cobertura final do tipo barreira capilar consiste em uma camada fina sobre uma camada grossa, ambas com diferentes propriedades hidráulicas não saturadas. Uma das aplicações de este sistema é proteger da percolação de água os aterros de resíduos sólidos urbanos, rejeitos de mineração, resíduos nucleares, entre outros. Em este artigo se avaliam as características geotécnicas de uma Argila e um resíduo da construção e demolição (RCD) visando sua utilização conjunta como barreira capilar. Amostras indeformadas e amolgadas da argila e RCD foram coletadas de uma cobertura pré-existente e levadas ao laboratório para sua respectiva caracterização. Os resultados mostraram um importante potencial como barreira capilar de estes materiais em conjunto, importantes faixas das curvas de função de condutividade hidráulica mostram o RCD com uma menor condutividade hidráulica que a Argila. A argila mostrou uma razoável capacidade de armazenamento de água possibilitando seu funcionamento também como cobertura evapotranspirativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduo da construção e demolição; barreira capilar; aterros sanitários.

## 1. INTRODUÇÃO

A deposição inadequada do RCD gera uma grande quantidade de impactos ambientais negativos para uma cidade, como os citados por Pinto (1999). A reutilização e reciclagem de estes resíduos é uma solução sustentável. O panorama de reciclagem no Brasil mostra um aumento das usinas de reciclagem nos últimos anos, com um beneficiamento econômico ainda com níveis baixos em relação as usinas europeias (Miranda et al., 2009; ABRECON 2015).

O objetivo de este trabalho é avaliar as possibilidades de emprego conjunto do RCD e argila como materiais para uma cobertura final do tipo barreira capilar.

Nos projetos de cobertura final de aterros de resíduo sólido urbano não é usual ainda o emprego do RCD, no entanto, pesquisas já foram efetuadas no Brasil por Barros (2005), Barbosa et. al. (2009) e Silva Junior (2009). A barreira capilar é formada por duas camadas contíguas (camada grossa sob camada fina) com

acentuado contraste de tamanho dos poros, sucção e condutividade hidráulica. Tal tipo de cobertura já foi aplicada para proteger resíduos nucleares, rejeitos de mineração e aterro de resíduos sólidos urbanos.

Na Figura 1 se mostra as curvas de função de condutividade hidráulica ( $k(\Psi)$ ) pela sucção ( $\Psi$ ) de dois materiais com potencial para ser utilizados como barreira capilar. Considerando ambas as camadas com saturação próxima da saturação residual (espaços vazios de ar plenamente conectados), pelas forças mátricas (capilares e adsorção), de acordo com Brady e Weil (2009) os macroporos da camada grossa exercem uma menor atração pela água que os poros menores da camada fina, dessa forma é difícil o ingresso da água para a camada grossa. Para manter a barreira capilar é preciso que a camada fina apresente uma sucção consideravelmente maior que a camada grossa (Oldenburg e Pruess, 1993; Aubertin et al. 2009), tal contraste de sucções é fundamental para manter o potencial total da água da camada grossa bem maior que da camada fina perto da interface de ambas. A partir de uma determinada sucção crítica ( $\Psi_c$ ) a condutividade hidráulica do material grosso é consideravelmente menor que do material fino (Kämpf et al., 2003), sucções maiores estão incluídas na faixa da barreira capilar da Figura 1. Dessa forma, quando a água infiltra e o frente de molhamento atinge as proximidades da interface, a sucção do material fino diminui até igualar a do material grosso, nessa condição, o ingresso da água é iminente, e pode por isso considerar que deve existir ainda um contraste mínimo de condutividades hidráulicas ( $\Delta k(\psi)_{\min}$ ).

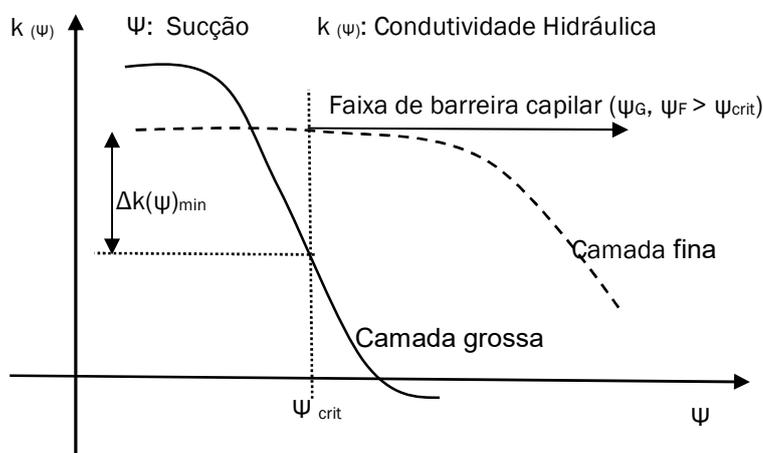


Figura 1. Potencial de barreira capilar

Os sistemas de barreiras capilares inicialmente foram estudados empregando camadas de materiais não coesivos (Ross, 1990; Kämpf e Montenegro, 1997; Stormont e Anderson 1999), areia fina – areia grossa, areia fina – cascalho fino, entre outros. Para esses casos, a elevada condutividade hidráulica da camada fina favorece a percolação lateral da água ao longo da interface ao invés que para a camada grossa. A inclusão de materiais coesivos como camada fina da barreira capilar é equivalente a uma cobertura evapotranspirativa

melhorada. A camada fina trabalha armazenando e liberando água dos poros segundo varia as condições climáticas. O efeito de barreira capilar gerado ao colocar uma camada grossa abaixo da camada fina, melhora a capacidade de armazenamento (Khire et al 2000). A percolação lateral ao longo da interface não é muito significativa quando os materiais finos (exemplo os coesivos) apresentam uma baixa condutividade hidráulica. Pesquisas relativas a materiais coesivos usados como camada fina incluem os solos residuais, resíduos da indústria de papel, lodos da estação de tratamento de chorume (Krisdani et al., 2005; Parent e Cabral, 2006; Bizarreta, 2009, Bizarreta e De Campos, 2011). Alguns materiais argilosos podem apresentar pontos desfavoráveis na sua aplicação como camada fina pela possibilidade de formação de trincas profundas e também a possibilidade de erosão hidráulica (Albright e Benson, 2002). Os aspectos erosivos não serão estudados neste artigo, mas sim a formação de trincas.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais**

Os materiais envolvidos na pesquisa (Argila e RCD) foram coletados da cobertura final (provisória) do Aterro Municipal Jardim de Gramacho (AMJG) no Rio de Janeiro (Figura 2), amostras indeformadas e amolgadas para a Argila, e unicamente amolgadas para o RCD. Procedimentos da norma ABNT para solos e resíduos sólidos foram seguidos para a retirada e transporte das amostras. Na amostragem do RCD foi observada uma grande heterogeneidade para a escolha da amostra representativa, parece ser uma característica de estes materiais, alguns pesquisadores mencionam que mesmo com materiais reciclados de RCD tal variabilidade persiste (Jonh e Ângulo 2003, Santos 2007).

### **2.2 Métodos**

#### **Caracterização**

A composição gravimétrica do RCD foi efetuada por separação tátil-visual do material graúdo, de acordo com a NBR:15116 (ABNT 2004). Ensaios convencionais de caracterização geotécnica foram realizados para o RCD e a Argila, baseados na Norma Brasileira (NBR). Foram efetuados assim com a amostra total o ensaio de granulometria, e com a amostra miúda (menor que 4,8 mm) os ensaios de densidade dos grãos, limite de liquidez, limite de plasticidade, teor de matéria orgânica e compactação. O ensaio de compactação foi realizado com a energia do Proctor Normal e sem reuso de amostras. A caracterização química foi feita por meio da análise qualitativa por espectrometria de fluorescência de raios X utilizando um espectrômetro de raios-X por energia dispersiva, modelo EDX-700 da

Shimadzu, do Laboratório de Catálise do Departamento de Química da PUC-Rio. As amostras para estes ensaios foram preparadas em forma de pó do material que passa na peneira # 200 (obtido por pulverização com morteiro de cerâmica).

### **Propriedades hidráulicas não saturadas**

As curvas de retenção de umidade foram realizadas com a parte miúda do RCD, usando a técnica do papel de filtro em ensaios executados conforme metodologias desenvolvidas na PUC-Rio (Villar e De Campos, 2001). O papel de filtro utilizado foi Whatman N°42 com a curva de calibração estabelecida por Chandler et al (1992). As curvas de retenção a determinar neste trabalho são unicamente de secagem. Para a obtenção dos anéis com corpos de prova de RCD compactados foi utilizada uma pressão estática em amostras preparadas com umidade ótima do Proctor Normal (em anéis de 34.9 mm de diâmetro e 20.5 mm). A amostragem dos corpos de prova indeformados foi a traves da cravação de anéis biselados (47.5mm de diâmetro por 20.5mm de altura) nos brocos indeformados. Uma análise táctil-visual dos blocos indeformados mostrou algumas heterogeneidades da Argila, por isso na retirada dos corpos de prova indeformados (no anel biselado) foram evitados setores com características diferentes. Tanto os corpos de prova do RCD como da Argila foram saturados por capilaridade durante 24 horas e depois colocada a vácuo no dessecador por uma hora. Posteriormente, os corpos de prova foram colocados ao contato livre com o ambiente do laboratório (temperatura de 20°C) para sua secagem gradual por evaporação, cada vez que um corpo de prova atinge a umidade desejada é envolto por um filme plástico transparente durante dois dias, com a finalidade de equalização de umidade. Dessa forma, são obtidos vários corpos de prova com umidades diferentes para a futura elaboração da curva de retenção. Passado esse tempo, coloca-se o papel de filtro em contato com cada corpo de prova na face superior e inferior, é envolto com filme plástico, papel de alumínio e um segundo filme plástico, ficando assim armazenado em uma caixa fechada de isopor por um tempo de 10 dias para o equilíbrio da sucção papel-solo. Finalmente é medido a umidade do papel de filtro, a umidade do solo, a massa e volume do corpo e prova.

Para a determinação da função de permeabilidade não foi realizado um ensaio específico, foi estimada através do modelo de Fredlund et al. (1994), usando como dados experimentais da curva de retenção de umidade e a condutividade hidráulica saturada. A condutividade hidráulica saturada das amostras compactadas foi determinada pelo método de carga variável com o equipamento de parede rígida, seguindo as recomendações da ABNT, e usando a umidade ótima do Proctor Normal para cada compactação. As amostras indeformadas foram ensaiadas usando o método de carga constante no Permeômetro de parede flexível desenvolvido no laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio, a preparação das amostras seguiram os processos convencionais para ensaios triaxiais recomendados pela ABNT.

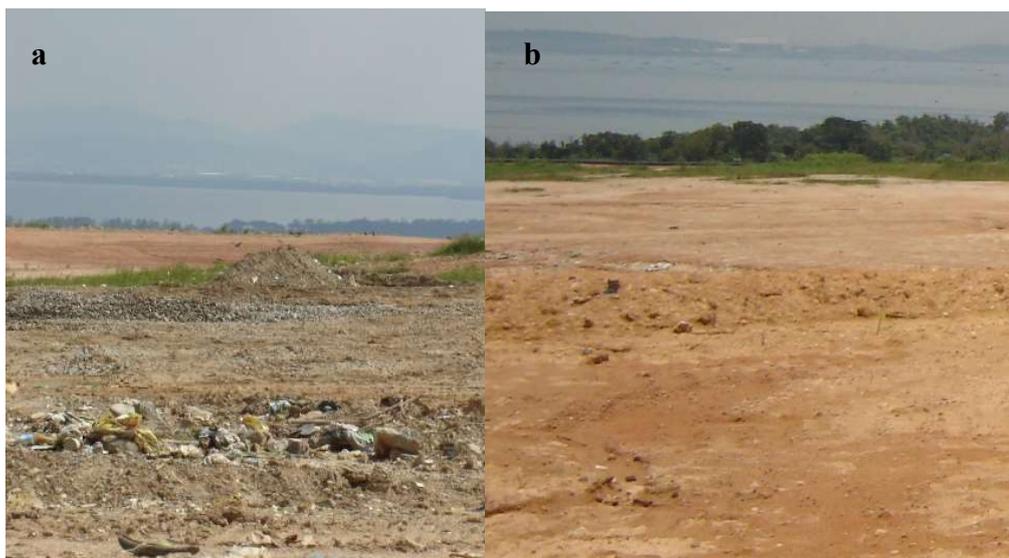


Figura 2. Local de coleta do RCD (a) e Argila (b) no AMJG

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização

Na Tabela 1 e Figura 3 se apresentam os resultados da composição gravimétrica do RCD. O RCD engloba em sua composição diferentes resíduos e materiais relativos a construção. O principal componente é o material miúdo (formado por restos dos materiais graúdos entre outros). Dos materiais graúdos o componente principal é o concreto. O material miúdo também tem como componente principal o concreto (restos menores que 4,8 mm). Os materiais orgânicos do RCD possuem pouca representatividade em peso, mas considerável volume como o caso do isopor, madeira, plásticos, entre outros. De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), observou-se que do total coletado o maior percentual foi o Classe A, com 94,8%.

A Tabela 2 mostra um resumo dos resultados dos ensaios de caracterização física realizados. A Figura 4 mostra as curvas de distribuição granulométrica obtidas. Com base nestas informações, de acordo com a ABNT, o material denominado Argila é classificado como sendo um silte arenoso, enquanto que o material RCD é classificado como uma areia grossa a média, pedregulhosa. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos, o material Argila é classificado como uma argila de baixa plasticidade, CL, e, o RCD, como uma areia mal graduada, SP.

Tabela 1. Resumo da composição gravimétrica do RCD.

Tipo de resíduo	Características	Classe (*)	Peso	%
Concreto	Restos de concreto	A	1411,4	29,7
Tijolo	Alguns misturados com areia e argamassas	A	291,5	6,1
Cerâmicos	Restos de azulejos de paredes e pisos	A	205,5	4,3
Pedras	Blocos principalmente de granito	A	195,3	4,1
Argamassa	Principalmente de gesso	A	46,4	1,0
Material miúdo	Passante na peneira 4 (4,74 cm)	A, B	2429	51,2
Outros inorgânicos	Metais, vidro, material inorgânico não definido	A, B	92,4	1,9
Outros orgânicos	Madeira, isopor, entre outros. (Ocupam grande volume)	B	68,5	1,4

(\*) De acordo com Resolução nº 307 do CONAMA-2002 (BRASIL, 2002)

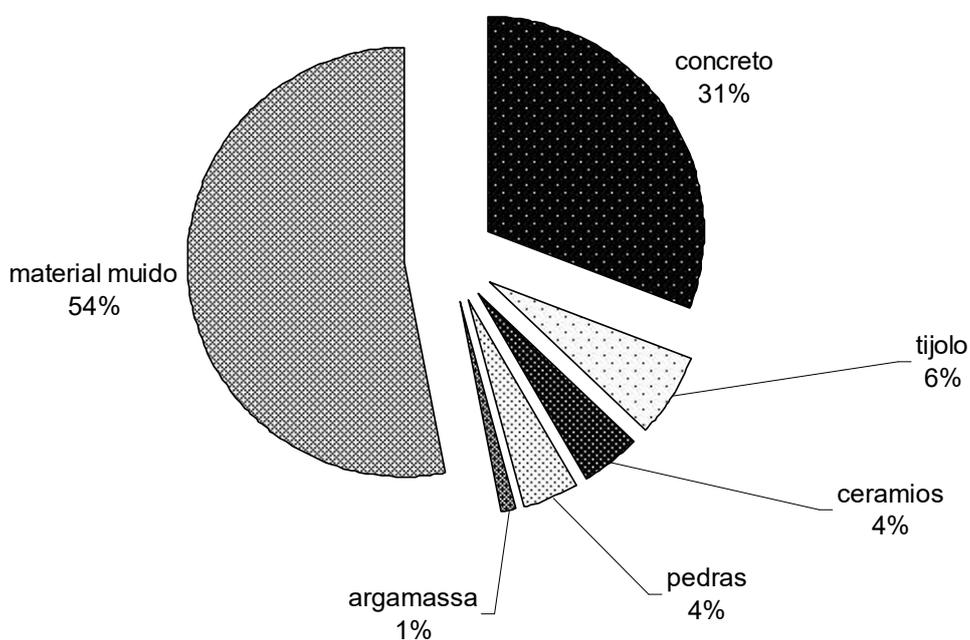


Figura 3. Composição gravimétrica do RCD

Tabela 2. Resumo dos ensaios de caracterização física.

Material	Granulometria (%)				G <sub>s</sub>	Limites de Atterberg (%)		
	Pedreg.	Areia	Silte	Argila		w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	IP
Argila	0,0	46,3	41,7	12,0	2,772	42,5	21,0	21,5
RDC	41,1	57,8	1,1	0,0	2,635	–	–	NP

G<sub>s</sub> = densidade relativa dos grãos  
w<sub>L</sub> = limite de liquidez; w<sub>P</sub> = limite de plasticidade; IP = índice de plasticidade

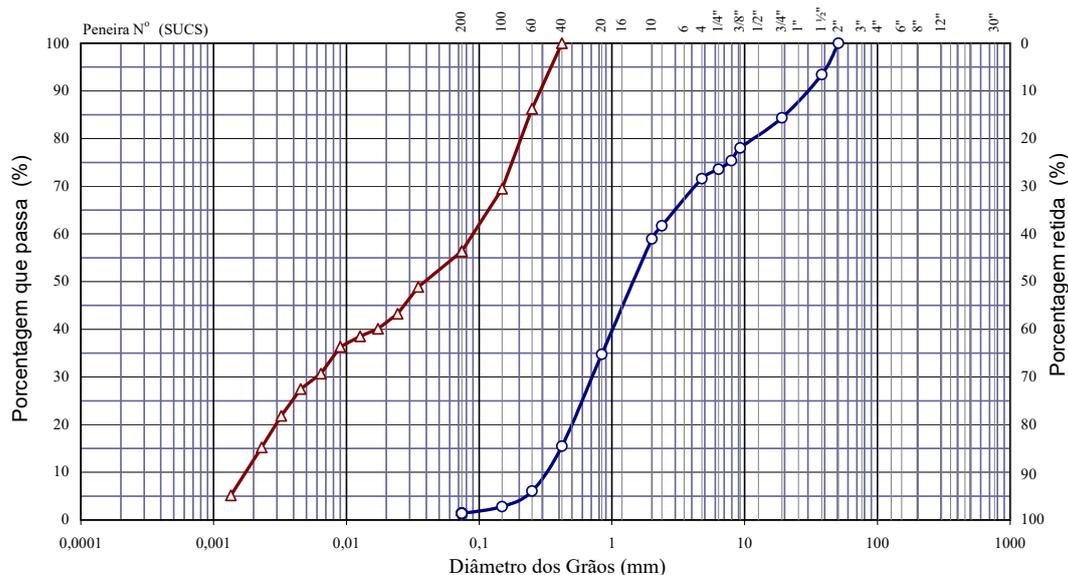


Figura 4. Composição gravimétrica do RCD

A quantificação dos principais óxidos que compõem o material miúdo do RCD e da Argila é fundamental para conhecer as propriedades da fração fina (menor que 75  $\mu\text{m}$ ). A fração fina poderia influir nas propriedades da curva de retenção dos materiais. A Tabela 3 mostra a composição química para as amostras estudadas. O RCD apresenta em sua composição química óxidos de sílice, alumínio, cálcio e ferro; os quais são constituintes fundamentais do cimento Portland, o que confirma a predominância do material concreto na fração fina do resíduo. Os óxidos de sílice (sílica) são predominantes com 46,5%, de similar importância apresentasse os óxidos de alumínio (alumina), óxidos de cálcio e ferro presentes em quantidades menores a 5%. Para a Argila é possível inferir a predominância do  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na faixa de 52,93% e dos óxidos de silício na faixa de 42,1%, e com uma quantidade menor de 4,4% o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Estes óxidos podem estar associados a presença predominante de caulinita, a mesma que é responsável pelo desenvolvimento de plasticidade, contração e expansão das amostras de Argila.

Tabela 3. Resultados das análises de fluorescência de raios-X

Óxidos (%)	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Ti}_2\text{O}$
RCD	46,50	40,40	4,60	4,40	2,55	0,81
Argila	42,10	52,93	0,07	3,70	0,30	0,67

A Figura 5 mostra as curvas de compactação de cada material, obtidas com a energia do Proctor Normal. A Tabela 4 mostra os parâmetros ótimos de compactação determinados a partir dos resultados obtidos em laboratório.

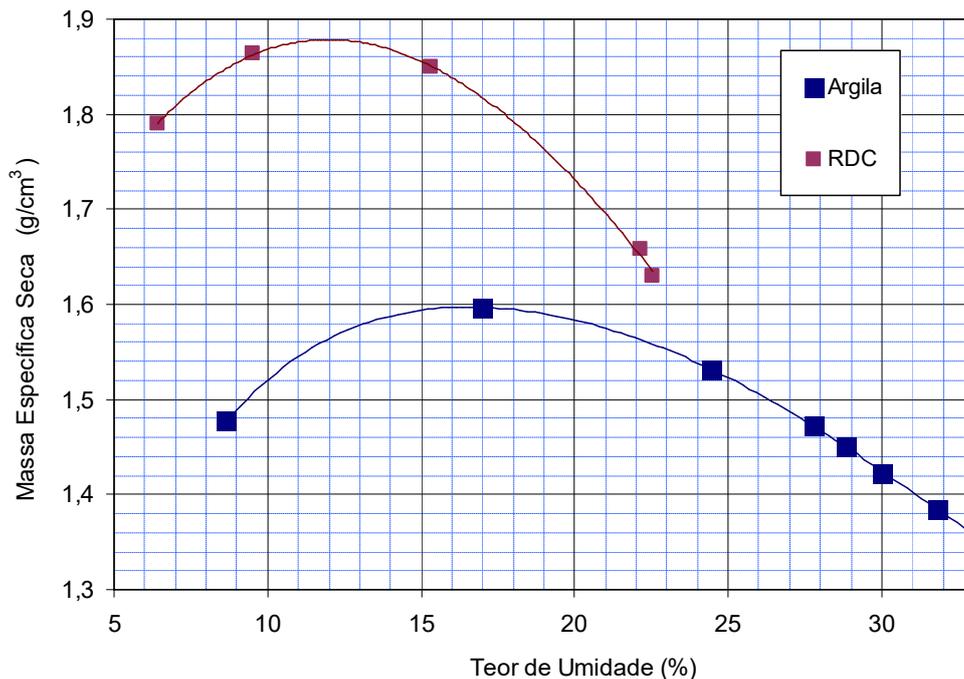


Figura 5. Curvas de compactação Proctor Normal

Tabela 4. Parâmetros ótimos de compactação em laboratório

Material	Umidade Ótima (%)	Massa Específica Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )
Argila	16,5	1,60
RDC	12,0	1,88

### 3.2 Propriedades hidráulicas não saturadas

Os ensaios de papel de filtro além de determinar a curva de retenção permitem observar algumas características dos processos de secagem e o umedecimento, tais como a uniformidade da variação volumétrica, a formação de trincas e o fechamento das mesmas, entre outros rasgos físicos dos materiais. Na Figura 6 observa-se as características físicas visuais das amostras (Argila e RDC) após secagem na estufa. A amostra de RDC não sofreu alteração alguma em relação a sua variação volumétrica. A argila apresentou uma variação volumétrica pela contração da ordem de 18-20% e a presença de trincas com profundidades máximas de 5mm e aberturas da ordem de 1mm. No processo de umedecimento as trincas fecharam e não foi possível observá-las ao olho humano. O problema das trincas se agrava se as trincas são muito profundas e ultrapassam a camada argilosa, e também se elas não fecham no processo de umedecimento. As características de contração e formação de trincas estão vinculadas a possível presença do argilomineral caulinita.



Figura 6. Amostras dos materiais após a secagem

Na Figura 7 se mostram as curvas de retenção de umidade obtidas para os materiais Argila e RDC, respectivamente. O material Argila apresenta, nitidamente, uma configuração de um material com dupla estrutura de poros. O material RDC aparentemente apresenta uma configuração de vazios unimodal. Claramente, a capacidade de retenção de água do material Argila é muito maior que a do RCD. Do ponto de vista de sua aplicação como barreira capilar, a Argila vai trabalhar como um armazém de água nas épocas de precipitações devido ao impedimento de fluxo imposto pelo RCD. Nas estações de seca a água retida pela argila será liberada por evaporação, dessa forma a barreira capilar funcionaria também como uma cobertura evapotranspirativa (Abichou et al. 2004). A curva de retenção do RCD apresenta um valor de entrada de ar muito baixo (da ordem de 1kPa) e uma suave inclinação, apresentando uma sucção de 2000kPa para uma umidade volumétrica de 6%. A curva de retenção da Argila apresenta um valor de entrada de ar da ordem de 20kPa, apresentando para a sucção de 2000kPa uma umidade volumétrica de 30%, muito maior que o RCD.

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados dos ensaios de condutividade hidráulica saturada ( $k_{sat}$ ) de ambos os materiais. Os valores de  $k_{sat}$  para Argila indeformada mostraram ser 100 vezes maior que a Argila compactada, tal diferença, potencialmente, decorre de diferenças existentes entre condições de compactação de campo e laboratório, sendo, esta última, mais rigorosa.

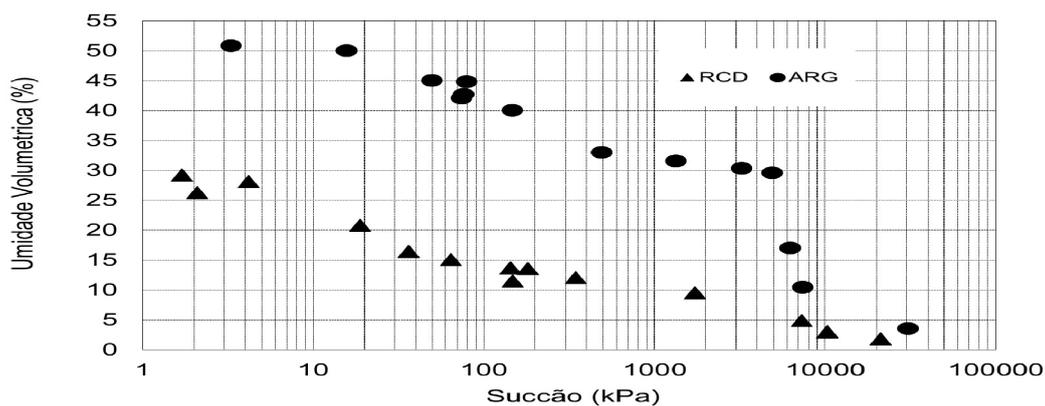


Figura 7. Curvas de retenção de umidade

Tabela 5. Resultados dos ensaios de permeabilidade de laboratório.

Material	Amostra	$k_{sat}$ (cm/s)	Equipamento
Argila	Compactada	8,70E-08	Parede Rígida
		2,60E-07	
		1,10E-07	
Argila	Indeformada	5,90E-06	Parede flexível (Triaxial)
		1,60E-05	
		1,20E-05	
RCD	Compactada	3,90E-06	Parede Rígida
		7,50E-06	

Na Figura 8 apresenta-se as curvas de função de permeabilidade da Argila compactada ( $k_{sat}=1,5E-07\text{cm/s}$ ), a Argila indeformada ( $k_{sat}=1,1E-05\text{cm/s}$ ), e do RCD ( $k_{sat}=3,64E-06\text{cm/s}$ ). A faixa potencial de formação da barreira capilar é maior para a Argila indeformada - RCD que para Argila compactada - RCD. Em este caso, um aumento da condutividade hidráulica da camada argilosa favorece a diferença entre as condutividades hidráulicas da Argila-RCD. Se bem a compactação tem um ganho na redução de vazios, e condutividade hidráulica saturada, não favorece a diferença de condutividades hidráulicas com a camada grossa.

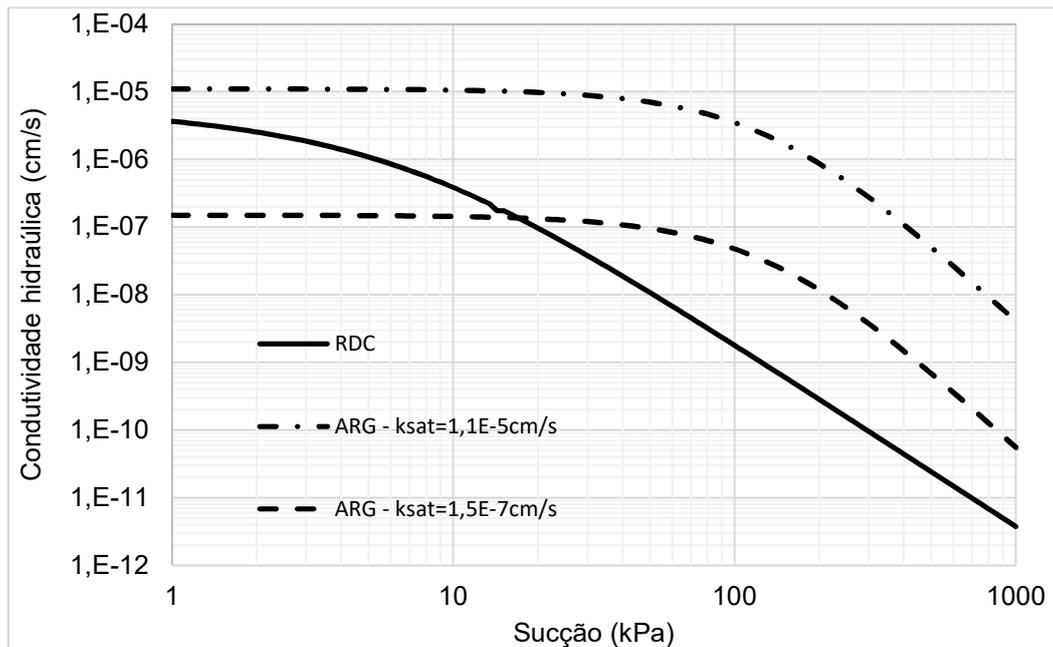


Figura 8. Curvas de função de permeabilidade

#### 4. CONCLUSÕES

O RCD foi caracterizado por uma composição heterogênea de resíduos onde predomina o resíduo de concreto (graúdo e miúdo). Mesmo assim, mostrou ter boas condições hidráulicas quando for compactado com a energia do Proctor Normal ou superior.

A Argila além de funcionar como camada fina para uma barreira capilar poderia atuar como cobertura evapotranspirativa devido as boas condições de armazenamento de água que apresenta.

As trincas apresentadas nos processos de secagem foram superficiais e de pouca abertura, fecharam no processo de umedecimento, pelo que seria difícil sua influência no comportamento hidráulico da camada fina.

As diferenças das curvas de função de permeabilidade do RCD e da Argila mostraram o potencial funcionamento como barreira capilar. A Argila indeformada apresentou um melhor comportamento como camada fina da barreira capilar que a Argila compactada devido à maior diferença de permeabilidades com a camada grossa (RCD). Neste caso, materiais com melhores condições de compactação podem não apresentar as melhores condições hidráulicas para a cobertura de tipo barreira capilar.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.116**: agregados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de

concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004

ABRECON - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Relatório de pesquisa Setorial 2014/2015**. UFPR – Universidade Federal do Paraná, 2015, 30p.

ABICHOU, Tarek; LIU, Xiaoli; TAWFIQ, Kamal. Design of cost effective lysimeters for alternative landfill cover demonstrations projects. **Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Report**, p. 04-0232007, 2004.

ALBRIGHT, William H.; BENSON, Craig H. Alternative cover assessment program 2002 annual report. **Desert Research Institute Publication**, n. 41182, 2002.

AUBERTIN, M. et al. Analyses of water diversion along inclined covers with capillary barrier effects. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 46, n. 10, p. 1146-1164, 2009.

BARROS, M. C. **Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para um sistema de cobertura**. Dissertação de mestrado, COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

BARBOSA, M. C.; AFFONSO, F. J. A. ; BARROS, M. C. Agregados reciclados de RCDs em coberturas e sistemas de drenagem de aterros. In: Seminário de Valoração de Resíduos em Obras Geotécnicas -VROG2009, 2009, Aveiro. **Seminário de Valoração de Resíduos em Obras Geotécnicas**. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2009.

BIZARRETA, J. C. O. **Avaliação do potencial de uso de resíduo da indústria de papel em sistemas de barreiras capilares**. Dissertação de mestrado, DEC/PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2009.

BIZARRETA, J. C. O.; DE CAMPOS, T. M. P. Caracterização do lodo de uma estação de tratamento de chorume visando seu emprego em coberturas finais de ARSU. In: REGEO 2011, 2011, Belo Horizonte. **Anais do REGEO 2011**, 2011.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama n. 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF, 5 jul. 2002.

CHANDLER, R. J.; CRILLY, M. S.; SMITH, M. G. A low-cost method of assessing clay desiccation for low-rise buildings. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering**. Thomas Telford-ICE Virtual Library, 1992. p. 82-89.

FREDLUND, D. G.; XING, Anqing; HUANG, Shangyan. Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 31, n. 4, p. 533-546, 1994.

JOHN, Vanderley M.; ÂNGULO, Sérgio Cirelli. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. **Coletânea Habitare**, v. 4, p. 8-71, 2003.

KÄMPF, Markus; MONTENEGRO, Hector. On the performance of capillary barriers as landfill cover. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 1, n. 4, p. 925-930, 1997.

KÄMPF, M.; HOLFELDER, T.; MONTENEGRO, H. Identification and parameterization of flow processes in artificial capillary barriers. **Water resources research**, v. 39, n. 10, 2003.

KHIRE, Milind V.; BENSON, Craig H.; BOSSCHER, Peter J. Capillary barriers: Design variables and water balance. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 126, n. 8, p. 695-708, 2000.

KRISDANI, Henry; RAHARDJO, Harianto; LEONG, Eng-Choon. Behaviour of capillary barrier system constructed using residual soil. In: **Waste Containment and Remediation**. 2005. p. 1-15.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Elcio D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

OLDENBURG, Curtis M.; PRUESS, Karsten. On numerical modeling of capillary barriers. **Water Resources Research**, v. 29, n. 4, p. 1045-1056, 1993.

PARENT S.; CABRAL A. Design of inclined covers with capillary barrier effect. **Geotechnical and Geological Engineering**, 24: 689- 710, 2006.

PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ROSS, Benjamin. The diversion capacity of capillary barriers. **Water Resources Research**, v. 26, n. 10, p. 2625-2629, 1990.

SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**, Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos- USP, São Paulo, 2007.

SILVA JUNIOR, M. A. B. **Aproveitamento do resíduo da construção e demolição**

beneficiado, como material para cobertura de aterros na Região Metropolitana do Recife. Relatório de Iniciação Científica Pibic/UPE, 2008/2009, Recife/P, 2009.

STORMONT, J.C.; ANDERSON C.E. Capillary Barrier Effect of Fine-over-coarse Soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 8, pp. 641 – 648, 1999.

VILLAR, L.; DE CAMPOS. Obtenção da curva característica de sucção pelo uso combinado de técnicas diversas. *Anais do 4° Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados*, Porto Alegre, pp. 337-353, 2001.

**ABSTRACT:** A capillary barrier system consists of a layer of fine soil over layer of coarse soil with different unsaturated hydraulic properties. One of the applications of this system is to protect from municipal solid waste landfill, mine tailings, nuclear waste, and others. This article evaluates the geotechnical characteristics of a clay and a CDW (construction and demolition waste) for use as a capillary barrier. Undisturbed and disturbed samples (RCD and Clay) were collected from a pre-existing final cover and taken to the laboratory for their respective characterization. The results showed an important capillary barrier potential of these materials together, important intervals of the hydraulic conductivity curves show the RCD with a lower hydraulic conductivity than the Clay. The clay showed a reasonable water storage capacity allowing it to function as evapotranspiration cover.

**KEYWORDS:** construction and demolition waste; capillary barrier; sanitary landfill.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-93243-38-7



9 788593 243387