

# Engenharia Hidráulica e Sanitária



Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

# Engenharia Hidráulica e Sanitária



Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Karine de Lima  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobom – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	Engenharia hidráulica e sanitária [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-895-3 DOI 10.22533/at.ed.953192312  1. Engenharia. 2. Engenharia sanitária I. Silva, Helenton Carlos da.  CDD 628.362
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Engenharia Hidráulica e Sanitária*” publicada pela Atena Editora apresenta, em seus 18 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da engenharia sanitária e hidráulica brasileira, destacando-se a área ambiental.

Neste contexto, o diagnóstico ambiental pode ser uma importante ferramenta no controle e preservação do meio ambiente, sendo uma caracterização da qualidade ambiental da área estudada, fornecendo informações para identificar e avaliar impactos nos meios físico, biológico e socioeconômico.

É importante que, para que sejam sustentáveis, as áreas urbanas necessitem manter um equilíbrio entre as atividades econômicas, crescimento populacional, infraestrutura e serviços, poluição, desperdício, barulho, entre outros; de modo que o sistema urbano e suas dinâmicas se desenvolvam em harmonia, limitando internamente, tanto quanto possível, os impactos negativos sobre o ambiente natural.

Nesta linha, o saneamento básico pode ser compreendido como um componente necessário para promoção da saúde, principalmente para as populações em condição de vulnerabilidade social, tal qual em bairros populares e periféricos do meio urbano ou comunidades tradicionais do campo brasileiro.

Em razão do crescimento de áreas urbanas, houve um aumento excessivo na geração de resíduos, gerando uma série de problemas de ordem ambiental, econômica e social.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados à engenharia hidráulica e sanitária brasileira, compreendendo as questões acerca do meio ambiente, como a gestão dos resíduos sólidos gerados, formas de tratamento da água, bem como a análise de políticas de desenvolvimento visando à preocupação com as questões ambientais. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
MEDIDA PROVISÓRIA NO 868/2018: TENTATIVA DE DESCONSTRUÇÃO DA POLÍTICA PÚBLICA DE SANEAMENTO BÁSICO VIGENTE NO BRASIL	
Luiz Roberto Santos Moraes Patrícia Campos Borja	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923121</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
TECNOLOGIA APROPRIADA SOB A ÓTICA DA LEI 11.445/2007. UMA APLICAÇÃO NA COMUNIDADE RURAL SERRA DO BRAGA I – PB	
Elissandra Cheu Pereira do Nascimento Katharine Taveira de Brito Medeiros Bruno de Medeiros Souza Aluisio José Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923122</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>27</b>
POLÍTICA TARIFÁRIA E DESEMPENHO ECONÔMICO DAS EMPRESAS DE SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL: ESTIMATIVAS DOS IMPACTOS REGULATÓRIOS – 1995-2016	
Cristiano Ponzoni Ghinis Adelar Fochezatto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923123</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>41</b>
IMPORTÂNCIA DA COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO PÚBLICO DE SANEAMENTO RURAL, A MATRIZ TECNOLÓGICA E O MODO DE VIDA CAMPONÊS	
Tássio Gabriel Ribeiro Lopes Luiz Roberto Santos Moraes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923124</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>57</b>
CONTRIBUIÇÕES PARA DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANHUAÇU	
Gabriel Figueiredo Pantuzza Silva Juliana Leal Henriques Hubert Mathias Peter Roeser	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923125</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
DEMONSTRAÇÃO DO PROCESSO DE CÁLCULO DE VAZÃO DE ÁGUA E DIMENSIONAMENTO DE BOMBA CENTRÍFUGA PARA OPERAÇÃO DE TORRES DE RESFRIAMENTO	
Wictor Gomes de Oliveira Lucas Rodrigues Oliveira Marcos Cláudio Gondim Lucas de Sousa Camelo Daniel Gerard Araújo Pinheiro Ferdinando Cícero Pontes de Queiroz João Paulo Correia Teixeira Stepherson Lopes Alcântara	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923126</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>79</b>
DIAGNÓSTICO DA BALNEABILIDADE NAS PRAIAS DE ALAGOAS ENTRE O ANO DE 2015 E 2018	
Thomás Correia Lins	
Camila Acioli Marinho	
Joabe Gomes de Melo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923127</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>93</b>
POTABILIDADE DA ÁGUA: A PERCEPÇÃO DO MORADOR EM VITÓRIA	
Cibele Esmeralda Biondi Ferreira	
Fátima Maria Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923128</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>105</b>
PROPOSTA DE GESTÃO DE RISCO APLICÁVEL ÀS ETAPAS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAL – INSTRUMENTO DE IDENTIFICAÇÃO, AVALIAÇÃO E RESPOSTAS AOS RISCOS	
Neusa Isabel Gomes dos Santos	
Arlindo Soares Räder	
Efraim Martins Araújo	
Elisabeth Ibi Frimm Krieger	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9531923129</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>119</b>
OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DE ÁGUA BRUTA COM BAIXA TURBIDEZ UTILIZANDO TANINO E PAC	
Neusa Isabel Gomes dos Santos	
Arlindo Soares Räder	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231210</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>131</b>
PERMEABILIDADE AO AR E A ÁGUA DE MISTURAS DE SOLO E COMPOSTO ORGÂNICO PARA CAMADAS DE COBERTURA OXIDATIVAS	
Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida	
Bruna Silveira Lira	
Guilherme José Correia Gomes	
Antônio Italcly de Oliveira Júnior	
Camila de Melo Tavares	
Maria Odete Holanda Mariano	
José Fernando Thomé Jucá	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231211</b>	
<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>139</b>
REMOÇÃO E CORRELAÇÃO DE MICROALGAS E SÓLIDOS EM SUSPENSOS DE EFLUENTES DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO UTILIZANDO BIOFILTRO	
Moisés Andrade de Farias Queiroz	
Jonatan Onis Pessoa	
Alex Pinheiro Feitosa	
Eduardo Cristiano Vieira Gurgel	
Layane Priscila de Azevedo Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231212</b>	

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>147</b>
MONITORAMENTO DO DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE <i>RHIZOPHORA MANGLE</i> L. EM VIVEIRO DE CRIAÇÃO NA LAGOA RODRIGO DE FREITAS, RIO DE JANEIRO – RJ	
Carlos Augusto Kinder Marcia Sena da Silva Anderson de Carvalho Borges Ricardo Finotti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231213</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>160</b>
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE UMA INDÚSTRIA GRÁFICA COM ENFOQUE EM PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L): ESTUDO DE CASO NO ESPIRITO SANTO	
Paulo Vitor Reis Kaminice Gilson Silva Filho Rosane Hein de Campos Edison Thaddeu Pacheco	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231214</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>170</b>
PLAN INTEGRAL DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA PROYECCIÓN A LO APLICABLE	
Jessica Cecilia Chocho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231215</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>177</b>
POSSIBILIDADES NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM CONDOMÍNIO VERTICAL	
Manoel Thiago Nogueira da Silva Dantas Monica Maria Pereira da Silva Valderi Duarte Leite	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231216</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>190</b>
COMPORTAMENTO DE EMPREENDEDORES DA FEIRA DOS GOIANOS QUANTO AO DESCARTE DE EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA	
Graziela Ferreira Guarda Luiz Fernando Whitaker Kitajima Beatriz Rodrigues de Barcelos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231217</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>200</b>
MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS (MCDA) FOR DAM'S RISK CLASSIFICATION	
Julierme Siriano da Silva Fernan Enrique Vergara Figueroa Rui da Silva Andrade Roberta Mara de Oliveira Bárbara Suelma Souza Costa Fabiano Fagundes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95319231218</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>217</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>218</b>

## PERMEABILIDADE AO AR E A ÁGUA DE MISTURAS DE SOLO E COMPOSTO ORGÂNICO PARA CAMADAS DE COBERTURA OXIDATIVAS

### **Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida**

GRS - Grupo de Resíduos Sólidos / UFPE  
Recife – Pernambuco

### **Bruna Silveira Lira**

GRS - Grupo de Resíduos Sólidos / UFPE  
Recife – Pernambuco

### **Guilherme José Correia Gomes**

GRS - Grupo de Resíduos Sólidos / UFPE  
Recife – Pernambuco

### **Antônio Italcy de Oliveira Júnior**

GRS - Grupo de Resíduos Sólidos / UFPE  
Recife – Pernambuco

### **Camila de Melo Tavares**

GRS - Grupo de Resíduos Sólidos / UFPE  
Recife – Pernambuco

### **Maria Odete Holanda Mariano**

GRS - Grupo de Resíduos Sólidos / UFPE  
Recife – Pernambuco

### **José Fernando Thomé Jucá**

GRS - Grupo de Resíduos Sólidos / UFPE  
Recife – Pernambuco

**RESUMO:** A emissão descontrolada dos gases produzidos em aterros sanitários é uma das maiores problemáticas de poluição local e global. A fim de minimizar tais impactos, torna-se necessário que aterros disponham de uma camada de cobertura eficiente, capaz de impossibilitar a passagem dos gases produzidos

no local para a atmosfera, além de garantir que líquidos provenientes das precipitações não percolem no aterro e, conseqüentemente, gerem mais lixiviados para serem tratados. Atualmente o uso de camadas de cobertura alternativas em aterros sanitários vem se intensificando. Entre as camadas utilizadas existem as camadas oxidativas, que utilizam uma mistura de solo com composto orgânico para melhorar a oxidação dos gases gerados, bem como auxiliar na retenção dos líquidos provenientes das chuvas. O principal objetivo deste trabalho é o estudo da permeabilidade ao ar e a água das misturas de solo com composto orgânico em diferentes proporções de forma a determinar os fluxos de gases e líquidos. A permeabilidade ao ar e à água determinada em permeâmetro de parede flexível modelo Tri-flex 2 da Soil Test – ELE, foram usadas misturas na proporções de 2:1 (solo:composto) e 1:1 (solo:composto). Com base nos resultados, a permeabilidade ao ar e à água permaneceu na magnitude de  $10^{-8}$  a  $10^{-9}$  m s<sup>-1</sup>, o que é ideal para assegurar que a percolação seja baixa impedindo a infiltração de água, bem como a emissão de gases.

**PALAVRAS-CHAVE:** Camadas de cobertura, camada oxidativa, permeabilidade.

## AIR AND WATER PERMEABILITY OF SOIL AND ORGANIC COMPOUND MIXTURES FOR OXIDATIVE COVER LAYERS

**ABSTRACT:** The uncontrolled emissions of gases produced by landfills are one of the major local and global pollution problems. In order to minimize the impacts caused by the gas emissions, it is necessary that the landfills are provided with an efficient cover layer, in addition to hampering the escape of the gases produced in the location to the atmosphere, it will also guarantee that the liquids originated from the precipitations do not percolate in the landfill, and consequently generate more leachate to be treated. Nowadays the use of alternative cover layers in landfills has been intensifying. Among the cover layers used, there are the oxidative layers, which use a mixture of soil and organic compound to improve the oxidation of the generated gases, as well as assist in the retention of the liquids originated from the rain. The aim of this work will be the study of the air and water permeability of soil and organic compound mixtures in different proportions in order to determinate the gas and liquid flux in oxidative cover layers. The air and water permeability were determined in a flexible-wall permeameter model Tri-flex 2 from Soil Test – ELE, the proportions used in the mixtures were 2:1(soil:compound) and 1:1(soil:compound). Based on the results the air and water permeability remained in the  $10^{-8}$  to  $10^{-9}$  m s<sup>-1</sup> magnitude, which is ideal to ensure that percolation is low preventing the infiltration of water as well as the emission of gases.

**KEYWORDS:** Cover layers, oxidative layer, permeability.

### 1 | INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento de áreas urbanas, houve um aumento excessivo na geração de resíduos, gerando uma série de problemas de ordem ambiental, econômica e social. Uma das ações tomadas com o objetivo de diminuir os problemas é a instalação de aterros sanitários. Nos aterros sanitários existe uma grande emissão de gases poluentes e pessoas que vivem próximas às instalações dos aterros são as mais afetadas, pois são continuamente expostas a maus odores e componentes tóxicos presentes no biogás, podendo até ocasionar o desenvolvimento de doenças.

No âmbito global, o lançamento de biogás na atmosfera é uma das formas de maior causa e contribuição para o aquecimento global. A fim de minimizar tais impactos, torna-se necessário que aterros disponham de uma camada de cobertura eficiente, capaz de impossibilitar a passagem dos gases produzidos no local para a atmosfera, além de garantir que líquidos provenientes das precipitações não percolem no aterro e, conseqüentemente, gerem mais lixiviados para serem tratados.

Atualmente o uso de camadas de cobertura alternativas em aterros sanitários vem se intensificando. Entre as camadas utilizadas destacam-se as camadas oxidativas, que utilizam uma mistura de solo com composto orgânico para melhorar a oxidação dos gases gerados, bem como auxiliar na retenção dos líquidos provenientes das chuvas. O composto orgânico utilizado é derivado de material estabilizado de leiras

de compostagem (que geralmente se destinam a adubos ou mesmo ao descarte em aterros). De forma a simular os fluxos de gases e líquidos nas camadas de cobertura de aterros sanitários este trabalho visa o estudo da permeabilidade ao ar e a água das misturas de solo com composto orgânico proveniente da compostagem em diferentes proporções. A permeabilidade ao ar e à água foi determinada em permeâmetro de parede flexível modelo Tri-flex 2 da Soil Test – ELE, foram usadas misturas na proporções de 2:1 (solo:composto) e 1:1 (solo:composto).

## 2 | OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é o estudo da permeabilidade ao ar e à água das misturas de solo com composto orgânico em diferentes proporções de forma a simular os fluxos de gases e líquidos nas camadas de cobertura de aterros sanitários.

## 3 | METODOLOGIA

### 3.1 Ensaios de Permeabilidade Vertical

Para execução dos ensaios de permeabilidade vertical à água e ao ar foram moldados corpos de prova com o solo que será utilizado nas camadas de cobertura, nas proporções de 1:1 e 2:1 de solo composto. Ambos os corpos de prova foram compactados com energia de um Proctor Normal, com massa específica seca máxima, umidade ótima e formato cilíndrico com as seguintes dimensões:  $H = 12,7$  cm;  $D = 10$  cm e  $A = 78,54$  cm<sup>2</sup>. Para realização do ensaio de permeabilidade à água foi tida como base a norma ASTM D5084-10 (ASTM, 2010) e foi utilizado o permeâmetro de parede flexível modelo Tri-flex 2 da Soil Test – ELE com algumas adaptações feitas por Maciel (2003), Mariano (2008) e Costa (2015). A figura 1 ilustra o equipamento utilizado neste ensaio.



Figura 1 - Tri-flex 2 da Soil Test – ELE

Para o ensaio de permeabilidade ao ar também foi utilizado o modelo Tri-flex 2 da Soil Test – ELE com as adaptações propostas por Maciel (2003), que dentre elas, inclui a colocação de um rotâmetro na saída do corpo de prova, Figura 2, a fim de fazer a medição da vazão do fluido percolado, que neste caso é ar comprimido. Os corpos de prova utilizados e a metodologia aplicada foram os mesmos utilizados no ensaio de permeabilidade à água, diferindo apenas no tipo de fluido utilizado no processo, que neste caso foi ar comprimido.

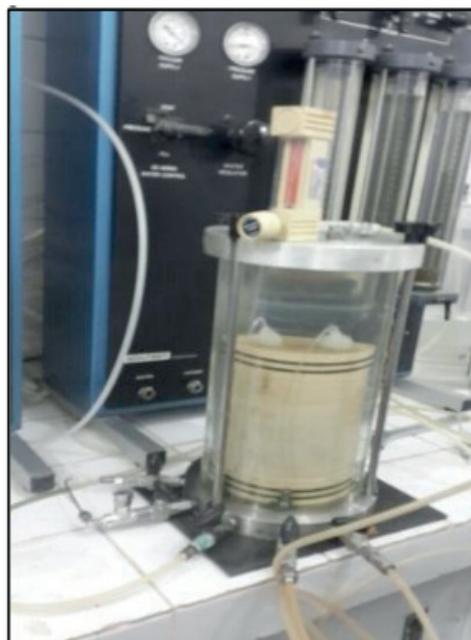


Figura 2 - Câmara de Fluxo com rotâmetro

### 3.2 Ensaio de Permeabilidade Horizontal

A metodologia aplicada para a realização do ensaio de permeabilidade horizontal é semelhante ao método aplicado para os ensaios de permeabilidade vertical, deferindo apenas no modo como o corpo de prova é executado. Neste tipo de ensaio o corpo de prova que foi obtido através do ensaio de Proctor Normal é moldado de forma que o fluxo que estará passando de forma vertical na verdade é a parte horizontal do solo. Por ter esta característica a amostra possui as seguintes dimensões: H= 10 cm; D=10 cm. Este ensaio foi realizado apenas para a proporção de 1:1 de solo composto.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ensaio de Permeabilidade Vertical

#### 4.1.1 Permeabilidade ao ar

Para determinar a permeabilidade ao ar da mistura utilizada para fazer a camada de cobertura, foram moldados dois corpos de prova nas proporções de 1:1 e de 2:1 de solo composto, ambas as amostras foram moldadas com energia de um Proctor Normal na umidade ótima. A trajetória dos ensaios se deu por meio do processo de secagem das amostras e a verificação do coeficiente de permeabilidade correspondente à umidade da amostra. Tendo a validação da Lei de Darcy para fluxos compressíveis foi possível calcular a permeabilidade ao ar das misturas por meio da Equação 1.

$$K_{ar} = \frac{q L}{A \Delta p} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$K_{ar}$  = permeabilidade ao ar (m h<sup>-1</sup>)  $q$  = vazão (N m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

$A$  = área (m<sup>2</sup>)

$L$  = comprimento da amostra (m)

$\Delta p$  = gradiente de pressão (m), considerando  $\gamma_{ar} = 0,012 \text{ kN m}^{-3}$

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios através da variação da permeabilidade em função do teor de umidade do corpo de prova.

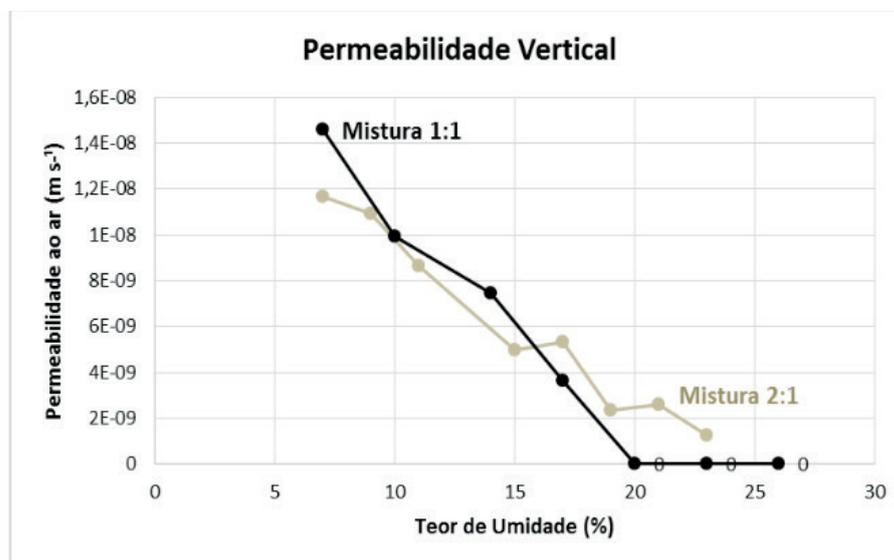


Figura 3 - Resultados dos ensaios de permeabilidade vertical ao ar para um mesmo corpo de prova nas misturas 2:1 e 1:1

É possível observar no gráfico da Figura 3 que na existência de altos teores de umidade não há valores para permeabilidade, isso ocorre pelo fato de que a presença de água em solos de alta umidade dificulta a passagem do ar injetado pelo equipamento. A Figura 3 mostra que a Mistura 2:1, que possui 23% de umidade ótima e a mistura 1:1, com 26% de umidade ótima apresentaram valores de permeabilidade na mesma grandeza de  $10^{-9}$  e  $10^{-8}$  m s<sup>-1</sup>. O intuito de fazer este processo de secagem e determinar a permeabilidade ao ar em cada umidade é caracterizar o comportamento do solo e a sua eficiência em reter os gases gerados no aterro durante períodos de seca e chuva.

#### 4.1.2 Permeabilidade à água

A determinação da permeabilidade a água das misturas 1:1 e 2:1 é obtida por meio da equação 2.

$$K_w = \frac{VL}{ATP} \text{ (cm/s)} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

V= volume percolado (cm<sup>3</sup>)

L= altura da amostra (cm)

A= área da base do corpo de prova (cm<sup>2</sup>)

T= tempo médio para percolação de 5 cm<sup>3</sup> (s) P= gradiente psi x 70,37 cm/psi (cm - H<sub>2</sub>O)

Os resultados encontrados para a permeabilidade à água foram de  $2,77 \times 10^{-9}$  m s<sup>-1</sup> para a Mistura 1:1 (solo:composto) e  $5,6 \times 10^{-9}$  m s<sup>-1</sup> para a Mistura 2:1

(solo:composto). Apesar de possuírem diferentes proporções de material compostado foi observado que ambas as misturas obtiveram valores para a condutividade hidráulica na mesma ordem de grandeza.

De acordo com a USEPA (2003) para camadas de cobertura em aterros sanitários é indicado que os valores de permeabilidade à água sejam inferiores a ordem de grandeza de  $10^{-7} \text{ m s}^{-1}$ , para garantir assim que não haja alta percolação de água proveniente das chuvas. Tanto a mistura 1:1 (solo:composto) como a mistura 2:1 (solo:composto) apresentaram valores compatíveis com os valores também encontrados por Maciel (2003), Lopes (2011) e Costa (2015).

## 4.2 Ensaio de Permeabilidade Horizontal

Segundo Pinto (2000) a permeabilidade horizontal tende a ser maior que a permeabilidade vertical devido à anisotropia das camadas do solo. Ter conhecimento sobre este quesito é de fundamental importância para o dimensionamento dos drenos verticais presentes no aterro sanitário bem como para possíveis fluxos horizontais dos gases gerados durante o processo de biodegradação.

### 4.2.1 Permeabilidade ao ar

Para o ensaio de permeabilidade horizontal foi moldado um corpo de prova na energia de um Proctor Normal com a mistura de 1:1 de solo composto. O experimento foi realizado para diferentes umidades do corpo de prova e verificada a permeabilidade ao ar horizontal quando a amostra era submetida a diferentes valores de pressão. Inicialmente aplicou-se uma pressão confinante de 10 kPa, crescendo-se esta pressão até que a mesma atingisse o valor de 50 kPa. O gráfico da Figura 4 mostra o desempenho do corpo de prova durante a realização do experimento.

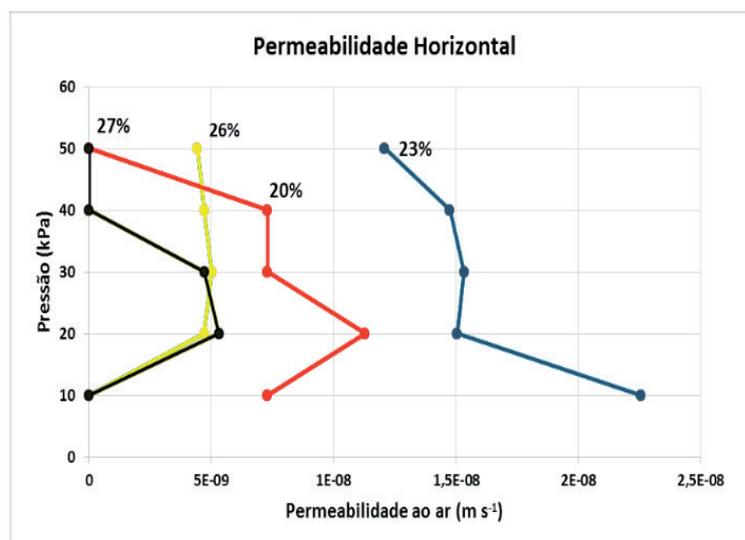


Figura 4. Resultados dos ensaios de permeabilidade horizontal ao ar para um mesmo corpo de prova de Mistura 1:1

Pelo gráfico da Figura 4 é possível observar que independentemente da umidade da amostra, para altos valores de pressão aplicados há uma deformação na amostra a ponto de diminuir o coeficiente de permeabilidade ao ar. Em campo este aumento de pressão poderia ser caracterizado por um sobrepeso presente na camada de cobertura.

#### 4.2.2 Permeabilidade à água

Para o ensaio de permeabilidade horizontal também foi verificado a permeabilidade à água da Mistura 1:1, a fim de analisar o seu comportamento quando submetida a um fluxo de água no sentido horizontal. Assim sendo, para a Mistura 1:1 foi constatado um coeficiente de permeabilidade à água de  $5,33 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ , que apresentou a mesma ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade vertical encontrado para as Misturas 1:1 e 2:1 de solo composto.

## 5 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que as misturas apresentam permeabilidades ao ar e a água variando entre  $10^{-8}$  e  $10^{-9} \text{ m s}^{-1}$  estando de acordo com os padrões indicados pela USEPA (2003) para camadas de cobertura em aterros sanitários, garantindo assim que não haja percolação em excesso de água proveniente das chuvas, como também a emissão de gases poluentes a atmosfera.

## REFERÊNCIAS

- ASTM, D5084-10. 2010. **Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter**. American Society for Testing and Materials. Volume 04.08. Soil and Rock (I): D420 - D5876.
- COSTA, M. D. **Estudos de camadas de cobertura de aterros sanitários em colunas de solos**. Recife. 2015. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco.
- LOPES, R. L. **Infiltração de água e emissão de metano em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos**. Recife, 274p., 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco.
- MACIEL, F. J. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE**. Recife. 173 p., 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco.
- MARIANO, M. O. H. **Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterro de resíduos sólido**. Recife. 243p., 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco.
- SILVA, A. M. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. São Paulo. 2005. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- PINTO, S. Carlos. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**, São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Evaporation landfill cover system. Fact sheet. 12 p. 2003.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Helenton Carlos da Silva** - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2007), especialização em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2010) é MBA em Engenharia Urbana pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2014), é Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual de Ponta Grossa (2016), doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa e pós-graduando em Engenharia e Segurança do Trabalho. A linha de pesquisa traçada na formação refere-se à área ambiental, com foco em desenvolvimento sem deixar de lado a preocupação com o meio ambiente, buscando a inovação em todos os seus projetos. Atualmente é Engenheiro Civil autônomo e professor universitário. Atuou como coordenador de curso de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em projetos e acompanhamento de obras, planejamento urbano e fiscalização de obras, gestão de contratos e convênios, e como professor na graduação atua nas seguintes áreas: Instalações Elétricas, Instalações Prediais, Construção Civil, Energia, Sustentabilidade na Construção Civil, Planejamento Urbano, Desenho Técnico, Construções Rurais, Mecânica dos Solos, Gestão Ambiental e Ergonomia e Segurança do Trabalho. Como professor de pós-graduação atua na área de gerência de riscos e gerência de projetos.

## ÍNDICE REMISSIVO

### B

Bacia hidrográfica 6, 57, 68, 105, 115, 119, 120, 130, 150  
Balneabilidade 7, 79, 80, 81, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92  
Biofiltros 139, 141

### C

Caracterização 5, 57, 58, 59, 63, 112, 162, 170, 171, 181, 182, 183, 187  
Comunidade rural 6, 14, 15, 25, 102

### D

Descarte Inapropriado 190  
Diagnóstico ambiental 5, 6, 57, 58

### E

Educação Ambiental 92, 151, 164, 177, 179, 189  
Ensaio de Tratabilidade 105, 112, 113, 115, 116, 117, 119, 121, 122, 123, 124, 126, 129  
Equipamento de Informática e Hardware 190  
Esgotamento sanitário 14, 15, 17, 20, 25, 26, 30, 46, 52, 120  
ETA 105, 106, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 128, 129

### G

Gerenciamento de Resíduos Sólidos 8, 160, 162, 163, 169  
Gerenciamento de Riscos 106, 107  
Gestão Ambiental 79, 177, 192, 217  
Gestão comunitária 41, 43, 50, 51, 52, 53, 54  
Gestão de Riscos 105, 106, 107, 117, 118, 215  
Globalização 170, 171

### I

Indústria Gráfica 8, 160, 161, 162, 163, 165, 168

### L

Lagoa de estabilização 21, 139, 141

### M

Matriz Tecnológica 6, 41, 42, 43, 46, 48, 50, 51, 52  
Modo de produção camponesa 41

### O

Otimização 7, 28, 112, 115, 118, 119, 121, 129, 130, 160, 162, 166, 167

## P

Permeabilidade 7, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138  
Plano de Gestão de Resíduos Sólidos 188  
Plano de Segurança da Água 105, 106, 112, 117  
Política pública de saneamento básico 6, 1  
Política Tarifária e Desempenho Econômico do Setor de Saneamento Básico 27  
Potabilidade da Água 7, 93, 94, 96, 97, 101, 102  
Prestação de serviço 6, 41, 42, 43, 48, 54  
Privatização 1, 7, 11  
Produção Mais Limpa 8, 160, 161, 168, 169

## Q

Qualidade Ambiental 5, 57, 58, 79  
Qualidade da água 54, 68, 79, 81, 85, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 112, 115, 117, 119, 120, 121, 149, 178

## R

Regulação 5, 6, 8, 9, 10, 11, 27, 28, 29, 34, 37, 38, 40  
Remoção de microalgas 139, 141  
Reservação Domiciliar 93, 94, 98  
Reservatório 93, 94, 101, 104, 215  
Resíduos Sólidos 5, 8, 8, 10, 13, 46, 58, 86, 131, 138, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 168, 169, 170, 171, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 198, 199  
Restauração 54, 147  
Riscos Inerentes Externos 105, 113, 116, 117

## S

Saneamento básico 5, 6, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 48, 49, 50, 53, 54, 56, 91, 92, 94, 120  
Saneamento Rural 6, 15, 26, 41, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56  
Saúde Pública 15, 23, 45, 49, 79, 80, 94, 102, 103

## T

Tratamento de Água Convencional 7, 105, 112, 113, 116, 117, 118, 119, 121, 129, 130

