



Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente

Atena Editora  
2019

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

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**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
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. 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 Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
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. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
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. 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.ª Dr.ª 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 Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

E57 As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente  
[recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. –  
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente  
a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 1)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-429-0  
DOI 10.22533/at.ed.290192506

1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos  
econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique  
Ajuz. II. Série.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

Atena  
Editora

Ano 2019

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CIDADES SUSTENTÁVEIS: PRÁTICAS PARA A RECUPERAÇÃO DAS ÁGUAS	
Aline Pereira Gaspar Karen Niccoli Ramirez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA EM EMPREENDIMENTOS RURAIS: CAPTAÇÃO, ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO	
Natalia da Rocha Pinto Elfride Anrain Lindner	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>31</b>
PURIFICAÇÃO DE ÁGUA DOMÉSTICA UTILIZANDO PROCESSOS DE FILTRO BIOLÓGICO, FOTOCATÁLISE DE TiO <sub>2</sub> E ADIÇÃO DE MORINGA	
Maria Marcyara Silva Souza Francisco Wellington Martins da Silva Antônia Mayara dos Santos Mendes Quezia Barboza Rodrigues Juan Carlos Alvarado Alcócer	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>41</b>
DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA UTILIZANDO BOMBA DE ÁGUA COM ENERGIA MOLECULAR E TUBOS DE BOROSSILICATO	
Igor José Langer Luis Eduardo Palomino Bolivar	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E REVISÃO DAS TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA NOS CAMPOS MADUROS DA BACIA DO RECÔNCAVO	
Thaís Freitas Barbosa Victor Menezes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>60</b>
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE QUATRO SUB-BACIAS DE DRENAGEM DE PONTA GROSSA-PR	
Rafaela Paes de Souza Barbosa Gustavo Forastiere Simoneli Maria Magdalena Ribas Döll Mayra Alves Donato	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925066</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>73</b>
VERIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE HÍDRICA DA LAGOA COSTEIRA DE JACAREPAGUÁ NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
<a href="#">Ana Carolina Silva de Oliveira Lima</a> <a href="#">Ana Cláudia Pimentel de Oliveira</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925067</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>77</b>
POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E TOXICIDADE DE PRODUTOS COMERCIAIS À BASE DE FUMO ( <i>NICOTIANA TABACUM</i> ) UTILIZADOS EM AGRICULTURA ORGÂNICA	
<a href="#">Magda Regina Santiago</a> <a href="#">Lígia Maria Salvo</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925068</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>85</b>
CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL E GEOTÉCNICA: CARTILHA INFANTIL E O PROJETO GEOPREVENÇÃO	
<a href="#">Carla Vieira Pontes</a> <a href="#">Talita Gantus de Oliveira</a> <a href="#">Vitor Pereira Faro</a> <a href="#">Roberta Bomfim Boszczowski</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2901925069</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>95</b>
AVALIAÇÃO DO EFEITO DA CAMADA DE COBERTURA NA ESTABILIDADE EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
<a href="#">Alison de Souza Norberto</a> <a href="#">Rafaella de Moura Medeiros</a> <a href="#">Maria Odete Holanda Mariano</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250610</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>104</b>
AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE (RSS) DE UM HOSPITAL MATERNIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
<a href="#">Leonardo de Lima Moura</a> <a href="#">Claudio Fernando Mahler</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>117</b>
UM ESTUDO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE PAPEL PARA UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM MANHUAÇU	
<a href="#">Millena Gabriela Gualberto de Souza</a> <a href="#">Nandeyara de Oliveira Costa</a> <a href="#">Glaucio Luciano de Araujo</a> <a href="#">Marcela Moreira Couto</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>126</b>
BIOGÁS: O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS METANO GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS	
<a href="#">Daniela Cristiano Rufino</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250613</b>	

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>138</b>
PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO HIDROLISADO CELULÓSICO DE BIOMASSA	
Cristian Jacques Bolner de Lima	
Francieli Fernandes	
Charles Souza da Silva	
Juniele Gonçalves Amador	
Charles Nunes de Lima	
Monique Virões Barbosa dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>146</b>
PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PROPRIEDADES RURAIS DA REGIÃO DE CANOINHAS-SC	
Bruna Weinhardt da Silveira	
Leila Cardoso	
Olaf Graupmann	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250615</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>150</b>
MODELAGEM DE BIORRETORES EM SÉRIE E COM RECICLO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO INDUSTRIAL	
Guilherme Guimaraes Ascendino	
Juan Canellas Bosch Neto	
Laura de Oliveira Martins Torres	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250616</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>166</b>
O USO DO HIDROGÊNIO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	
Gustavo Destefani Picheli	
Luiz Carlos Vieira Guedes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250617</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>183</b>
ENERGIA SOLAR: PANORAMA BRASILEIRO	
Douglas Mito Cerezoli	
Leonardo Vinhaga	
Camila Ricci	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250618</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>195</b>
ECONOMIA DE ENERGIA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL – ESTUDO DE CASO NO BLOCO I DO UNIPAM	
Daniel Marcos de Lima e Silva	
Maísa de Castro Silva	
Marcelo Ferreira Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250619</b>	

<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>211</b>
USINAS SOLARES FLUTUANTES EM RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS: UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA AUMENTAR A DEMANDA DE GERAÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO NORDESTE	
Jéssica Beatriz Dantas Antonio Ricardo Zaninelli do Nascimento Thayse Farias de Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250620</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>222</b>
CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS	
José Waltrudes Castanheira Pereira Márcio Cataldi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250621</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>238</b>
AVALIAÇÃO ANALÍTICA DAS EFICIÊNCIAS TÉRMICAS E ELÉTRICAS DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO ACOPLADO A UM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA	
Maxwell Sousa Costa Anderson da Silva Rocha Lucas Paglioni Pataro Faria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250622</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>252</b>
ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO NAS REGIÕES NOROESTE E SUL DO ESTADO DO CEARÁ NO PERÍODO DE 2013 À 2016	
Amanda Souza da Silva Rejane Félix Pereira Umberto Sampaio Madeiro Junior Guilherme Geremias Prata Ivandro de Jesus Moreno de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250623</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>258</b>
INVESTIGAÇÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DE PAPEL RECICLADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM MINAS GERAIS	
Nandeyara de Oliveira Costa Millena Gabriela Gualberto de Souza Glaucio Luciano de Araújo Marcela Moreira Couto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250624</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>270</b>
UTILIZAÇÃO DA CINZA RESULTANTE DA INCINERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL	
Olaf Graupmann Susan Hatschbach Graupmann	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250625</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>273</b>
PRODUÇÃO DE LUMINÁRIAS A PARTIR DE RESÍDUOS DE MADEIRA	
Ana Luiza Enders Nunes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250626</b>	

<b>CAPÍTULO 27 .....</b>	<b>279</b>
REAPROVEITAMENTO DE MATERIAL FRESADO EM CAMADAS DE BASE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS	
<p>Marcos Túlio Fernandes  Jouséberon Miguel da Silva  Henrique Lopes Jardim  Alaor Afonso Ramos Soares  Glaucimar Lima Dutra</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250627</b>	
<b>CAPÍTULO 28 .....</b>	<b>289</b>
NOVA PROPOSTA DE ANTENA TÊXTIL COM SUBSTRATO BIODEGRADÁVEL PARA COMUNICAÇÕES SEM FIO	
<p>Matheus Emanuel Tavares Sousa  Humberto Dionísio de Andrade  Samanta Mesquita de Holanda  Idalmir de Souza Queiroz Júnior</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250628</b>	
<b>CAPÍTULO 29 .....</b>	<b>296</b>
RISCOS DE INCÊNDIO ASSOCIADOS AO USO DE LÍQUIDOS IÔNICOS EM DIFERENTES PROCESSOS	
<p>Milson dos Santos Barbosa  Isabela Nascimento Souza  Juliana Lisboa Santana  Isabelle Maria Duarte Gonzaga  Lays Carvalho de Almeida  Aline Resende Dória  Luma Mirely Souza Brandão  Débora da Silva Vilar  Priscilla Sayonara de Sousa Brandão</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250629</b>	
<b>CAPÍTULO 30 .....</b>	<b>307</b>
CENÁRIO DAS PESQUISAS SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE IMPLANTAÇÃO OU DUPLICAÇÃO DE RODOVIAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA	
<p>Zeferino José Alencar Bezerra  Emerson Acácio Feitosa Santos  João Gomes da Costa  Thiago José Matos Rocha  Aldenor Feitosa dos Santos  Jessé Marques da Silva Júnior Pavão</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250630</b>	
<b>CAPÍTULO 31 .....</b>	<b>323</b>
A MECÂNICA DOS AGENTES IMPONDERÁVEIS: UMA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO PARA AS DISCIPLINAS DE QUÍMICA E MECÂNICA NO ENSINO TÉCNICO	
<p>Maria Lia Scalli Fonseca  Felipe de Lucas Barbosa  José Otavio Baldinato</p>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.29019250631</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>341</b>

## AVALIAÇÃO DO EFEITO DA CAMADA DE COBERTURA NA ESTABILIDADE EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

### **Alison de Souza Norberto**

Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Pernambuco.

### **Rafaella de Moura Medeiros**

Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Pernambuco.

### **Maria Odete Holanda Mariano**

Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, Pernambuco.

**RESUMO:** O presente trabalho realizará a avaliação do efeito de camadas de cobertura na estabilidade de aterro de resíduos sólidos urbanos. Onde serão utilizadas nesta pesquisa dados camadas de coberturas desenvolvidas por Almeida (2017), fazendo uso dos parâmetros e características reportados pelo autor. Os aterros sanitários avaliados serão o de Bandeirantes-SP (ITP, 1991) e o aterro sanitário da zona norte de Porto Alegre (Strauss, 1998). Com estas definições serão feitas análises as análises utilizando *software SLOPE/W* (do GeoStudio Internacional 2018), em sua versão para estudante. Inicialmente serão avaliados taludes sem a presença da camada de cobertura, e sequencialmente serão avaliados os mesmos taludes com o acréscimo da camada de cobertura na análise de estabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Camadas de coberturas, Estabilidade de taludes, Aterros sanitários.

**ABSTRACT:** The present work will evaluate the effect of cover layers on the stability of urban solid waste landfill. Where will be used in this research data cover layers developed by Almeida (2017), making use of the parameters and characteristics reported by the author. The sanitary landfills evaluated will be Bandeirantes-SP (ITP, 1991) and the sanitary landfill of the Northern zone of Porto Alegre (Strauss, 1998). With these definitions, the analyzes will be made using *SLOPE/W* software (from GeoStudio Internacional 2018), in its student version. Initially, slopes will be evaluated without the presence of the cover layer, and sequentially the same slopes will be evaluated with the addition of the cover layer in the stability analysis.

**KEYWORDS:** Cover layers, Stability of slopes, Sanitary landfills.

### 1 | INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos está diretamente ligada ao crescimento populacional e ao poder aquisitivo da população, pode-se afirmar então, que quando o PIB aumenta a geração de resíduos conseqüentemente aumenta, o mesmo ocorre quando a reação oposta acontece. Diante disso, a disposição correta dos resíduos é um problema que se apresenta nos países que são subdesenvolvidos

ou encontram-se em desenvolvimento, devido principalmente ao custo de implantação e manutenção dos aterros sanitários.

Assim a necessidade de estabelecer critérios de segurança e riscos ambientais relacionados à operação dos aterros sanitários é de extrema importância. Um dos aspectos importantes na gestão de um aterro sanitário é a impermeabilização, das quais recentemente tem se destacado a camada de cobertura, que possui a função de isolar os resíduos do meio externo, controlar a entrada de água e ar para dentro do aterro, minimizar a erosão, controlar a emissão de gases e odores para a atmosfera (CATAPRETA, 2008; MARIANO, 2008).

Usualmente no Brasil a impermeabilização da cobertura dos aterros sanitários tem sido realizada com a execução de camadas de solo compactado na umidade ótima, preferencialmente, os solos argilosos. Podendo apresentar variações como: as camadas metanotróficas; as camadas intercaladas com solo natural argiloso e geossintéticos; as camadas evaporativas (LOPES, 2011).

Devido à heterogeneidade da massa de resíduos sólidos, as propriedades do talude do aterro diferem das de um talude de solo convencional, diferindo ainda durante o tempo através do processo de decomposição. Segundo Borgatto (2006), os escorregamentos em taludes são reflexos da redução da resistência interna do material do talude. Sabe-se que a estabilidade de taludes pode ser assegurada através da determinação dos parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito interno dos RSU, a geometria adequada e as condições da fundação do aterro.

Com este respaldo, tem-se a necessidade de estudos que venham a abranger os diversos aspectos sobre aterros de resíduos sólidos urbanos. Existem diversos estudos nas literaturas tratando desde os efeitos ambientais e comportamentais em aterros de RSU. Um aspecto geotécnico de amplo estudo é sobre a estabilidade de taludes, onde várias considerações já foram feitas sobre este estudo.

No entanto, até então não foram realizadas avaliações na estabilidade de taludes de RSU que considerassem o possível efeito de reforço que as camadas de coberturas podem agregar ao mesmo.

Com este cenário, o presente trabalho realizará a avaliação do efeito de camadas de cobertura na estabilidade de aterro de resíduos sólidos urbanos. Serão utilizados para análises dois aterros sanitários apresentados em outras pesquisas ((ITP, 1991) e (STRAUSS, 1998)) e uma camada de cobertura (ALMEIDA, 2017).

## **2 | METODOLOGIA**

### **2.1 Áreas de Estudo**

Foram utilizados neste trabalho dados de aterros sanitários reportados pelas seguintes literaturas: ITP (1991) e Strauss (1998), os aspectos e características

importantes relativos aos aterros serão descritos nos itens seguintes.

### *2.1.1 Aterro sanitário de Bandeirantes – (ITP, 1991)*

O Aterro Sanitário Bandeirantes, localizado no município de São Paulo, Rodovia dos Bandeirantes km 26 ocupava no ano de 1991 uma área de 817.333 m<sup>2</sup>, operando com aproximadamente 5.500 toneladas de resíduos diariamente. Os resíduos eram dispostos em diferentes flancos denominados Aterro Sanitário.

O histórico caso do escorregamento deste aterro ocorreu em 24/06/1991 mobilizando aproximadamente 65.000 m<sup>3</sup> de resíduos e atingindo uma área de 45.000 m<sup>2</sup> (Figura 1). O material mobilizado galgou a barragem de terra que estava em execução ficando o maior volume acumulado entre esta e o aterro da Rodovia dos Bandeirantes, atingindo uma altura de cerca de 15 m sobre o bueiro da rodovia.



Figura 1. Escorregamento do aterro de Bandeirantes em 1991, (ITP, 1991).

Neste trabalho será realizada a retro-análise do FS na ruptura deste aterro e posteriormente o efeito no FS do aterro com camada de cobertura de Almeida (2017).

### *2.1.2 Aterro sanitário da zona norte de Porto Alegre – (STRAUSS, 1998)*

Este aterro sanitário foi fruto da remediação de um antigo lixão, promovido pelo Departamento municipal de limpeza urbana de Porto Alegre. Sua célula possui uma altura de aproximadamente 26 m. Um dos principais inconvenientes da execução do projeto foi por a área se localizar em uma zona de solos altamente compreensíveis, argilas moles.

A área do aterro encontra-se numa região baixa, denominada várzea do Rio Gravataí. Está localizada na unidade de mapeamento Vacacaí, cujos solos predominantes são classificados como Planossolos.



Figura 2. Vista aérea do aterro sanitário da zona norte de Porto Alegre, (Strauss, 1998).

Diferente do ocorrido no aterro de Bandeirantes, este aterro não veio a romper. Também será feita avaliação da estabilidade deste aterro nas situações sem e com camada de cobertura, para assim ter uma avaliação do comportamento da camada em situações distintas.

## 2.2 Geometrias dos taludes avaliados

Para entrada inicial das avaliações foi necessária a implementação inicial das geometrias dos taludes no *software GeoSlope/W*, em sua versão estudante.

As Figuras 3 e 4 representam a disposição do aterro de Bandeirantes e do aterro de Porto Alegre, respectivamente, nas quais são identificadas a camada de resíduos e a camada de solo.

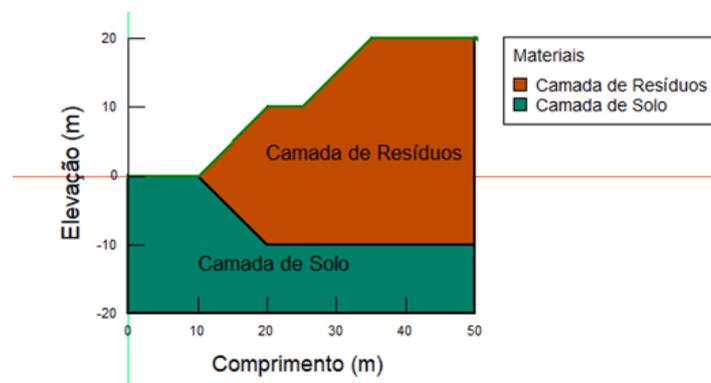


Figura 3. Geometria do aterro sanitário de Bandeirantes.

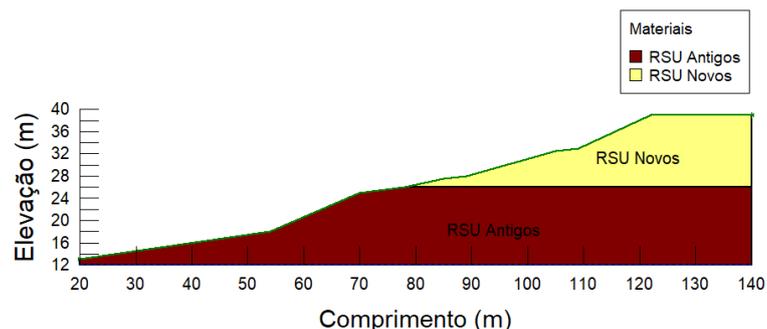


Figura 4. Geometria do aterro sanitário da zona norte de Porto Alegre.

Com as geometrias estabelecidas o procedimento seguinte é a determinação dos parâmetros de resistência das camadas do item seguinte.

## 2.3 Parâmetros de resistência

Para executar a avaliação da estabilidade no GeoSlope são necessários os parâmetros: peso específico, ângulo de atrito e coesão. Os valores relativos aos aterros avaliados estão apresentando nas Tabelas 1 e 2.

Camadas	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
Camada de Resíduos	10	15	30
Camada de Solo	16	10	20

Tabela 1. Parâmetros de resistência das camadas de resíduos do aterro de Bandeirantes (ITP, 1991).

Camada de resíduos	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
RSU Novos	7,5	0	35
RSU Antigos	7,5	0	31

Tabela 2. Parâmetros de resistência das camadas de resíduos do aterro da zona norte de Porto Alegre (STRAUSS, 1998).

## 2.4 Linha piezométrica

A linha piezométrica que é a resultante da água de chuva percolada pela camada de cobertura e do chorume produzido pelo processo de decomposição de matéria orgânica, não foi apresentada em ambas as pesquisas. Como esta análise não está avaliando o efeito da mesma, será considerada uma condição de perfeita drenagem, sendo a linha piezométrica igual a zero.

## 2.5 Camada de cobertura

Para adoção dos parâmetros de resistência das camadas de cobertura foram utilizados os parâmetros apresentados por Almeida (2017) (Tabela 3). Esta camada é fruto da mistura de material granular (areias) com composto oxidativo, sendo assim chamada de camada oxidativa.

Camada de Cobertura	h (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\phi$ (°)
Almeida (2017)	0,60	13,0	12,0	36,5

Tabela 3. Características das camadas de cobertura utilizadas.

## 2.6 Análise de estabilidade

As análises referentes à estabilidade dos taludes dos aterros de resíduos sólidos avaliados serão realizadas através do *software SLOPE/W*, da GeoSlope Internacional (2018), em sua versão de estudante.

Para a obtenção dos valores de FS (Fator de Segurança), foi utilizado o método que divide as superfícies dos taludes em fatias, presente no *software*. O método utilizado foi o Janbu Simplificado (1968), onde a resultante das forças é horizontal e considera os efeitos das forças tangenciais presentes. Segundo Santos *et al.* (2017) este método tende a apresentar FS inferiores comparados aos demais apresentados pelo *software*.

Serão feitas inicialmente as análises com ambas as geometrias sem as camadas de cobertura, e na sequência as avaliações com presença da camada de cobertura.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Avaliação do FS sem a camada de cobertura

Como o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da camada de cobertura na estabilidade de talude, foram inicialmente realizadas modelagens de estabilidade dos aterros com suas configurações sem a presença da camada de cobertura. Os resultados destas avaliações estão apresentados nas Figuras 5 e 6.

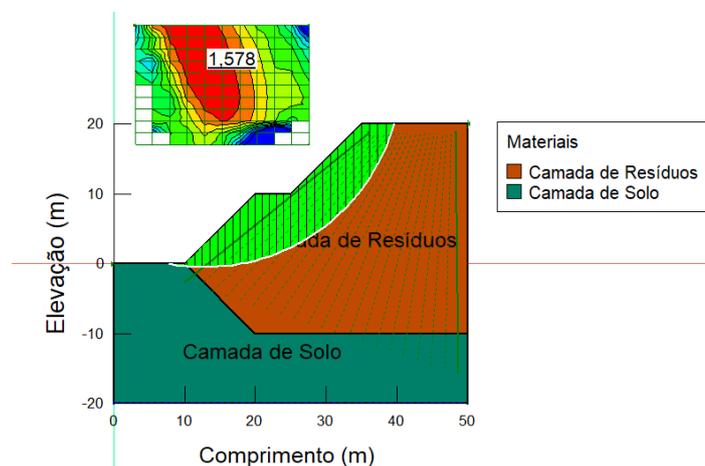


Figura 5. Avaliação da estabilidade do aterro de Bandeirantes sem a presença de camada de cobertura.

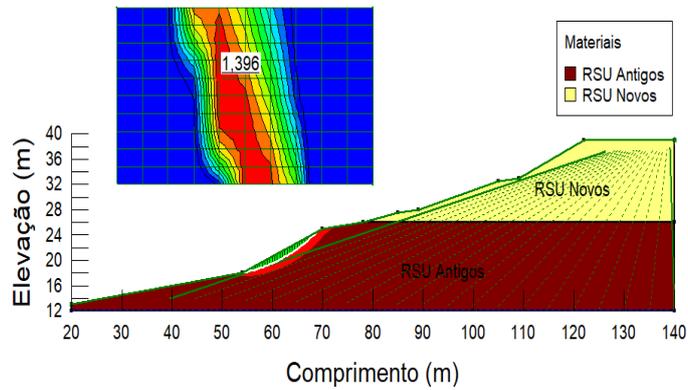


Figura 6. Avaliação da estabilidade do aterro de Porto Alegre sem a presença de camada de cobertura.

### 3.2 Avaliação do FS com a camada de cobertura

O procedimento seguinte consistiu em avaliar o efeito da presença da camada de cobertura nos aterros sanitários avaliados no item 3.1. Os resultados destas modelagens estão apresentados nas Figuras 7 e 8.

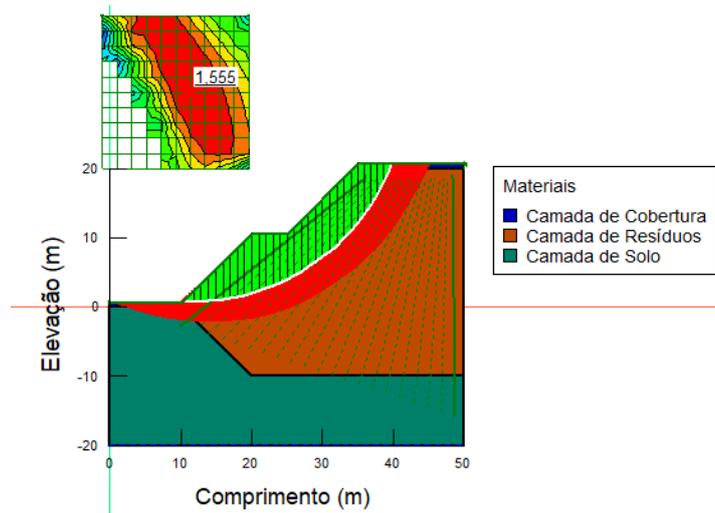


Figura 7. Avaliação da estabilidade do aterro de Bandeirantes com a presença de camada de cobertura.

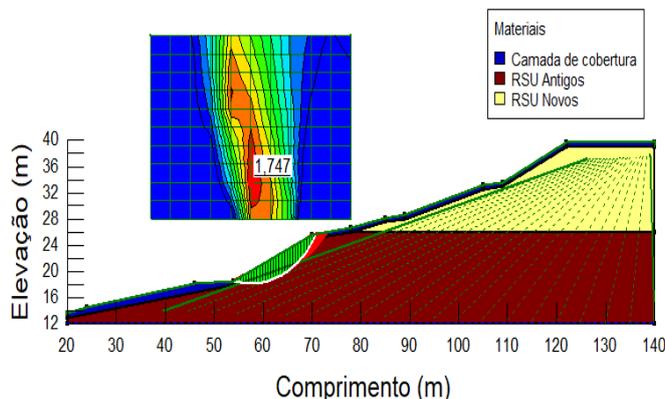


Figura 8. Avaliação da estabilidade do aterro de Porto Alegre com a presença de camada de cobertura.

### 3.3 Comparativo dos resultados

De acordo com as modelagens das situações apresentadas nos itens 3.1 e 3.2 do presente trabalho, são apresentados na Tabela 4 os resultados encontrados dos fatores de segurança para as situações com e sem a camada de cobertura.

Aterro Sanitário	FS (SEM camada de cobertura)	FS (COM camada de cobertura)
Bandeirantes	1,578	1,555
Porto Alegre	1,396	1,747

Tabela 4. Resultado comparativo dos resultados do FS para ambos os aterros nas duas condições.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, podemos perceber que para o Aterro Sanitário de Bandeirantes a situação do aterro sem a camada de cobertura apresenta um FS de 1,578, já com a inserção dos 60 cm de camada de cobertura o FS do aterro desce na ordem de 0,023. Tal fato pode ser explicado ao se analisar as propriedades do material da camada que é muito parecido com o presente entre no talude em termos de características geotécnicas, fazendo com que a parcela de solo adicionado não representasse significativo ganho de estabilidade e sim se comportasse como mais uma camada disposta no corpo do aterro.

Já para o aterro sanitário da zona norte de Porto Alegre podemos verificar um ganho de 0,351 no FS, onde o mesmo foi de 1,396 para 1,747. Ao se analisar as propriedades da massa de resíduo e da camada de cobertura vemos que o peso específico da camada é superior ao da massa de resíduos, o que tende a gerar uma camada que tende a funcionar “empacotando” toda a massa, bem como a camada de cobertura apresenta características coesivas, o que não acontece com a massa de resíduo,  $c = 0$ , assim a mesma acrescenta uma parcela de estabilidade ao cisalhamento da massa.

## 4 | CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados no presente trabalho, pode-se concluir que a camada de cobertura tende a apresentar um aumento no fator de segurança. Para que se haja uma maior certeza sobre a verdadeira atuação da mesma na massa de resíduos é necessário à intensificação de estudos e análises, levando em conta principalmente as propriedades, como, peso específico, coesão e ângulo de atrito, bem como a espessura da camada a ser colocada.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. J. G. A. **Avaliação do Desempenho das Camadas de Cobertura de Aterro Sanitário Para a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Dissertação de Mestrado – UFPE, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.
- BORGATTO, ANDRÉ VINÍCIUS AZEVEDO. **Estudo do Efeito Fibra e da Morfologia na Estabilidade de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2006.
- CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação**. Tese de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG. Escola de Engenharia. 2008.
- LOPES, R. L. **Infiltração de água e emissão de metano em camadas de cobertura de Aterros de Resíduos Sólidos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife. 2011.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Relatório nº. 29.956, Levantamento e análise das causas do escorregamento de massa de lixo no Aterro Bandeirantes – AS-1**. Perus, São Paulo, 1991.
- MARIANO, M. O. H. **Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterro de resíduos sólido**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife. 2008.
- SANTOS, Y. R. P. ; SILVA, J. A. ; NORBERTO, A. S. ; COUTINHO, A. P. ; BELLO, M. I. M. C. V. . **Avaliação da Estabilidade dos Taludes das Margens do Riacho Camaragibe em Pernambuco**. In: Simpósio da Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro-Oeste, Goiânia - GO. IV GEOCENTRO, p. 332-339, 2017.
- STRAUSS, M. **Análise de estabilidade de talude do aterro sanitário da zona norte de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 1998.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-429-0

