



EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

DANIEL SANT'ANA
(ORGANIZADOR)



EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

DANIEL SANT'ANA
(ORGANIZADOR)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
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. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Evolução do conhecimento científico na engenharia ambiental e sanitária

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Emely Guarez
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Daniel Sant'Ana

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E93 Evolução do conhecimento científico na engenharia ambiental e sanitária / Organizador Daniel Sant'Ana. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-477-1
DOI 10.22533/at.ed.771202610

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária. I. Sant'Ana, Daniel (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A coleção “*Evolução do Conhecimento Científico na Engenharia Ambiental e Sanitária*” tem como objetivo disseminar o estado atual do conhecimento das diferentes áreas das ciências ambientais e sanitárias, apresentando a evolução do campo científico por meio de diferentes tipos de trabalhos que abordam os aspectos tecnológicos, políticos, econômicos, sociais e ambientais desta disciplina.

É de suma importância perceber que o constante crescimento populacional vem pressionando os recursos hídricos pela elevada demanda por água e poluição de corpos hídricos. Consequentemente, observa-se uma piora na qualidade da água e uma pressão nos sistemas de produção e distribuição de água potável.

Com isso em mente, os primeiros capítulos deste livro apresentam diferentes estudos que apresentam soluções capazes de otimizar os sistemas urbanos de abastecimento de água potável. Em seguida, os capítulos subsequentes abordam temas relacionados a modelagem e análise da qualidade de água de diferentes sistemas hídricos, indicando a necessidade de se investir em ações, projetos e políticas públicas voltadas a preservação ambiental e de recursos hídricos.

Políticas públicas e programas governamentais são instrumentos essenciais para preservação do meio ambiente, conservação de água e garantir saúde e bem-estar à sociedade. Como exemplo, os Planos de Preservação e Recuperação de Nascentes das Bacias Hidrográficas da Codevasf, apresentado no Capítulo 9.

Com o novo marco legal do saneamento básico (Lei nº 14.026/2020), não há como não demonstrar preocupação com o novo modelo de operação do setor de saneamento básico através de empresas públicas de capital aberto e de prestação direta por empresas privadas (Capítulo 10).

Com isso, torna-se crucial neste momento, o estabelecimento de parâmetros e indicadores para fiscalização do cumprimento das metas da universalização do saneamento básico. O Capítulo 11 apresenta proposições de mudança do SNIS para aumentar a qualidade e a confiabilidade dos dados registrados no novo sistema, o SINISA, uma ferramenta que poderá auxiliar nesta nova gestão do saneamento básico no Brasil.

Realmente, ainda há muito trabalho pela frente no que se diz respeito a universalização do saneamento básico no Brasil (Capítulo 12). Mesmo assim, podemos observar nos últimos capítulos que diferentes soluções para o tratamento de esgoto e de manejo de resíduos sólidos e do solo vêm sendo estudadas com o intuito de preservar o meio ambiente.

Este volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes partes do país e da Espanha, trazendo, de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos à qualidade de água e preservação de recursos hídricos, abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e manejo de resíduos sólidos e do solo. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS EN BANCO DE ENSAYOS. APLICACIÓN EN SIMULACIÓN DE LLENADO-VACIADO DE CONDUCCIONES

Paloma Arrué Burillo

Antonio Manuel Romero Sedó

Jorge García-Serra García

Vicent B. Espert Alemany

Román Ponz Carcelén

DOI 10.22533/at.ed.7712026101

CAPÍTULO 2..... 15

DESARROLLO DE UN SOPORTE DIGITAL COMO BASE DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INTELIGENTE DE REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

José Pérez-Padillo

Pilar Montesinos Barrios

Emilio Camacho Poyato

Juan Antonio Rodríguez Díaz

Jorge Pérez Lucena

Jorge García Morillo

DOI 10.22533/at.ed.7712026102

CAPÍTULO 3..... 28

COMPARAÇÃO ENTRE MIGHA E AG PARA A CALIBRAÇÃO DO FATOR DE ATRITO

Alessandro de Araújo Bezerra

Renata Shirley de Andrade Araújo

Marco Aurélio Holanda de Castro

DOI 10.22533/at.ed.7712026103

CAPÍTULO 4..... 37

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO PARA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAVEIRAS

Lucas de Bona Sartor

Taciana Furtado Ribeiro

Camila Caroline Branco

Mariáh de Souza

Lais Sartori

Bruna da Silva

DOI 10.22533/at.ed.7712026104

CAPÍTULO 5..... 48

MODELAGEM DE QUALIDADE DA ÁGUA (MQUAL) APLICADA NO ESTUDO DE SISTEMAS HÍDRICOS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Jesuéte Bezerra Pachêco

José Carlos Martins Brandão

Carlos Henke de Oliveira

Carlos Hiroo Saito

DOI 10.22533/at.ed.7712026105

CAPÍTULO 6..... 67

ANÁLISE LITOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA ITAQUI – BACANGA, SÃO LUÍS, MARANHÃO: EVIDÊNCIA DA INTRUSÃO MARINHA

Flávia Rebelo Mochel

Luís Alfredo Lopes Soares *in memoriam*

Paulo Roberto Saraiva Cavalcante

DOI 10.22533/at.ed.7712026106

CAPÍTULO 7..... 86

ANÁLISE FITOPLANCTÔNICA DA BARRAGEM DO RIO MARANGUAPINHO E ANÁLISE HIDROLÓGICA DA BACIA METROPOLITANA DE FORTALEZA, CEARÁ

Paloma Paiva Santiago

Laiane Maria Costa Lima

Leticia Soares Sousa

Marina Andrade Costa

Leticia Penha de Vasconcelos

DOI 10.22533/at.ed.7712026107

CAPÍTULO 8..... 94

ANÁLISE DA QUALIDADE HÍDRICA DA LAGOA MIRIM E DO CANAL SÃO GONÇALO

Vitoria Rovel da Silveira

Gabriel Borges dos Santos

Marlon Heitor Kunst Valentini

Henrique Sanchez Franz

Victória Huch Duarte

Larissa Aldrighi da Silva

Denise dos Santos Vieira

Beatriz Muller Vieira

Diuliana Leandro

Willian Cezar Nadaleti

Bruno Müller Vieira

DOI 10.22533/at.ed.7712026108

CAPÍTULO 9..... 106

PLANOS NASCENTES: PRESERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE NASCENTES DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SÃO FRANCISCO, PARNAÍBA, ITAPECURU E MEARIM

Eduardo Jorge de Oliveira Motta

Camilo Cavalcante de Souza

Renan Loureiro Xavier Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.7712026109

CAPÍTULO 10..... 120

POLÍTICA DE SANEAMENTO BÁSICO NO CONTEXTO DO MARCO REGULATÓRIO EM SÃO LUÍS DO MARANHÃO, BRASIL

Marcos Antônio Silva do Nascimento

Antonio José de Araújo Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.77120261010

CAPÍTULO 11..... 135

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL: DO SNIS AO SINISA

Marise Teles Condurú

José Almir Rodrigues Pereira

João Diego Alvarez Nylander

Rafaela Carvalho da Natividade

DOI 10.22533/at.ed.77120261011

CAPÍTULO 12..... 146

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE CARÊNCIA HABITACIONAL NA ZONA NORTE DE NATAL, METRÓPOLE BRASILEIRA

Ruan Henrique Barros Figueredo

Vinícius Navarro Varela Tinoco

Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes

Brenno Dayano Azevedo da Silveira

Almir Mariano de Sousa Junior

DOI 10.22533/at.ed.77120261012

CAPÍTULO 13..... 155

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE EFLUENTES TRATADOS ATRAVÉS DE MODELO DE FOSSA SÉPTICA COM FILTRO BIOLÓGICO

José Vicente Duque dos Santos

Edson Barboza Pires

Yuri Sotero Bomfim Fraga

DOI 10.22533/at.ed.77120261013

CAPÍTULO 14..... 167

IMPACTO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA GESTÃO E NA CONCEPÇÃO, PROJETOS, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Maria Eugenia Gimenez Boscov

DOI 10.22533/at.ed.77120261014

CAPÍTULO 15..... 178

MONITORAMENTO E PREVISÃO DE RECALQUES A LONGO PRAZO USANDO MODELOS DE COMPRESSIBILIDADE: ESTUDO DE CASO

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Gabrielle Sthefanine Silva Azevedo

Leandro Rangel Corrêa

Elisabeth Ritter

DOI 10.22533/at.ed.77120261015

CAPÍTULO 16..... 189

UTILIZAÇÃO DE OZÔNIO COMBINADO COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO PARA O

TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Jandira Leichtweis

Siara Silvestri

Nicolý Welter

Mariana Islongo Canabarro

Keila Fernanda Hedlund Ferrari

Elvis Carissimi

DOI 10.22533/at.ed.77120261016

CAPÍTULO 17..... 199

COEFICIENTE DE DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM ÁREAS DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA* E *EUCALYPTUS CITRIODORA*

Winkler José Pinto

André Batista de Negreiros

DOI 10.22533/at.ed.77120261017

SOBRE O ORGANIZADOR..... 213

ÍNDICE REMISSIVO..... 214

IMPACTO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA GESTÃO E NA CONCEPÇÃO, PROJETOS, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 16/07/2020

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ.
<http://lattes.cnpq.br/5792883380687165>

Maria Eugenia Gimenez Boscov

Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.
<http://lattes.cnpq.br/5142308157182335>

RESUMO: Depois de 20 anos de debates técnicos e políticos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305) foi aprovada em 08 de agosto de 2010. A PNRS preencheu uma enorme lacuna na legislação ambiental brasileira, trazendo normas e regras para um grande problema urbano, os resíduos sólidos. A Lei 12.305 perfila-se entre as modernas leis de países avançados e versa sobre várias questões atinentes à gestão de resíduos sólidos e que apresentam influência nos projetos e obras geotécnicos voltados à preservação ambiental. Esses itens, embora não diretamente relacionados às obras civis, terão consequências importantes em sua configuração. Neste capítulo são discutidas algumas das consequências mais evidentes da PNRS na concepção, projeto, construção e operação de aterros de resíduos sólidos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos urbanos, Política Nacional de Resíduos Sólidos, Gestão, Comportamento geomecânico, Aterros sanitários.

1 | INTRODUÇÃO

Depois de 20 anos de debates técnicos e políticos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305) foi aprovada em 08 de agosto de 2010. A PNRS preencheu uma lacuna significativa na legislação ambiental brasileira, trazendo normas e regras para um grande problema urbano, os resíduos sólidos. A Lei 12.305 perfila-se entre as modernas leis de países avançados.

A PNRS versa sobre várias questões atinentes à gestão de resíduos sólidos e que apresentam influência nos projetos e obras geotécnicos voltados à preservação ambiental: estabelecimento de um novo conceito de resíduo, os rejeitos; os resíduos devem ser submetidos a processos de beneficiamento antes de serem dispostos de forma ambientalmente adequada; a matéria orgânica não deve ser disposta em aterros sanitários e deve ser reciclada; proibição do vazamento dos resíduos em lixões e exigência de encerramento e recuperação desses vazadouros a céu aberto; os municípios, assim como os estados, devem elaborar os seus Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), como condição imprescindível para receber recursos da União para obras

de saneamento; implementação da coleta seletiva inserindo os catadores de material recicláveis; aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos com a implantação do monitoramento dos gases, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental; e o estabelecimento de diretrizes e responsabilidades jurídicas sobre a gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, da logística reversa e da responsabilidade compartilhada para sua implantação.

Após 10 anos, muito pouco ainda resulta da promulgação da PNRS. Espera-se que quando da implantação definitiva, esses itens, embora não diretamente relacionados às obras civis, terão consequências importantes em sua configuração. Neste capítulo são abordadas algumas das consequências mais evidentes da PNRS na concepção, projeto, construção e operação de aterros de resíduos sólidos urbanos.

2 I A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, LEI 12.305/2010

O objetivo da PNRS é proteger a saúde pública e o meio ambiente e promover ações para a não geração, redução, reaproveitamento, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequados dos resíduos, incentivar a reciclagem industrial, o emprego de tecnologias limpas, a gestão integrada de RS e a capacitação técnica continuada.

A PNRS versa sobre 5 eixos temáticos: hierarquização dos resíduos, Responsabilidade compartilhada, logística reversa, planos e gestão integrada de resíduos sólidos e Incentivos fiscais, que serão apresentados a seguir.

2.1 A Hierarquização de Resíduos

A gestão de resíduos deve priorizar a não geração, a redução, o reaproveitamento e a reciclagem, nessa ordem de hierarquia. Caso o resíduo não possa ser reaproveitado e reciclado, deve passar por um tratamento e então ser disposto de forma ambientalmente adequada.

A matéria orgânica deve ser reciclada e não deve ser descartada em aterros sanitários, nos quais só devem ser dispostos os rejeitos. O termo “rejeitos”, segundo a PNRS, indica todos os materiais que não podem ser beneficiados, tratados, reaproveitados e reciclados, diferentemente dos resíduos sólidos, que podem ser usados inclusive como matérias primas para outros processos e como aproveitamento energético. Embora o conceito seja interessante por tentar incentivar o reuso dos resíduos urbanos, foi apropriado de um termo já utilizado tradicionalmente na área da mineração para os resíduos do beneficiamento dos minérios Também é incentivado o emprego da incineração, desde que atendendo a critérios ambientais, ou seja, desde que se obtenham licenças ambientais.

A lei exigia o fechamento de lixões nos municípios até 2014, sob pena de multa pela Lei 9.605 de crimes ambientais. A publicação da PNRS inicialmente resultou em um movimento significativo por parte dos municípios brasileiros para que os resíduos sólidos

urbanos fossem dispostos em locais adequados, porém não se logrou o encerramento de todos locais de disposição inadequada (lixões e aterros controlados) até o momento. Como ainda mais do que 50% dos municípios brasileiros ainda não contam com disposição adequada, uma medida provisória estendeu o prazo para encerramento dos lixões.

2.2 A Responsabilidade Compartilhada

Um grande avanço atinente à gestão de resíduos sólidos é a responsabilidade compartilhada. Nos termos da PNRS significa repartir responsabilidades entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, poder público e consumidor pelo ciclo de vida do produto. Todos são responsáveis para que o poder público não arque sozinho com a gestão dos resíduos.

2.3 A Logística Reversa

A logística reversa é um conjunto de ações, meios e procedimentos para que os resíduos retornem aos fabricantes. No ciclo da logística devem ser retornados os seguintes resíduos: pilhas e baterias, óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, pneus, embalagens de agrotóxicos, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Adicionalmente, foram identificados também como prioritários os medicamentos e as embalagens em geral. A promoção da LR deve ser feita pelo governo através de acordos setoriais.

O ritmo da Logística Reversa segue aquém das necessidades. O setor de embalagens de lubrificantes, embalagens de agrotóxicos e pneus inservíveis já operavam em um sistema estruturado de logística reversa, regulados por resoluções CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) desde anos 90. Após a promulgação da PNRS, os acordos setoriais dos demais resíduos vêm sendo lentamente aprovados e implementados nos termos da Lei. Neste ano, saiu o Decreto 10.388, que institui a Logística Reversa de medicamentos domiciliares de uso humano, vencidos ou em desuso, industrializados e manipulados, e de suas embalagens após o descarte pelos consumidores.

2.4 Planos de Gestão Integrada

O plano de gestão é um produto e um processo para melhorar a gestão integrada de resíduos sólidos. O plano deve ser feito em nível nacional, estadual e municipal. Tem horizonte de 20 anos e deve ser revisado a cada 4 anos. O governo condiciona o apoio de financiamentos para o setor de saneamento à execução do plano, o qual pode ser atrelado ao Plano de Saneamento Básico, também exigido pela Lei 11.445 de 2007, ou pode ser feito separadamente.

No Plano de Gestão Integrada é feito um diagnóstico dos resíduos, tipos, quantidades, características, bem como um levantamento da forma de prestação do serviço, a sustentabilidade financeira, as legislações existentes, o processo de fiscalização, e um levantamento dos catadores de material reciclável.

Com esses dados traçam-se cenários, prognósticos e metas de melhoria no setor, adotando-se tecnologias concernentes com a realidade local. Assim deve-se incentivar o reaproveitamento, a redução dos resíduos, a reciclagem, a inserção dos catadores do local para a coleta seletiva, o fim dos lixões e o emprego de tecnologias de acordo com as diretrizes da Política Nacional.

Para os municípios com menos de 20.000 habitantes, o Plano de Gestão Integrada deve ter conteúdo simplificado, porém esta regra não se aplica a municípios integrantes de áreas de especial interesse turístico, inseridos em áreas de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional e cujos territórios abranjam, total ou parcialmente, Unidades de Conservação

A lei também obriga a realização de Planos de Gerenciamento para resíduos perigosos e resíduos que por sua composição e volume não se enquadram nos RSU, a exemplo dos RCC (Resíduos da Construção Civil), agrossilvopastoris, de portos e aeroportos. As licenças para as atividades que geram estes resíduos ficam condicionadas à elaboração dos respectivos planos de gerenciamento

De acordo com a Confederação Nacional dos Municípios (CNM, 2017), 59,1% dos municípios ainda não elaboraram seus Planos, seja por questões financeiras ou por deficiências de capacitação técnica.

2.5 Incentivos Fiscais

A lei sugere este aspecto muito importante para fomentar o reaproveitamento e a reciclagem: incentivos fiscais para indústrias recicladoras e de reaproveitamento, e desoneração dos impostos da cadeia produtiva de resíduos, pois se pagam impostos duas vezes pelo produto, durante sua fabricação e depois de reciclado. O objetivo é incentivar o uso do produto reciclado, tornando-o mais barato do que seu congênere, já que o preço de alguns produtos reciclados muitas vezes é maior.

2.6 Outros aspectos

Ademais das questões abordadas, a PNRS proíbe: descarte de resíduos a céu aberto, descarte de resíduos em rios, mares, lagos, queima de resíduos a céu aberto, descarte de resíduos perigosos em locais inadequados; e enquadra o não cumprimento da Lei 12.305 a multas e punições, de acordo com a Lei de Crimes Ambientais, Lei 9.605.

3 | DESAFIOS E SUPERAÇÕES DA GESTÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL

A gestão de resíduos sólidos no Brasil é um tema candente no cenário atual. É inegável que nos últimos 20 anos houve avanços significativos, porém ainda há muitos desafios a serem enfrentados para a superação das barreiras. O CEMPRE (2019) aponta como principais desafios para acabar com os lixões espalhados pelo País e aumentar a abrangência da reciclagem, evitando assim impactos ambientais e sociais, a dificuldade

técnica e financeira e a descontinuidade política. No que tange a reciclagem especialmente podem ser mencionados também a falta de separação na fonte geradora, a longa cadeia que o resíduo percorre até chegar ao início do processo de reciclagem, a logística para levar o produto reciclado até os potenciais consumidores, a falta de incentivos fiscais, preconceitos, hábitos culturais e falta de indústrias recicladoras.

O IPEA, 2010 aponta que apenas 13% do total de resíduos urbanos gerados no país é encaminhado para a reciclagem e estima que o Brasil desperdiça 8 bilhões de reais pela falta de reciclagem. Do pequeno percentual de resíduos reciclados no Brasil, 80% deve-se ao trabalho informal de catadores que atuam sob condições degradantes.

Os resíduos orgânicos, segundo o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, representam uma parcela de 50% do total dos resíduos gerados, porém apenas 1,97% chegaram a unidades de compostagem para tratamento evitando os impactos ambientais, como a geração e lançamento do gás metano para a atmosfera decorrente da decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbias (BRASIL, 2019a).

Com relação a disposição final, de acordo com a ABRELPE (2019), 40% dos resíduos coletados são dispostos de forma inadequada, ou seja, 29,5 milhões de toneladas de RSU acabaram indo para lixões e/ou aterros controlados, que não contam com um conjunto de sistemas e medidas necessários para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente contra danos e degradações.

Há várias dificuldades para a implantação de aterros sanitários, principalmente nas grandes cidades, tais como a escassez de áreas disponíveis, a rejeição da população em morar próximo a um local de disposição de resíduos, e a valorização crescente das áreas urbanas no entorno das cidades. Nas pequenas e médias cidades, cita-se a rápida transformação de aterros sanitários em lixões ou aterros controlados, pois apenas a infraestrutura adequada não é suficiente para garantir a qualidade ambiental do local de disposição final; é fundamental a operação adequada durante toda a vida útil. De acordo com o Ministério das Cidades, de 200 aterros sanitários construídos, 178 se transformaram em lixões em apenas 2 anos, Silvério (2011).

4 | INTERFERÊNCIAS DA POLÍTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONCEPÇÃO DE PROJETOS DE ATERROS SANITÁRIOS

Algumas orientações da PNRS podem interferir no comportamento geotécnico da massa de resíduos e, portanto, na concepção, projeto, construção e operação dos novos aterros sanitários, pois podem resultar em um material final a ser disposto muito diferente daquele que tem sido depositado nos aterros sanitários nos últimos anos.

Serão levantadas a seguir algumas conjecturas a respeito das consequências mais evidentes das alterações esperadas.

A orientação para o máximo aproveitamento dos materiais recicláveis e reaproveitáveis acarretará na redução da porcentagem de plásticos, madeiras e tecidos;

em consequência, espera-se também a redução da sua contribuição para a estabilidade dos maciços de RSU.

Os componentes fibrosos imprimem um mecanismo de reforço similar ao de um solo granular reforçado com fibras orientadas aleatoriamente, conhecido como “efeito-fibra” (König e Jessberger 1997, Mahler e Lamare Neto 2000, Vilar et al. 2006, Machado et al. 2008, Borgatto et al. 2014), conforme ilustrado na Figura 1.

Os RSU no estado inicial de disposição não apresentam coesão, por serem basicamente granulares; o intercepto coesivo determinado nesta fase, assim como os altos valores de intercepto coesivo obtidos em RSU de maneira geral, são devidos aos elementos fibrosos. O efeito das fibras no valor do intercepto de coesão da envoltória de Mohr-Coulomb foi estimado por Borgatto et al. (2012) por ensaios de cisalhamento direto realizados com lixo pré-tratado sem e com retirada dos sacos plásticos; os resultados mostraram um acréscimo de 10 kPa na coesão (de 24-28 kPa a 34-38 kPa) devido ao efeito-fibra.



Figura 1. “Efeito-fibra” dos sacos plásticos na massa de resíduos (Benvenuto, 2013).

Outra orientação da PNRS que resultará em alterações substanciais no projeto de aterros sanitários é a proibição da disposição de matéria orgânica putrescível nos aterros sanitários para ser submetida a compostagem e/ou digestão anaeróbia. Os parâmetros de resistência, permeabilidade e deformabilidade são fundamentalmente relacionados ao teor de matéria orgânica, assim como a variação desses parâmetros ao longo de tempo é em grande parte resultante da transformação de matéria sólida em líquidos e gases por biodegradação.

A faixa de variação do coeficiente de permeabilidade de RSU de diversos países é extensa, com a maioria dos valores entre 10^{-6} e 10^{-4} m/s, enquanto os valores de referência nacionais são mais baixos, entre 10^{-8} e 10^{-6} m/s, possivelmente devido ao maior teor de matéria orgânica em relação aos RSU de países mais desenvolvidos (Bosco, 2006).

Em presença de umidade e temperatura apropriadas os resíduos orgânicos se decompõem gerando gases e lixiviados. Esta transformação se reflete na perda de massa de resíduos e está diretamente relacionada à magnitude e velocidade de recalques (Pereira, 2000). Os elevados valores de recalque de aterros sanitários, da ordem de 20 a 30%, devem-se principalmente à biodegradação, cuja contribuição é tanto mais significativa quanto maior o teor de matéria orgânica putrescível na composição dos resíduos.

Investigação da compressibilidade no aterro controlado de Valdemingómez, situado em Madri, Espanha, durante 2 anos (Pereira, 2000; van Elk *et al.*, 2014), revelou a grande proporção dos recalques secundários, que alcançaram 55% do recalque total da massa de resíduos.

Os recalques por biodegradação dos RSU podem ser estimados diretamente por modelos de compressão que agregam a biodegradação, como os de Zimmerman *et al.* (1977), Meruelo (Palma, 1995), Simões (2000), Marques *et al.* (2003) e HBM (McDougall, 2007). Geralmente, porém, são estimados indiretamente, incorporados aos recalques por compressão secundária nos modelos baseados em teorias de adensamento de solos, Sowers (1973) e Bjangard & Edgers (1990), ou por meio de ajustes empíricos de funções exponenciais e logarítmicas a séries históricas de dados de recalques a exemplo dos modelos de Gandola *et al.* (1994) e Ling *et al.* (1998).

No primeiro caso, nos modelos que agregam explicitamente a biodegradação, o teor de matéria orgânica incluído como parâmetro nos modelos facilita a previsão de recalques para novos aterros, necessitando-se simplesmente estimar esse valor. Nos modelos que incorporam indiretamente a biodegradação, será necessária revisão dos valores dos parâmetros relativos ao desenvolvimento dos recalques com o tempo, pois resultam de estimativas baseadas na composição atual dos RSU brasileiros, a qual deverá mudar com a implantação da PNRS, com diminuição significativa do teor de matéria orgânica.

A parcela de recalques por mecanismo viscoso, diretamente relacionada à matéria orgânica, também tem sido incorporada aos modelos de previsão de recalques de RSU, geralmente por meio da compressão secundária, mas também explicitamente por modelos viscoelásticos (Marques, 2003; Malavoglia, 2016). Esta parcela também será alterada pela modificação na composição do material.

A grosso modo, portanto, em caráter especulativo, e ainda sujeita a estudo e confirmação, cria-se a expectativa de trabalhar com material mais permeável, menos deformável, menos viscoso e sem a colaboração de fibras, resultando em recalques menores e mais rápidos. Outra suposição é a de que a redução do teor de matéria orgânica putrescível contribua favoravelmente para a estabilidade do maciço, devido à redução das

poro-pressões, considerando-se a diminuição da umidade associada à matéria orgânica, a menor geração de líquidos e gases, e a maior facilidade de drenagem.

A principal consequência da diminuição do teor de matéria orgânica, porém, talvez seja a diminuição da geração de lixiviado e de gases no maciço sanitário. Além de impactar o dimensionamento dos sistemas de drenagem e tratamento de lixiviado, de forma positiva por diminuir vazões a serem coletadas e tratadas, haverá um efeito direto no aproveitamento energético de biogás do aterro, visto que o teor de matéria orgânica é parâmetro fundamental nas equações de previsão de geração de biogás (USEPA 1998; World Bank 2003; IPCC 2006).

A composição do rejeito, isto é, o material que será finalmente disposto no aterro sanitário, ainda é desconhecida. Abre-se a perspectiva e a necessidade de caracterizar e estudar o comportamento geotécnico deste novo material. Os resíduos reciclados, por sua vez, poderão ser utilizados em substituição a materiais naturais nos diversos sistemas componentes do aterro sanitário (revestimentos de fundo, cobertura, sistemas de drenagem, pavimentos etc.), o que demandará o estudo do comportamento geomecânico e ambiental desses materiais sob as condições bioquímicas dos aterros sanitários.

Outro aspecto a destacar é que os aterros sanitários deverão ser concebidos e projetados como espaços destinados às novas atividades, quais sejam: separação, peneiramento, armazenamento, reciclagem, compostagem, entre outros. A configuração do aterro, particularmente a distribuição espacial das instalações e áreas necessárias a uma nova rotina de operação, deverá resultar também bastante diferente da situação atual.

A obrigatoriedade de encerramento e posteriormente recuperação das áreas de disposição inadequada também coloca novos desafios. O encerramento das áreas de disposição inadequada deverá alavancar os conhecimentos sobre o controle de escape de lixiviado e gases, assim como sobre as deformações em longo prazo da massa de resíduos. Deverão ser estudadas soluções para reuso dessas áreas, assim como a possibilidade de mineração urbana ou mineração de lixo (Benvenuto, 2013). Não se pode impedir o crescimento das cidades pelo fato de áreas, em seu entorno, estarem ocupadas por antigos lixões (Pereira, 2000).

As emissões fugitivas de biogás pela cobertura vêm sendo foco de atenção no meio técnico, como se observa pelo destaque dado a esse tema nos últimos ICEGs (International Congress on Environmental Geotechnics). Este interesse deve-se ao fato de que os aterros sanitários são responsáveis pela maior proporção de emissões de gases de efeito estufa no setor de resíduos sólidos.

Paralelamente, a implantação da incineração em grandes municípios trará novos tipos de resíduo ao meio urbano, as cinzas de incineração volantes e as cinzas de fundo (escória). Enquanto as primeiras são consideradas resíduos perigosos e devem ser destinadas como tal, as cinzas de fundo podem ter aplicações geotécnicas (Fujikawa et al., 2019).

A recuperação das áreas de disposição inadequada incluirá o desenvolvimento de técnicas expeditas para delimitação da região contaminada, com protagonismo dos métodos geofísicos, a implantação de técnicas de remediação em larga escala e o reaproveitamento de resíduos anteriormente dispostos, inclusive como materiais geotécnicos. Tem-se, assim, três grandes campos abertos para a pesquisa e a prática da Engenharia Geotécnica.

5 | COMENTÁRIOS FINAIS

A PNRS traz diretrizes e metas para requalificar significativamente a questão dos resíduos sólidos no país, porém ainda é necessária a operacionalização dessas propostas para que se evolua efetivamente da situação atual para a realidade antevista pela lei.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece princípios importantes em termos de proteção ambiental e sustentabilidade. Ademais, traz desafios para o meio geotécnico, tanto para profissionais como acadêmicos, com novas demandas de projeto, métodos construtivos, monitoramento e pesquisa. Nos primeiros 10 anos desde a promulgação da referida lei, porém, o progresso efetivo da situação dos resíduos sólidos brasileiros mostrou-se tímido e desuniforme, não tendo sido alcançado um atendimento satisfatório às metas iniciais. Quando a lei for amplamente implantada, espera-se uma grande demanda para a engenharia geotécnica.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019**. São Paulo: Grappa Editora e Comunicações, 2019. ISSN 2179-8303.

BOSCOV, M. E. G.; BENVENUTO, C. **Palestra: A Importância da Geotecnia no Projeto, Licenciamento e Operação de Aterros Sanitários**, ITA, São José dos Campos. 2013.

BORGATTO, A.V.A.; MAHLER, C.F.; MÜNNICH, K. **Influência do material plástico mole nos parâmetros de resistência dos resíduos sólidos urbanos “pré-tratados”**. Geotecnia, 124, pp.47-56, 2012.

BJANGARD, A.; EDGERS, L. Settlement of municipal solid waste Landfills. **Proc. 13th Annual Madison Waste Conf.**, Univ. Of Wisconsin, Madison, Wis., 192-205, 1990.

BOSCOV, M.E.G. Desafios geotécnicos no projeto e construção de aterros de resíduos. **Anais.. Curitiba: ABMS**, 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS (CNM), Pesquisa sobre gestão municipal de resíduos sólidos: Análise dos resultados prévios. 2017. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/biblioteca/exibe/3080>>. Acesso em: 10 de ago. de 2019.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE), Review, 2019. www.cempre.org.br

BRASIL, **Lei 12.305 de 08 de agosto de 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos.

FUJIKAWA, T.; SATO, K.; KOGA, C.; SAKANAKURA, H. Evaluation of Environmental Safety on Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash Using Aging Method. *In: Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Geotechnics*, Vol. 1, Springer, Singapore, 2019.

GANDOLLA, M. A determinação dos efeitos do recalque sobre os depósitos de lixo sólido municipal. *In: Simpósio Internacional de Destinação do Lixo*. Salvador, 1994.

EGGLESTON H.S.; BUENDIA L.; MIWA K.; NGARA T.; TANABE K. (eds). Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Published: IGES, Japan, 2006.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada . **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais prestados para gestão de resíduos sólidos urbanos**. (Relatório de Pesquisa), 2010. Site: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100514_relatsau.pdf>. Acesso em: 13 de abr. de 2016.

KONIG , D.; JESSBERGER, H. L. Report of the Technical Committee 5 (Environmental Geotechnics). Sub Committee 3 (Waste Mechanics). **International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**, 1997.

MCDOUGALL J. A hydro-bio-mechanical model for settlement and other behavior in landfilled waste. **Computers and Geotechnics**, 34, 229-246, 2007.

MACHADO, S.L.; VILAR, O.M.; CARVALHO, M.F. Constitutive model for long term municipal solid waste mechanical behavior. **Computers & Geotechnics**, v. 35, pp. 775-790, 2008.

MACHADO, S.L.; KARIMPOUR-FARD, M.; SHARIATMADARI, N.; CARVALHO, M.F.; NASCIMENTO, J.C.F. Evaluation of the geotechnical properties of MSW in two Brazilian landfills. **Waste Management**, 30, pp. 2579–2591, 2010.

MAHLER, C.F.; LAMARE NETO, A. Análise da estabilidade do vazadouro da Rua Duarte da Silveira (Petrópolis), considerando o efeito das fibras. *In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2000, Porto Alegre. **Anais[...]**. Porto Alegre, 2000.

MALAVOGLIA, G.C. **Modelos Viscoelásticos Aplicados à Previsão da Compressão de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação de mestrado, EPUSP, São Paulo, 106 p., 2016.

MARQUES, A. C. M.; FILZ, G. M.; VILAR, O. M. Composite Compressibility Model for Municipal Solid Waste. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 129:4, 372-379, 2003.

PALMA, J. H. **Comportamiento geotécnico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos**. Tesis Doctoral. ETSCCP, Universidad de Cantabria, 1995.

PEREIRA, A.G.H. **Compresibilidad de los residuos sólidos urbanos**. Tesis de Doctoral. Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Escuela de Minas. Universidad de Oviedo. España, 2000.

PHILIPPI JR, A. **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Editores Arnaldo Jardim, Consuelo Yoshida, José Valverde Machado Filho, Barueri, SP: Manole. 281p, 2012.

SENADO FEDERAL. <http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/residuos-solidos/materia.html?materia=projeto-concede-beneficio-para-empresa-comprar-produto-reciclado.html>. Acesso em: 02 de jul. de 2020.

SILVERIO, S. Palestra conferida no 26° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, 25 a 29 de setembro, Porto Alegre, 2011.

SIMÕES, G.F. **Modelo para avaliação de recalques em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos**. 2000. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

SOWERS, G.F. Settlement of waste disposal fills. **Proc. 8th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering**. Moscow, Vol 2/2, 1973.

USEPA. A Guide for Methane Mitigation Projects: Gas-to-energy at landfills and open dumps. EPA 430-b-96-081. **US environmental Protection Agency**. Washington. Disponível em: <www.epa.gov>, 1996.

VAN ELK, A.G.H.P; MAÑAS, L.S.; BOSCOV, M.E.G. Field Survey of Compressibility of Municipal Solid Waste. **Soils and Rocks**, São Paulo, 37(1): pp. 85-95, January-March, 2014.

WORLD BANK. **Manual para preparação de gás de aterro sanitário para projetos de energia na América Latina e Caribe**, Conestoga Rovers & Associates, Waterloo, Ontario, Canadá, 2003. Disponível em: <<http://www.worldbank.org>>.

ZIMMERMAN, R.E; CHEN, W.W.H. E FRANKLIN, A. G. Mathematical model for solid waste settlement. **Proc. Asce. Conf. Geotechnical Practice for waste Disposal**, Michigan, pp. 210-226, 1977.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abastecimento de Água 29, 36, 68, 69, 83, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 131, 132, 136, 138, 139, 142, 146, 147, 149, 151, 153, 156

Água Subterrânea 67, 70, 83

Algoritmo Genético 30, 36

Amazônia 48, 52, 54, 56, 59, 61, 63, 64, 65, 66

Aplicaciones para Dispositivos Móviles 15

Área de Recarga Hídrica 106, 115

Aterros Sanitários 167, 168, 171, 172, 173, 174, 175, 189, 190

B

Barragem 68, 69, 71, 86, 88, 89

C

Compressibilidade 173, 178, 179, 181, 185, 186, 188

CONAMA 68, 95, 96, 98, 100, 101, 102, 103, 158, 162, 163, 166, 169, 194, 197

Conservação de Recursos Hídricos 106

Contenção de Processos Erosivos 106

E

Efluentes 95, 98, 101, 102, 103, 112, 155, 157, 158, 159, 162, 163, 164, 165, 166, 194, 197

F

Fator de Atrito 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35

Filtro Biológico 155, 157

Fitoplâncton 86, 88, 89, 90, 91

Fossa Séptica 149, 155, 157, 160, 166

G

Gestão da Informação 135, 136, 137, 140, 145

H

Hidroquímica 67, 78, 85, 103

I

Intrusão Marinha 67, 77, 83

L

Litologia 67, 71, 77

Lixiviado de Aterro Sanitário 189

M

Manejo e Uso Adequado do Solo 106

Marco Regulatório 120, 121, 122, 126, 128, 130, 131, 132

Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo 28, 30, 35

Modelación Hidráulica 15

Modelagem de Qualidade da Água 48

Modelo Hidrológico 37, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46

Modelos de Previsão 173, 178, 179, 185, 186

P

Planejamento Urbano e Regional 146, 149, 154

Política de Saneamento 120, 121, 127, 141

Política Nacional de Resíduos Sólidos 167, 168, 175, 176

Poluente Recalcitrante 189

Poluição 49, 50, 83, 84, 94, 95, 96, 102, 125

Preservação de Nascentes e de Áreas Permanentes 106

Processos de Oxidação Avançada 189, 190

Processos Ecosistêmicos 199

Q

Qualidade 29, 42, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 63, 64, 66, 68, 69, 75, 83, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 117, 122, 124, 127, 135, 136, 137, 139, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 149, 150, 151, 153, 154, 156, 159, 166, 171, 190, 199, 200, 201, 204, 206, 207, 210

R

Recalque 173, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 186

Recursos Hídricos 16, 28, 36, 37, 40, 45, 46, 66, 85, 87, 88, 94, 95, 96, 103, 106, 108, 109, 117, 118, 142, 181

Resíduos Sólidos Urbanos 122, 139, 167, 168, 171, 175, 176, 177, 178, 180, 181, 187, 188, 190, 198

S

Saneamento Básico 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 150, 154, 156, 166, 169

Sedimentos 48, 51, 52, 54, 55, 57, 59, 61, 63, 64, 70, 75, 76, 86, 89, 90, 91, 112, 113, 115, 116

Sistemas de Informação Geográfica 15, 16




T

Tratamento 38, 94, 95, 98, 102, 105, 121, 125, 129, 130, 133, 139, 147, 153, 155, 156, 157, 158, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 168, 171, 174, 189, 190, 191, 193, 196, 198

V

Válvula 1, 3, 6, 7, 8, 12, 17

Ventosa y Modelo de Simulación 1

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA
