

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3



Cleiseano Emanuel da
Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3



Cleiseano Emanuel da
Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2021

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 Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

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
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto 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
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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 Alfnas

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 Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

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. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

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. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

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 Dra. 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
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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. 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. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª 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. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
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
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
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 Albornoz – 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
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 3

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B299 Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 3 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-974-5

DOI 10.22533/at.ed.745210804

1. Engenharia Ambiental e Sanitária. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (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

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

O e-book “Base de conhecimento gerado na Engenharia Ambiental e Sanitária 3”, constituído por vinte e oito capítulos de livros que foram organizados e divididos em três grandes áreas temáticas: (i) gestão de resíduos sólidos e líquidos; (ii) uso e impactos ambientais gerados por aterros sanitários e (iii) gestão e qualidade dos recursos hídricos.

Diante disso, inúmeros estudos já concluíram que vários recursos naturais (água, minerais, combustíveis fósseis e seus derivados entre outros) não são renováveis para suprir a necessidade e crescente demanda para manter tanto a atual quanto as futuras gerações, se não houver uma mudança drástica no atual estilo de vida e visão do homem. Neste sentido, a forma se pensar a relação homem/ambiente, surge a necessidade de melhorar a gestão de materiais e práticas de trabalho. Neste contexto, a construção civil e os diferentes seguimentos industriais passaram por uma mudança radical encararam ao criar e aplicar novas práticas e rotinas de trabalho, possibilitando a geração mínima de resíduos e aumentando o seu reaproveitamento em outros setores da sociedade. Neste sentido, a adoção de novas práticas de fabricação e trabalho levou a: (i) redução de custos com aquisição de matérias – primas; (ii) incorporação de resíduos na composição de diversos produtos industrializados; (iii) o reaproveitamento e tratamento de efluentes antes do seu lançamento em corpos aquáticos; (iv) aprimoramento constante do quadro de colaboradores e (v) aquisição de novas tecnologias foram os principais fatores para se atingir este êxito. Entretanto, a falta de um sistema de educação mais efetivo e uma legislação mais restritiva e punitiva para o poluidor ou a fonte de poluição, se constitui em um entrave para a prática de um desenvolvimento mais sustentável.

Diante disso, inúmeros resíduos são gerados e destinados a áreas para receber todo material enviado que será disposto da forma mais adequada – os aterros sanitários. No entanto, a existência destes não significa em eliminar o impacto gerado pelos resíduos, visto que estas áreas possuem um tempo de vida útil e a precarização da infraestrutura faz com que estes espaços sejam vetores de transmissão de doenças e com alto poder de contaminação tanto do solo com de recursos hídricos que estejam próximos. Não obstante a presença de pessoas e animais nestes lugares se caracteriza como um centro de veiculação de inúmeras doenças.

A destinação inadequada de resíduos se constitui no maior responsável por alterar a qualidade dos recursos hídricos contribuindo tanto para a sua não utilização para fins potáveis quanto para a sobrevivência dos diferentes organismos dos diversos ecossistemas existentes no Brasil. Logo, a utilização de tecnologias que promovam o monitoramento e tratamento dos corpos aquáticos é de suma importância para preservar e garantir que estes não venham a faltar em um futuro bem próximo.

Pensando nisso, a editora Atena trabalha com o intuito de estimular e incentivar tanto

a publicação de trabalhos científicos quanto a disponibilidade destes de forma gratuita por intermédio de diferentes plataformas em tempo real e acessível a todos, contribuindo para o desenvolvimento de uma maior consciência ambiental.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

COMPARAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE DUAS OBRAS EM BELÉM, PARÁ, BRASIL

Yuri Antônio da Silva Rocha
Bruno Mitsuo Hiura
Douglas Matheus das Neves Santos
Paulo Roberto Estumano Beltrão Júnior
Danúbia Leão de Freitas
Yan Torres dos Santos Pereira
Hugo Augusto Silva de Paula
William de Brito Pantoja
Juliane da Silva Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.7452108041

CAPÍTULO 2..... 13

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO PARA RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA NA CIDADE DO RECIFE, PERNAMBUCO

Eduardo Antonio Maia Lins
Vanessa Luana Bezerra Barbosa
Adriane Mendes Viera Mota
Maria Clara Pestana Calsa
Andréa Cristina Baltar Barros

DOI 10.22533/at.ed.7452108042

CAPÍTULO 3..... 22

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR

Mariane Viviurka Fernandes
Silvano da Silva Coutinho
Sílvia Carla da Silva André Uehara
Adriana Aparecida Mendes
Maiara Veiga Coutinho
Tatiane Bonametti Veiga

DOI 10.22533/at.ed.7452108043

CAPÍTULO 4..... 37

AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO DO SHOPPING MEGA MODA PARK, EM GOIÂNIA-GO

Rafaella Ferreira Rodrigues Almeida
Viníciu Fagundes Bárbara
Rosana Gonçalves Barros

DOI 10.22533/at.ed.7452108044

CAPÍTULO 5..... 57

DIAGNÓSTICO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA, ESGOTAMENTO SANITÁRIO E DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM TIMON-MA, BRASIL

George Ventura Alves Neri

Adriana Sotero Martins

Maria José Salles

DOI 10.22533/at.ed.7452108045

CAPÍTULO 6..... 71

ESTUDO DE CASO SOBRE A PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS MORADORES DE UM CONDOMÍNIO SOBRE O DESCARTE DO ÓLEO DE COZINHA

Eduardo Antonio Maia Lins

Natália Dias Feijó

Adriane Mendes Vieira Mota

Andréa Cristina Baltar Barros

Maria Clara Pestana Calsa

DOI 10.22533/at.ed.7452108046

CAPÍTULO 7..... 82

SUBTRAÇÃO DE VOLUMES EM ATERROS SANITÁRIOS: GESTÃO DE RESÍDUOS DE PODA DE ÁRVORES URBANAS

Barbara Lucia Guimarães Alves

DOI 10.22533/at.ed.7452108047

CAPÍTULO 8..... 94

GERAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM ATERRO SANITÁRIO – ESTUDO DE CASO

Eduardo Antonio Maia Lins

João Victor de Melo Silva

Regina Coeli Lima

Suzana Paula da Silva França

Sérgio Carvalho de Paiva

Raphael Henrique dos Santos Batista

Camilla Borges Lopes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.7452108048

CAPÍTULO 9..... 103

IMPACTOS AMBIENTAIS EM ATERRO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE SEBERI-RS

Tariana Lissak Schüller

Malva Andrea Mancuso

DOI 10.22533/at.ed.7452108049

CAPÍTULO 10..... 115

GESTÃO AMBIENTAL CONJUNTA DOS SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS

Ricardo Pêra Moreira Simões

DOI 10.22533/at.ed.74521080410

CAPÍTULO 11 127

A INTRUSÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS E O INCREMENTO DE VAZÕES EM ETE'S

Diogo Botelho Correa de Oliveira

Marco Aurélio Calixto Ribeiro de Holanda

Camila Barrêto Rique de Barros

Lorena Clemente de Melo
Willames de Albuquerque Soares
DOI 10.22533/at.ed.74521080411

CAPÍTULO 12..... 136

POTENCIALIDADES NO USO DA ÁGUA DO AQUÍFERO GUARANI

Gilmar Antônio da Rosa
Priscila Mara Knoblauch

DOI 10.22533/at.ed.74521080412

CAPÍTULO 13..... 153

CONFLITOS TERRITORIAIS EM BACIAS URBANAS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO NA FRONTEIRA BRASIL/COLÔMBIA E PERU

Ercivan Gomes de Oliveira
Adorea Rebello da Cunha Albuquerque
Manoel Góes dos Santos
Jefferson Rodrigues de Quadros

DOI 10.22533/at.ed.74521080413

CAPÍTULO 14..... 160

DESAFIOS DO NOVO MARCO LEGAL DO SETOR DE SANEAMENTO

Hugo Sergio de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.74521080414

CAPÍTULO 15..... 169

BIOPROSPECÇÃO DE RIZOBACTERIAS DE CAFÉ CONILON

Joyce Rayra Pereira Leite
Wanderson Alves Ferreira
Sabrina Spalenza de Jesus
Elson Barbosa da Silva Júnior

DOI 10.22533/at.ed.74521080415

CAPÍTULO 16..... 185

COMPARAÇÃO ENTRE A ANTIGA E A NOVA CLASSIFICAÇÃO TOXICOLÓGICA DOS AGROTÓXICOS UTILIZADOS NA CULTURA DA MAÇÃ NO MUNICÍPIO DE VACARIA/RS

Nilva Lúcia Rech Stedile
Cassiano da Costa Fioreze
Fernanda Meire Cioato
Tatiane Rech

DOI 10.22533/at.ed.74521080416

CAPÍTULO 17..... 204

AVALIAÇÃO DE RISCO RELATIVO DE DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA DE FONTES DE ABASTECIMENTO INDIVIDUAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA LOCALIZADAS NO BAIRRO GURIRI, SÃO MATEUS-ES

Tamires Lima da Silva
Fernando Soares de Oliveira

Talita Aparecida Pletsch
Daniela Teixeira Ribeiro
Yuri Graciano Bissaro Romualdo
Abrahão Welson de Souza
Bruna Bonomo Cosme

DOI 10.22533/at.ed.74521080417

CAPÍTULO 18.....215

PROGRAMA UM MILHÃO DE CISTERNAS [P1MC]: ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE INFORMANTES-CHAVE

Juliana Elisa Silva Santos
Patrícia Campos Borja

DOI 10.22533/at.ed.74521080418

CAPÍTULO 19.....229

AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE SANEAMENTO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS TRIBUTÁRIOS DO SISTEMA LAGUNAR DE MARICÁ, RJ

Luane Marques Toledo
Fernanda Carvalho Moreno Wall
Marcelo Obraczka
André Luís de Sá Salomão

DOI 10.22533/at.ed.74521080419

CAPÍTULO 20.....244

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DA LAGOA DO BALNEÁRIO VENEZA EM CAXIAS – MA

Manoel Vyctor Rocha da Silva
Deuzuita dos Santos Freitas Viana

DOI 10.22533/at.ed.74521080420

CAPÍTULO 21.....253

MODELAGEM COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE ESGOTO EM REDES COLETORAS ASSENTADAS EM DECLIVIDADES DRÁSTICAMENTE REDUZIDAS USANDO AS EQUAÇÕES DE SAINT-VENANT E DE BOUSSINESQ

Wolney Castilho Alves
Luciano Zanella

DOI 10.22533/at.ed.74521080421

CAPÍTULO 22.....268

SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE UMA REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA DO MONTE ALEGRE, SÃO PAULO

Fernanda Marques dos Santos
Camila Gallassi
Juliana Noronha Primitz
Vinicius Rainer Boniolo
Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho

DOI 10.22533/at.ed.74521080422

CAPÍTULO 23.....274

**AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DOS MODELOS GR4J, GR5J E GR6J NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO JOÃO, MINAS GERAIS**

Wallace Maciel Pacheco Neto
Fabianna Resende Vieira
Cristiano Christofaro Matosinhos

DOI 10.22533/at.ed.74521080423

CAPÍTULO 24.....289

**USO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA A
PLANIFICAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO
SANITÁRIO COM WETLAND CONSTRUÍDO EM MICROBACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

Lessandro Morini Trindade

DOI 10.22533/at.ed.74521080424

CAPÍTULO 25.....302

**SIBOOST – A INOVAÇÃO NA METODOLOGIA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM FOCO NA REGULARIDADE DOS EQUIPAMENTOS
PRESSURIZADORES DURANTE AS SINGULARIDADES DAS CRISES HÍDRICAS E
ENERGÉTICAS – CASE CARMELO BARONI UNIDADE DE NEGÓCIOS SUL – SABESP**

Kleber dos Santos
Ricardo Barros Cunha
Marco Antônio de Oliveira
Rogério de Castro Peres
Anderson Cleiton Barbosa
Vagner Motta

DOI 10.22533/at.ed.74521080425

CAPÍTULO 26.....319

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE UM TELHADO VERDE
SUBMETIDO AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Camila Barrêto Rique de Barros
Marco Aurelio Calixto Ribeiro de Holanda
Diogo Botelho Correa de Oliveira
Ariela Rocha Cavalcanti
Willames de Albuquerque Soares

DOI 10.22533/at.ed.74521080426

CAPÍTULO 27.....330

**REMOÇÃO DE ÁCIDOS HÚMICOS NA FILTRAÇÃO LENTA COM PRÉ-OXIDAÇÃO COM
RADIAÇÃO SOLAR**

Carlos Henrique Rossi
Edson Pereira Tangerino
Tsunao Matsumoto
Anielle Ferreira de Jesus Pardo

DOI 10.22533/at.ed.74521080427

CAPÍTULO 28.....	342
PHOTODEGRADATION OF WATER POLLUTANTS WITH TIO₂ CATALYSTS ACTIVATED WITH VISIBLE LIGHT AND UV LIGHT	
Maricela Villicaña Mendez	
Luisa Verónica Piña Morales	
Ma. Guadalupe Garnica Romo	
DOI 10.22533/at.ed.74521080428	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	352
ÍNDICE REMISSIVO.....	353

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE UM TELHADO VERDE SUBMETIDO AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 26/01/2021

Camila Barrêto Rique de Barros

Universidade de Pernambuco
Recife – Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/3519251732275622>

Marco Aurelio Calixto Ribeiro de Holanda

Universidade de Pernambuco
Recife – Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/2511268845383329>

Diogo Botelho Correa de Oliveira

Universidade de Pernambuco
Recife – Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/2647295852254445>

Ariela Rocha Cavalcanti

Universidade de Pernambuco
Recife – Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/8559919036832790>

Willames de Albuquerque Soares

Universidade de Pernambuco
Recife – Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/8129166589399635>

RESUMO: A redução de áreas permeáveis durante o processo de urbanização causa a diminuição no coeficiente de infiltração resultando em um aumento na taxa de escoamento superficial e consequente intensificação na frequência e na magnitude das inundações e alagamentos. Para melhorar os problemas hidrológicos associados a urbanização o uso

de telhado verde vem sendo uma alternativa promissora. Nesse sentido, essa pesquisa tem o objetivo de avaliar o comportamento hidrológico dessa técnica durante um período de baixa pluviosidade na Região Metropolitana do Recife (RMR). Para atingir o objetivo proposto foi monitorado um protótipo de telhado verde instalado no município de Olinda-PE durante o período de agosto a outubro de 2019 e realizado a simulação do fluxo de água por meio do modelo computacional Hydrus 1D. Analisou-se a capacidade de retenção de água no protótipo durante eventos naturais de chuva, com coleta de dados de umidade inicial do solo e volumes de entrada e saída de água controlados. Durante esse período observou-se uma precipitação total de 73,92 mm que foi completamente retida pelo protótipo de telhado verde. A simulação no Hydrus 1D mostrou que a variação no volume de água do solo atingiu valores abaixo do ponto de murcha permanente o que levou a morte da vegetação. Também foi verificado a necessidade de elaboração de um sistema de irrigação para os períodos secos.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem Urbana, Técnica compensatória, Sustentabilidade.

ANALYSIS OF THE HYDROLOGICAL BEHAVIOR OF A GREEN ROOF SUBMITTED TO THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE METROPOLITAN REGION OF THE RECIFE

ABSTRACT: The reduction of permeable areas during the urbanization process causes a decrease in the infiltration coefficient resulting in an increase in the runoff rate and a consequent

intensification in the frequency and magnitude of inundation and floods. To improve the hydrological problems associated with urbanization, the use of a green roof has been a promising alternative. In this sense, this research aims to assess the hydrological behavior of this technique during a period of low rainfall in the Metropolitan Region of Recife (RMR). To achieve the proposed objective, a green roof prototype installed in the municipality of Olinda-PE was monitored from August to October 2019 and the water flow simulation was performed using the Hydrus 1D computational model. The capacity of water retention in the prototype was analyzed during natural rain events, with data collection of initial soil moisture and controlled inlet and outlet volumes. During this period, a total precipitation of 73.92 mm was observed, which was completely retained by the green roof prototype. The simulation in Hydrus 1 D showed that the variation in the volume of water in the soil reached values below the permanent wilting point led to the vegetation death. There was also a need to develop an irrigation system for dry periods.

KEYWORDS: Urban Drainage, Compensatory Technique, Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado e não planejado dos centros urbanos causa mudanças significativas no meio ambiente, inclusive no ciclo hidrológico (Martins, 2018). Segundo Salman e Blaustein (2018), as alterações o aumento de áreas impermeáveis durante o processo de urbanização geram um aumento na frequência e na magnitude das inundações e alagamentos.

Uma alternativa de desenvolvimento sustentável que retém e detém o escoamento pluvial, aliviando o problema de inundação urbana consiste no uso de telhados verdes (Mahmoud e Gan, 2018; Zhang *et al.*, 2018). Em sua forma mais simples o sistema construtivo dessas coberturas é composto por vegetação, substrato, filtro, material de drenagem e impermeabilizante. Cada camada que constitui os telhados verdes possuem funções bem definidas e o tipo de cada um deles depende das características da localização onde está inserido. (Vijayaraghavan; Joshi, 2015).

A capacidade de retenção dos telhados verdes está diretamente relacionada com o balanço hidrológico. Segundo Berndtsson (2010) o volume de água retido no telhado verde é evaporado ou utilizado pelas plantas para seu processo de fotossíntese. A combinação desses dois processos é chamada de evapotranspiração. Esse fenômeno é o responsável pela redução do escoamento por essas coberturas.

Conforme Stovin *et al.* (2012) os principais mecanismos hidrológicos que operam dentro do telhado verde são a evapotranspiração, infiltração e armazenamento no substrato e escoamento. Segundo Hilten *et al.* (2008) o escoamento equivale ao excesso de umidade que é drenado pelo telhado verde.

Com isso, uso dessa técnica nas práticas de gestão do sistema de drenagem urbana requer uma predição de suas características hidrológicas, sendo necessário o uso de instrumentos analíticos e ferramentas de modelagem (Carbone *et al.*, 2015). Muitos

estudos visaram modelar o comportamento hidrológico de telhados verdes usando modelos numéricos de base física que descrevem o fluxo de água em matriz de solo insaturada, como Software HYDRUS 1D (Hilten *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2013; Qin *et al.*, 2016)

Em estudo realizado na Geórgia - EUA, Hilten *et al.* (2008) avaliou a eficácia dos telhados verdes na redução do escoamento pluvial. Para o estudo os autores realizaram simulações no Hydrus 1D para tempestades de projeto de 24 horas para determinar o pico do escoamento, o tempo de e a capacidade de retenção, foi demonstrado que um telhado verde modular com profundidade do substrato de 10 cm fornece retenção completa para tempestades de até 20 mm, proporcionando detenção para tempestades tão grandes quanto 79,3 mm. Para os autores o Hydrus prevê com precisão o escoamento para pequenos eventos de chuva.

Santos *et al.* (2013) investigou a efetividade dos telhados verdes na redução do escoamento superficial por meio de simulações realizadas no código computacional Hydrus 1D para eventos de precipitação com intensidade de 42 mm/h e 79 mm/h com duração de 30 minutos. Os autores observaram um retardo no início e uma redução no pico do escoamento quando comparado os resultados dos telhados verdes com o convencional, foi concluído também que o modelo Hydrus-1D representou bem a realidade do experimento.

Qin *et al.* (2016) apresentou um modelo de telhado verde para simular a variação de longo prazo da umidade do solo em condições climáticas típicas em Shenzhen, China. Após a calibração e validação com os dados observados de um telhado verde piloto foram realizadas simulações no Hydrus 1D para diferentes sistemas irrigação em telhados verdes. Observou-se que à medida que a profundidade de solo aumenta há uma redução nos dias de estresse hídrico, porém o volume de irrigação cresce. Para os autores uma profundidade da camada de solo de 100 a 150 mm é uma troca razoável entre os objetivos de economizar água e manter a saúde da vegetação do telhado verde.

Assim, os objetivos deste trabalho foram avaliar os componentes do balanço hídrico, especificamente a variação de armazenamento de água do solo, do escoamento e da evapotranspiração, em um protótipo de telhado verde durante um período de baixa precipitação na RMR por meio de simulação no Hydrus 1D e analisar a necessidade de um sistema de irrigação para o período seco.

2 | METODOLOGIA

2.1 Protótipo do telhado verde

Para a realização do estudo foi elaborado um protótipo de telhado verde monitorado durante o período de agosto a outubro de 2019. A implantação e o monitoramento do protótipo foram feitos em uma residência localizada na RMR, no município de Olinda-PE.

Para elaboração do protótipo de telhado verde foi feita uma estrutura de compensado

naval com área de 1 m², 20 cm de profundidade e inclinação 2% necessária para conduzir o escoamento para os tubos de drenagem, para garantir a drenagem foram feitos dois orifícios na parte mais baixa da base.

O primeiro passo para a montagem do telhado verde constituiu na instalação da camada impermeabilizante que foi feita com uso de uma lona de polietileno disposta de modo a cobrir toda a área interna da estrutura, em seguida foram instalados flanges de policloreto de vinil (PVC) que funcionaram como drenos, foi disposto 5 cm de argila expandida para camada de drenagem, o bidim, a camada com 9 cm de solo e por fim foram implantados os tapetes de grama esmeralda (*Zoysia Japonica*) com 3 cm de espessura, essas etapas estão apresentadas na Figura 1. O acúmulo da água escoada pelo protótipo foi direcionado para dois garrafões de 20 litros por meio de duas mangueiras acopladas aos drenos.



Figura 1 – Montagem do protótipo – (A) camada de impermeabilização, (B) dreno de PVC, (C) camada de drenagem, (D) filtro de Bidim, (E) camada de substrato e (F) camada de vegetação.

2.2 Coleta de dados meteorológico

A coleta de dados pluviométricos foi feita com uso de uma estação meteorológica *Oregon Scientific WMR300*. Essa estação automática contém um módulo de armazenamento, pluviômetro e sensores de temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento.

A estação foi instalada próximo ao protótipo de telhado verde, com o sensor de velocidade e direção do vento posicionado dois metros acima do protótipo. O Pluviômetro foi instalado junto com o sensor de umidade e temperatura e o transmissor solar ao lado do sensor de velocidade e direção de vento, com 1,5 m acima da superfície do telhado verde, evitando assim a interferência nas leituras, garantido sua precisão.

2.3 Propriedades hidráulicas do solo

Para determinação da umidade residual (θ_r), o parâmetro adimensional de forma (n) e o inverso da pressão de borbulhamento (α) foram usadas as funções de pedotransferência ajustadas por Barros *et al.* (2013) para solos gerais. As variáveis usadas para a estimativa foram os percentuais de areia e argila obtidos a partir do ensaio de granulometria segundo a NBR 7181 (ABNT, 2016) realizado nos solos do substrato, as frações granulométricas do solo 1 (solo presente no tapete de grama) e do solo 2 (solo usado como suporte para vegetação) podem ser vistos na Tabela 1. A espessura do solo 1 e 2 são 30 mm e 90 mm respectivamente.

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Solo 1	87,9	1,4	10,8
Solo 2	91,5	0,9	7,6

Tabela 1 - Composição granulométrica do substrato e do solo.

A umidade saturada foi considerada igual a porosidade total, sendo estimada pelo peso específico do solo seco dividido pelo peso específico das partículas, segundo Barros (2013) essa é melhor forma de estima-la. Para determinação do peso específico do solo foi dividido o peso total de solo usado na montagem do protótipo dividido pelo volume ocupado pelo mesmo. O peso específico da partícula de solo foi obtido segundo Embrapa (1996). A condutividade hidráulica foi estimada por meio da equação de Cosby *et al.* (1984).

Com o uso dessas propriedades foi definida a curva de retenção de água dos solos e determinado a capacidade de campo (CC) para uma pressão de -1m e ponto de murcha para pressão de -150 m para o solo 1 e solo 2. Os parâmetros hidráulicos e o a capacidade de campo e ponto de murcha estão apresentados na Tabela 2.

	α (m^{-1})	θ_r (m^3m^{-3})	θ_s (m^3m^{-3})	n (-)	k_s ($m.s^{-1}$)	CC	PMP
Solo 1	5,687	0,037	0,392	1,774	$1,936.10^{-5}$	0,127	0,0389
Solo 2	6,387	0,020	0,417	1,798	$2,251.10^{-5}$	0,108	0,0213

Tabela 2 - Propriedades hidráulicas do solo.

2.4 Modelagem no Hydrus 1D: Dados de entrada e condições de contorno iniciais

A simulação da dinâmica da água no solo pelo modelo Hydrus 1D necessita dos

seguintes dados de entrada: dimensões da área em estudo, tempo de simulação, as propriedades hidráulicas do solo e dados atmosféricos. A profundidade do solo foi de 110 mm composto por dois materiais. O tempo de simulação constitui em um período de 55 dias, com dados pluviométricos diários. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método Hargreaves (1994) com uso dos dados meteorológicos obtidos próximo ao telhado verde.

A captação de água pela raiz da cultura utilizada foi considerada, assumindo os parâmetros de Feddes *et al.* (1978) para grama e os dados da cultura constantes com altura de 30 mm e profundidade da raiz de 110 mm. O LAI (Índice de área foliar) foi calculada a partir da altura da cultura usando a fórmula da grama disponível no Hydrus 1D. A condição de contorno superior adotada foi atmosférica com escoamento superficial e a inferior livre.

A umidade volumétrica dos solos foi medida logo após a montagem do telhado verde e adotadas como condição inicial do solo para modelagem, as umidades iniciais medidas do solo 1 e do solo 2 foram $0,34 \text{ mm}^3\text{mm}^{-3}$ e $0,10 \text{ mm}^3\text{mm}^{-3}$ respectivamente.

3 | RESULTADOS

3.1 Condições climáticas da área de estudo

Durante o período de 27 de agosto a 20 de outubro de 2019 foi observado o comportamento do protótipo de telhado verde submetido ao clima da RMR. No decorrer desse tempo a temperatura mínima obtida, a partir das medições da estação meteorológica instalada próximo ao protótipo, foi de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ e máxima de $32,5 \text{ }^\circ\text{C}$. A umidade média atmosférica ficou entre $84,90\%$ e $69,75\%$. No mês de agosto foi observado as maiores velocidades médias diárias do vento, onde a máxima foi de $8,52 \text{ m/s}$. Segundo Mello *et al.* (2013) esses valores são considerados altos para RMR.

A precipitação acumulada diariamente durante o período ficou abaixo de $7,87 \text{ mm}$. O volume total precipitado durante o período de observação foi de $73,92 \text{ mm}$ e foi completamente retido pelo protótipo, não gerando escoamento. Entre os dias 22 de setembro e 10 de outubro foi verificado a morte da vegetação.

3.2 Simulação Hydrus 1D

A umidade entra ou sai do sistema a partir da superfície do solo, através de estômatos vegetais ou através dos drenos. Para os telhados verdes os fluxos de umidade ocorrem por meio da entrada de água no solo pela precipitação, armazenamento no solo devido a capacidade de retenção e saída por evapotranspiração e escoamento (Hilten, 2008). O balanço apresentado pela simulação do telhado verde no Hydrus 1D está apresentado nas Figuras 2 e 3.

A partir da simulação foram calculadas a evapotranspiração potencial pelo método de Hargreaves, e a partir dessa o modelo estimou a evapotranspiração real. O maior valor

observado foi de 3,306 mm no dia 18 de setembro de 2019 e durante o período de 5 a 8 de outubro 2019 a evapotranspiração foi nula.

A precipitação foi medida pela estação meteorológica *Oregon Scientific WMR300* instalada ao lado do protótipo e usada como dado de entrada para o modelo. Para o período de observação não houve escoamento e a evapotranspiração total foi de 77,56 mm enquanto a precipitação chegou a 73,92 mm, ou seja, toda a água que entrou no sistema saiu por meio da evapotranspiração.

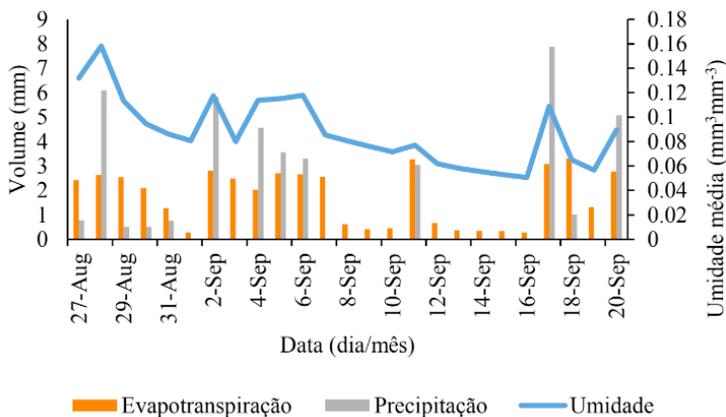


Figura 2- Balanço hídrico para o período de 27 de agosto a 20 de setembro de 2019.

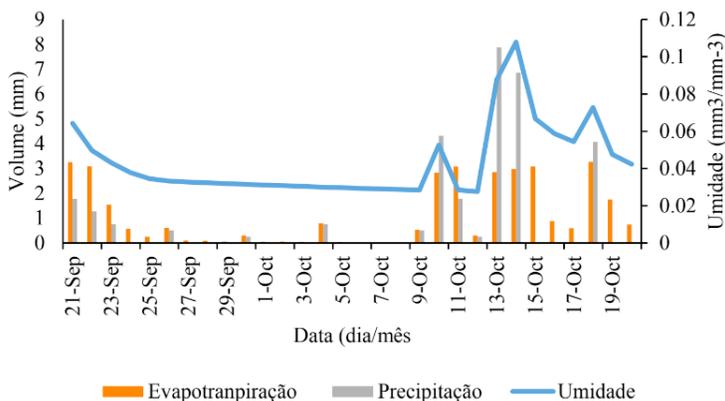


Figura 3 – Balanço hídrico para o período de 21 de setembro a 20 de outubro de 2019.

A variação da umidade média no perfil de solo foi reduzindo ao longo do período avaliado terminado com $0,04 \text{ mm}^3\text{mm}^{-3}$. O comportamento da umidade para a camada de 110 mm do solo, nas profundidades especificadas, está apresentado na Figura 4, as profundidades definidas foram de 0 (superfície), -30 mm referente ao fim da camada de

solo 1, -70 mm equivalente ao ponto central da camada total de solo e -110 mm. De acordo com Mello *et al.* (2007) esses gráficos são importantes para subsidiar as previsões para o escoamento e vazão de pico

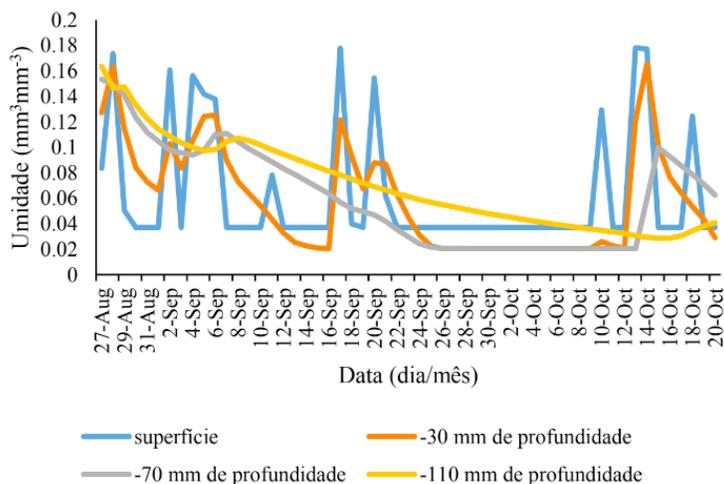


Figura 4 – Umidade no solo durante o período de observação nas profundidades especificadas.

Durante o período de simulação houve uma maior variação na umidade da camada de solo 1, ou seja, os primeiros 30 mm de profundidade. Segundo Schiavon et al. (2013) o sistema radículas das gramas estão concentrados na superfície. Já nas profundidades -70 mm e -110 mm há uma redução gradativa da umidade.

No período de 22 de setembro a 10 de outubro de 2019 a superfície se manteve com a umidade residual do solo, já as profundidades - 30 mm e -70 mm atingiram o ponto de umidade residual no dia 26 de setembro de 2019, a profundidade de -30 mm permaneceu com essa umidade até o dia 10 de outubro enquanto a de -70 mm foi até o dia 13 de outubro de 2019.

Nesse intervalo a precipitação máxima foi de 1,27 mm no dia 22 de setembro de 2019, nesse dia a evapotranspiração foi de 3,092 mm. A saturação não foi observada provavelmente devido à alta condutividade hidráulica evidente em solos arenosos. A falta de saturação indica que não há escoamento (Hiltner, 2008).

No período de 22 de setembro a 09 de outubro o substrato do telhado verde esteve abaixo do ponto de murcha permanente (PMP), que para o solo 1 equivale a 0,0389 mm³/mm³ e 0,0213 para o solo 2, o que levou a cultura implanta ao murchamento irrecuperável. Segundo Viehmeyer e Hendrickson (1949), a vegetação atinge o murchamento irrecuperável quando o teor de água no solo alcança o PMP, mesmo em atmosfera saturada com vapor de água.

Segundo Lu et al. (2014) e MacIvor et al. (2013), os telhados verdes são ambientes de crescimento difícil para a vegetação, pois possuem profundidades e volumes médios de crescimento finito. Outro fator que dificulta o desenvolvimento da vegetação nessas coberturas é a limitação de água, tendo em vista que a demanda de água nos telhados verdes dependem exclusivamente da precipitação.

Segundo Ferreira et al. (2013) os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro são os meses com menores índices pluviométricos na RMR, onde a média mensal de precipitação fica abaixo dos 50 mm, corroborando com as baixas precipitações ocorridas durante o período de observação.

4 | CONCLUSÃO

O protótipo de telhado verde mostrou capacidade de retenção de 100% do volume gerado pelos eventos de precipitação ocorridos entre 27 de agosto e 20 de outubro de 2019, não havendo escoamento. Durante esses meses a precipitação máxima foi de 7,87 mm e acumulado de 73,92 mm sendo um intervalo com baixos índices pluviométricos. Além disso foi verificado que a vegetação utilizada chegou ao ponto de murcha irreversível ao final do período.

O balanço hidrológico obtido a partir da simulação no Hydrus 1D mostrou que todo o volume infiltrado foi extraído do solo pela evapotranspiração, não havendo escoamento. Além disso, entre os dias 22 de setembro e 09 de outubro de 2019 o solo se manteve no teor de umidade residual, ou seja, esteve abaixo do ponto de murcha do solo levando a morte da vegetação.

Essas observações mostram o bom desempenho do modelo na simulação balanço hidrológico dos telhados verdes. Outro ponto importante é a demonstração da necessidade de aplicação de um sistema de irrigação durante os períodos de baixa precipitação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

BARROS, A. H. C.; LIER, Q. DE J. V.; MAIA, A. DE H. N.; SCARPARE, F. V. (2013). **Pedotransfer Functions to Estimate Water Retention Parameters of Soils in Northeastern Brazil**. Revista Brasileira de Ciências do Solo 37 (2), pp. 379-391.

BERNDTSSON, J. C. (2010). **Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review**. Ecological Engineering 36, pp. 351 – 360.

CARBONE, M., BRUNETTI, G., PIRO, P., (2015). **Modelling the hydraulic behaviour of growing media with the explicit finite volume solution**. Water 7 (2), pp. 568-591.

- COSBY, B.J.; HORNBERGER, G.M.; CLAPP, R.B.; GINN, T.R. (1984). **A statistical exploration of the relationship of soil moisture characteristics to the physical properties of soils**. Water Resources Research 20 (6), pp 682–690.
- FERREIRA F. F., TORRES FILHO C. E OLIVEIRA P. R. (2013). **Previsão Estatística da Precipitação Mensal para a Região Metropolitana do Recife**. Revista Brasileira de Geografia Física 6 (51517-1528).
- FEDDES, R. A.; KOWALIK, P. J.; ZARADNY, H. (1978). **Simulation of Field Water Use and Crop Yield**. John Wiley & Sons.
- HARGREAVES, G. H. (1994). **Defining and using reference evapotranspiration**, J. Irrig. Drain. Eng. 120 (6), pp. 1132–1133.
- HILTEN, R. N.; LAWRENCE, T. M., TOLLNER, E. W. (2008). **Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D**. Journal of Hydrology 358, pp. 288 – 293.
- LU, J., YUAN, J.G., YANG, J.Z., YANG, Z.Y., (2014). **Responses of morphology and droughttolerance of Sedum lineare to watering regime in green roof system: a rootperspective**. Urban For. Urban Green 13, pp. 682–688.
- MACIVOR, J.S., MARGOLIS, L., PUNCHER, C.L., CARVER MATTHEWS, B.J. (2013). **Decouplingfactors affecting plant diversity and cover on extensive green roofs**. J. Environ.Manag. 130 (1), 297–305.
- MARTINS, L. C. (2018). **O planejamento da drenagem urbana em cidades médias do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba**. Sustentabilidade em Debate 9 (2), pp. 120-133.
- MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M. (2007). **Simulação do deflúvio e vazão de pico de em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola. 11 (4), pp. 410-419.
- MOURA, G. S. S. DE; ANTONINO, A. C. D. (2013). **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial**. Ambiente Construído 13 (1), pp. 161-174.
- QIN A. P.; SANTOS, P. T. DA S.; SANTOS, S. M. DOS; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COUTINHO, A. P.; PENG YN.; TANGA QL.; YUB SL. (2016). **A HYDRUS model for irrigation management of green roofs with a water storage layer**. Ecological Engineering 95, pp. 399 -408.
- SALMAN I. N. A.; BLAUSTEIN L. (2018). **Vegetation Cover Drives Arthropod Communities in Mediterranean / Subtropical Green Roof Habitats**. Sustainability 10 (11), pp. 1-14.
- SANTOS, R. D; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 2005. 92 p.
- SCHIAVON, M., B. LEINAUER, M. SERENA, R. SALLENAVE, AND B. MAIER. (2013). **Establishing tall fescue and Kentucky bluegrass using subsurface irrigation and saline water**. Agron. J. 105, pp. 183–190.

STOVIN, V.; VESUVIANO, G.; KASMIN, H. (2012). **The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions**. Journal of Hydrology 414 – 415, pp. 148-161.

VIEHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. (1949) "*Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils*". Soil Science (68), pp.75-94.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI U. M. (2015). **Application of seaweedas substrate additive in green roofs: enhancement of water retention and sorption capacity**. Landsc Urban Plan 143, pp. 25–32.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ácidos graxos 99

Afluentes 129, 234, 238, 239, 339

Agricultura 84, 137, 140, 144, 145, 170, 171, 181, 182, 185, 189, 202, 203, 222

Águas pluviais 96, 118, 120, 127, 128, 129, 132, 134, 240

Águas residuais 77, 86, 100, 115, 118, 120, 154

Águas subterrâneas 103, 104, 105, 106, 108, 109, 112, 114, 134, 137, 139, 141, 145, 149, 150, 151, 152, 212, 214

Aproveitamento energético 85, 94, 96, 97

Aquífero 106, 114, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 149, 150, 151, 152

Aterro sanitário 32, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 112, 113, 114

Atividade antrópica 156

B

Bacia hidrográfica 141, 154, 156, 229, 274, 275, 276, 281, 285, 286, 288, 297, 300

Bactérias 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 182, 183, 204, 206, 249, 332

Biodegradabilidade 334, 335, 339

Biodiversidade 180, 232, 245

Biogás 94, 96, 97, 99, 100

C

Chorume 96, 108, 111, 112, 113

Coleta seletiva 71, 74, 80

Coliformes fecais 107, 206, 209, 233

Coliformes totais 105, 107, 109, 112, 139, 204, 205, 206, 207, 212, 213

Combustíveis renováveis 100

Composto orgânico 89

Conselho nacional de meio ambiente (CONAMA) 34

Contaminação do solo 110, 112

Cor 30, 147, 173, 175, 187, 188, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 244, 247, 248, 249, 335, 336, 337, 338, 339

Corpos hídricos 95, 96, 113, 128, 233, 238, 239, 240

Crescimento populacional 39, 83, 95, 155, 230, 231, 236

D

Decomposição anaeróbia 94, 95
Degradação ambiental 37, 38, 72, 153, 230, 240
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) 105, 109, 111, 233
Demanda química de oxigênio (DQO) 105
Descarte 8, 25, 49, 57, 58, 59, 60, 64, 67, 71, 73, 74, 76, 77, 80, 81, 239, 247, 295
Desenvolvimento sustentável 26, 35, 58, 69, 151, 152, 181, 294, 320
Dióxido de carbono (CO₂) 94, 95, 96, 99
Doenças de veiculação hídrica 69, 154, 204, 205, 206, 209, 210, 211, 213, 230

E

Ecosistema 81
Educação ambiental 5, 7, 33, 35, 49, 58, 71, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 185, 195, 240, 352
Efeito estufa 95, 99
Efluentes 16, 96, 105, 106, 107, 108, 111, 113, 114, 127, 128, 133, 134, 145, 149, 153, 156, 158, 205, 230, 231, 232, 238, 239, 240, 241, 246, 339, 342, 352
Escoamento pluvial 320, 321
Esgoto doméstico 235, 242, 290
Estação de tratamento de esgoto (ETE) 134, 352

G

Geoprocessamento 67, 289, 291, 293
Gerenciamento de resíduos 1, 2, 9, 10, 13, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 26, 33, 34, 35, 36, 49, 71, 81

I

Impacto ambiental 104, 108, 112, 241
Infraestrutura urbana 149, 155
Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE) 12, 39, 55, 59, 68, 69, 269, 273

L

Lagoas de estabilização 103, 105, 107, 108, 111, 113, 114
Lixo 13, 34, 36, 49, 64, 77, 81, 83, 92, 128
Lodos ativados 99, 130

M

Meio ambiente 2, 7, 10, 11, 13, 14, 20, 21, 23, 24, 26, 32, 34, 40, 58, 68, 69, 72, 76, 79, 80, 81, 82, 102, 103, 104, 113, 116, 120, 128, 134, 182, 200, 201, 251, 270, 320, 333

Micro-organismos 31

P

Parâmetros físico-químicos e biológicos 231, 352

Patogênicos 8, 31, 204, 206

Política nacional de resíduos sólidos (PNRS) 4, 10, 11, 12, 35, 58, 68

Política nacional do meio ambiente (PNMA) 20, 26, 34

Poluição 14, 49, 72, 100, 121, 122, 141, 154, 156, 158, 170, 229, 230, 231, 244, 245, 246, 247, 251, 290, 294, 295

Poluidor-pagador 26

Potabilidade da água 140, 204, 212

Preservação ambiental 13, 14, 171

R

Radiação solar 330, 331, 333, 334, 335, 339, 352

Reaproveitamento 1, 4, 5, 8, 9, 26, 83, 85, 86, 87, 91, 96, 100

Reciclagem 1, 3, 7, 9, 12, 15, 17, 19, 20, 26, 49, 52, 64, 72, 74, 80, 84, 92

Recursos hídricos 66, 68, 102, 134, 140, 145, 150, 151, 152, 154, 158, 160, 214, 225, 241, 242, 243, 245, 266, 273, 274, 275, 286, 288, 289, 290, 291, 294, 295, 300, 340

Recursos naturais 14, 66, 72, 95, 145, 171, 245, 274

Resíduos biológicos 25, 29, 31

Resíduos perigosos 21, 23, 24, 35, 36, 100

Resíduos químicos 29, 30, 31, 35

Resíduos recicláveis 31

Resíduos sólidos 1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 20, 21, 23, 24, 34, 35, 36, 37, 49, 52, 53, 57, 58, 60, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 82, 83, 85, 90, 91, 92, 93, 100, 103, 104, 113, 153, 156, 232, 239, 290, 295

Reutilização 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 15, 18, 21, 26, 52, 81, 352

S

Saneamento básico 58, 59, 68, 69, 118, 129, 154, 157, 168, 229, 230, 231, 233, 235, 236, 237, 240, 241, 242, 245, 252, 266, 269, 303, 306, 340

Segregação de resíduos 17, 35

Sistema de esgotamento sanitário 123, 128, 239, 269, 292, 293, 300

Sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS) 58, 68, 231, 273

Sustentabilidade 9, 11, 12, 39, 40, 54, 72, 81, 91, 104, 146, 148, 160, 181, 183, 184, 319, 328

T

Tratamento biológico 96, 331

Turbidez 66, 233, 244, 247, 248, 249, 251, 337, 338, 339

V

Valor máximo permitido (VMP) 108, 140, 213, 244, 248, 249

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3

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

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

3

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