

Maria Elanny Damasceno Silva  
(Organizadora)



# Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental 3

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

Maria Elanny Damasceno Silva  
(Organizadora)



Meio Ambiente,  
Recursos Hídricos e  
Saneamento Ambiental 3

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

### **Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

### **Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Barão

### **Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

### **Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima

Luiza Batista 2020 by Atena Editora

Maria Alice Pinheiro Copyright © Atena Editora

**Edição de Arte** Copyright do Texto © 2020 Os autores

Luiza Batista Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Revisão** Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora

Os Autores pelos autores.



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

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

### **Conselho Editorial**

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

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. 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. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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 Alenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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 José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª 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  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
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  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª 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. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª 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  
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 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 de Mato Grosso  
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. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

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. 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. 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. 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

Profª Ma. Lilian 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. Me. 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

Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

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

## Meio ambiente, recursos hídricos e saneamento ambiental 3

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário:** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Edição de Arte:** Luiza Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Maria Elanny Damasceno Silva

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

M514 Meio ambiente, recursos hídricos e saneamento ambiental 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Maria Elanny Damasceno Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-222-7

DOI 10.22533/at.ed.227202207

1. Educação ambiental. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Meio ambiente – Preservação. I. Silva, Maria Elanny Damasceno.

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br

  
Ano 2020

## APRESENTAÇÃO

Prezado leitor (a), a obra Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Saneamento Básico da série 2 e 3, englobam a temática das ciências ambientais no contexto teórico e prático de pesquisas voltadas para a discussão da preservação e recuperação dos recursos naturais, bem como a criação de métodos e tecnologias que contribuem para a redução dos impactos ambientais oriundos dos desequilíbrios das ações humanas.

O volume 2 contém capítulos que tratam da educação ambiental por meio de projetos interdisciplinares em ambientes educacionais e comunitário. Além disso, as pesquisas apresentadas apontam tecnologias diversas que auxiliam no monitoramento de áreas protegidas, risco de queimadas em florestas e simuladores de erosão em solo para formulação de dados sedimentológicos.

Em relação as tecnologias sustentáveis são divulgados estudos sobre os benefícios dos telhados verdes para captação de águas pluviais e o uso de biodigestores em propriedades rurais e zonas urbanas para o tratamento de matérias orgânicas utilizadas na geração de energia, gás e biofertilizantes. Sobre efluentes industriais e domésticos é indicado método de depuração aplicado em Estações de Tratamentos de Esgotos, assim como *Wetlands* construídas para eliminar a deterioração das bacias hídricas.

Diante do crescimento populacional em zonas urbanas é mostrado a necessidade de redimensionamento de área urbana próxima às áreas de inundações, complementando com o estudo sobre a atualização de Plano de Saneamento Básico municipal para controle de enchentes. E por fim, acerca de inundações em locais impermeáveis é evidenciado um sistema de infiltração de águas de chuvas que facilita o escoamento no solo.

No volume 3 é tratado da parceria entre gestores nacionais e internacionais de recursos hídricos a fim de fomentar a Rede Hidrometeorológica do país. As questões jurídicas ganham destaque na gestão ambiental quando se refere ao acesso à água potável na sociedade. E como acréscimo é exposto um modelo hidro econômico de alocação e otimização de água. As águas fluviais compõem uma gama de estudos contidos neste exemplar. Os assuntos que discutem sobre rios e praias vão desde abordagens metodológicas para restaurar rios, análises das características das praias de águas doces sobre o desenvolvimento do zooplâncton e composição granulométrica dos sedimentos dos corpos hídricos.

É destaque para a importância e conservação das Bacias de Detenção de águas de chuvas em zona urbana, como também os sistemas de controle da vazão das águas pluviais na prevenção de enchentes, assoreamento e erosões nas margens de rios. Os modelos matemáticos, hidrogramas e suas correlações são fatores que estimam volume das vazões nas áreas atingidas e servem como instrumentos eficazes preventivos contra inundações inesperadas. Similarmente, a modelagem pode ser bem inserida em um estudo que trata dos componentes aquáticos na qualidade das águas de rios.

A respeito da qualidade da água são mencionados ensaios físico-químicos e microbiológicos coletados em um rio e averiguados com base nos parâmetros das portarias e resoluções nacionais. No quesito potabilidade da água é exibido uma pesquisa com foco nas águas pluviais captadas e armazenadas em cisternas de placas.

Por último, salienta-se os estudos que substituem aparelhos hidrosanitários por modelos que reduzem a quantidade de água descartada, da mesma forma tem-se a substituição de válvulas redutoras de pressão por turbo geradores a fim de verificar a viabilidade financeira e energética em uma Companhia de Abastecimento metropolitano.

Portanto, os conhecimentos abordados e discutidos sem dúvidas servirão como inspiração para trabalhos futuros, replicação em outras regiões como também favorecerá para a minimização dos impactos ambientais provocados a longo prazo, além de ser modelos norteadores de consciência ecológica na sociedade.

Excelente leitura!

Maria Elanny Damasceno Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CONTRIBUIÇÃO DOS USUÁRIOS DE DADOS ( <i>STAKEHOLDERS</i> ) PARA O PROJETO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL DE REFERÊNCIA – RHNR	
Ana Carolina Zoppas Costi	
Fabrício Vieira Alves	
Diana Wahrendorff Engel	
Marcio de Oliveira Candido	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS: MODELO HIDRO ECONÔMICO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA	
William Dantas Vichete	
Arisvaldo Vieira Mélo Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
ASPECTOS JURÍDICOS E ORGANIZACIONAIS DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DA PARAÍBA	
Maria Helena Carvalho Costa	
Josevi de Sousa Carvalho	
Maria da Penha Medeiros	
Noemia Climantino Leite	
Carla Rocha Pordeus	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>35</b>
ABORDAGENS METODOLÓGICAS PARA A RESTAURAÇÃO DE RIOS	
Jucimara Andreza Rigotti	
Lucia Helena Ribeiro Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
A INFLUÊNCIA DA DINÂMICA DAS MARÉS SOBRE O ZOOPLÂNCTON EM TRÊS PRAIAS DE CAMETÁ, PARÁ	
Elidineia Lima de Oliveira Mata	
Vitor Barbosa da Costa	
Kelli Garboza da Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS DO RIO PARAGUAI NA ÁREA COMPREENDIDA ENTRE A MONTANTE DA PRAIA DO JULIÃO E A JUSANTE DO BARRANCO DO TOURO - MUNICÍPIO DE CÁCERES	
Bruno Ramos Brum	
Michelle do Espírito Santo Bertolino	
Fernando Guilert Pinheiro Borges	
Mauri Queiroz de Menezes Junior	
Carolina da Costa Tavares	
Célia Alves de Souza	
Ernandes Sobreira Oliveira Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022076</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>71</b>
DESAFIOS DA INSERÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO MEIO URBANO DO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA, SP	
Carolina Sulzbach Lima Peroni Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022077</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>81</b>
METODOLOGIA PARA A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE DE VAZÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NUMA BACIA HIDROGRÁFICA, EM ESPECIAL OS COM RESERVAÇÃO E INFILTRAÇÃO	
Vinicios Hyczy do Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022078</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>91</b>
MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS: YPANÉ Y JEJUÍ, UTILIZANDO HEC-HMS CON FINES DE PRONÓSTICOS HIDROLÓGICOS EN EL RÍO PARAGUAY	
Rosa del Rocío Aseretto Roger Monte Domecq Serrati Roberto Hiroshi Takahashi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2272022079</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>106</b>
CORRELAÇÃO ENTRE DOIS AVALIADORES DE DECLIVIDADE MÉDIA DO TALVEGUE PRINCIPAL DE 31 BACIAS NA REGIÃO DO MÉDIO TIETÊ	
André Luiz de Lima Reda Raul Victor Martins Julião de Oliveira Paulo Takashi Nakayama	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22720220710</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>118</b>
MODELAGEM DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS UTILIZANDO O HEC-RAS. ESTUDO DE CASO NO RIO IPANEMA	
Ariel Ali Bento Magalhães José Rodolfo Scarati Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22720220711</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>129</b>
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO CÓRREGO SÃO MIGUEL, BARÃO DE COCAIS - MG	
Vivian Aparecida de Oliveira Alicy Madeira de Souza Jeane de Fátima Cunha Brandão	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22720220712</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>142</b>
QUALIDADE DA ÁGUA E CIDADANIA DA COMUNIDADE DE TOCOS 2 –GOVERNADOR MANGABEIRA, BAHIA	
Viviane Brandão Silva Leite	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22720220713</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>154</b>
ESTUDO DE CASO DA RECUPERAÇÃO DA ENERGIA HIDRÁULICA INERENTE A OPERAÇÃO DA MACRO DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA	
André Schramm Brandão	

Paulo Henrique Holanda Pascoal  
Ênio Pontes de Deus  
Francisco Altanízio Batista de Castro Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.22720220714**

<b>CAPÍTULO 15 .....</b>	<b>160</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL E FINANCEIRA DA IMPLEMENTAÇÃO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE USO RACIONAL DA ÁGUA EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO	
Antônio José Cruz de Araújo Êmele Rádna Rodrigues do Vale Lívia Maria Pinheiro da Cunha Maria Josicleide Felipe Guedes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22720220715</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>180</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>181</b>

## GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS: MODELO HIDRO ECONÔMICO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA

*Data de aceite: 01/07/2020*

*Data de submissão: 03/04/2020*

### **William Dantas Vichete**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
– Departamento de Hidráulica e Eng. Ambiental  
São Paulo, São Paulo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1225-1037>

### **Arisvaldo Vieira Mélo Júnior**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
– Departamento de Hidráulica e Eng. Ambiental  
São Paulo, São Paulo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7110-3128>

**RESUMO:** levando em consideração a bacia hidrográfica como a unidade de planejamento e que os recursos hídricos são os motores do desenvolvimento, a gestão sustentável dos recursos hídricos pode apresentar impactos significativos na alocação de água. A utilização de um modelo hidro econômico de alocação de água permite incluir parâmetros econômicos na otimização da alocação de água. Também é possível avaliar os instrumentos de cobrança de uso da água e as tarifas cobradas aos usuários finais pelas companhias de saneamento. O modelo hidro econômico de alocação de água, operacionalmente, apresentou uma melhor

redistribuição do fornecimento de água para as vazões demandadas para abastecimento urbano. É possível observar o aumento do benefício social, permitindo uma melhor fruição deste recurso natural para a sociedade. Com a utilização desse tipo de modelo de otimização, torna-se possível a incorporação de mais instrumentos de gestão, assim como definido na Política Nacional de Recursos Hídricos, como a outorga de direito de uso da água e a cobrança pelo uso da água. Esse tipo de modelo de alocação se apresenta eficiente e deve passar por melhorias para a incorporação de análises multi-objetivos na alocação de água, levando em consideração a prioridade de atendimento e a curva de demanda por água para cada setor usuário.

**PALAVRAS-CHAVE:** sustentabilidade, otimização, alocação, água, Hidro-econômico.

### SUSTAINABLE MANAGEMENT OF WATER RESOURCES: HYDRO-ECONOMIC MODEL TO WATER ALLOCATION

**ABSTRACT:** considering the hydrographic basin as the planning unit and which water resources are the engines of development, sustainable water resource management can be optimized the water allocation. The hydro-

economic models allow to include economic aspects in the optimization of water allocation. It is also possible to evaluate the water charge instruments and tariffs charged by the end-users from the sanitation companies. The hydro-economic models to water allocation, operationally, presents a better redistribution of water supply for urban supply. It is possible to observe an increase of the social benefit, allowing better fruition of this natural resource for society. With the use of this type of optimization model, it becomes possible to incorporate more management instruments, as defined in the National Water Resources Policy of Brasil, such as a grant of use for the water and a charge for water use. This type of allocation model is efficient and should be improved to incorporate multiple objectives in the allocation of water, taking into account the priority of service and a water demand curve for each user sector.

**KEYWORDS:** sustainable, optimization, allocation, water, hydro-economic.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em uma condição de múltiplos usos da água, o bom conhecimento das necessidades dos diversos usuários e das disponibilidades hídricas é fundamental para uma boa gestão; entretanto, as incertezas hidrológicas, as variações das vazões demandadas e o grande número de variáveis representativas dos processos físicos, químicos e biológicos, conferem elevado nível de complexidade à análise dos sistemas de recursos hídricos, De Carvalho (2009). Os sistemas de otimização de alocação de água se apresentam como uma importante ferramenta para a gestão sustentável dos recursos hídricos, promovendo uma análise abrangente e generalista à medida que os modelos de otimização passam a levar em consideração os aspectos quantitativos, qualitativos, econômicos, sociais e ambientais.

Nas questões de alocação de água, existem softwares como Resource Allocation Model (REALM), Sistema de apoio a decisão espacial (SADE) e Global Hydro-economic Model (GHeM) – (Perera *et. al*, 2005; James e Kularathna, 2005; De Moraes *et. al*, 2015 e Kahil, 2016). Esses modelos, como no caso do REALM, não possui um módulo de análise hidro-econômico, enquanto o SADE possui esse módulo, porém foi desenvolvido em uma plataforma que possui um custo de implantação. O modelo GHeM apresenta um modelo global de consumo de água e otimização dos benefícios econômicos, sendo utilizado para questões globais de alocação. Por sua vez, Lopez (2017) desenvolveu um modelo econômico espacial para a análise da alocação de água com transferência de vazões entre duas regiões. Niayifar e Perona (2017) avaliaram as questões da vazão demandada para geração de energia e vazão ambiental a jusante de usinas hidroelétrica por meio de algoritmos evolutivos com multi-objetivos para buscar a melhor eficiência (ótimo de Pareto) entre essas duas demandas. Mohor e Mendiondo (2017) desenvolveram uma análise de indicadores de sustentabilidade para previsão de um fundo de seguro que uma comunidade pagaria para cobrir eventuais déficits hídricos. Já a queda na produção

agrícola, a redução da renda e o aumento do desemprego foram constatadas em um modelo de alocação de água por Roobavannan (2017).

Esse tipo de análise se torna importante pois a demanda mundial de água deve aumentar em 55% até 2050 devido ao aumento populacional e respectivamente as necessidades de produção, geração de energia e consumo humano; ainda é previsto que em 2030 haverá um déficit hídrico de até 40%, Connor (2015). A utilização de tecnologias de gestão de sistemas de abastecimento e mecanismos de uso racional, permite uma melhor alocação da água, inclusive com a conciliação da necessidade de preservação dos ativos ambientais a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Os diversos modelos de otimização da alocação de água em muitos casos são elaborados para questões específicas. Em busca de ferramentas gratuitas e que possuem a incorporação de curvas de demandas por água, foi identificado o AcquaNet. Nesse capítulo é apresentado que o modelo hidro-econômico de alocação de água considerado resultou em uma melhor eficiência na alocação da água, despachando água de forma mais igualitária entre as vazões demandadas para abastecimento urbano, o que por sua vez pode ser entendido como a promoção do aumento do benefício social, em outras palavras, a redução da escassez para abastecimento urbano.

## 2 | METODOLOGIA

A utilização de modelos hidro-econômicos para otimização da alocação da água busca considerar os aspectos econômicos e a sua importância para as necessidades produtivas que necessitam atender as demandas de produção para a população atual e futura, incluindo o desenvolvimento econômico (Harou *et. al*, 2009 e Heinz *et. al*, 2007). Esses modelos estão sendo utilizado no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos para o desenvolvimento de novas políticas públicas e para a operação das infraestruturas de recursos hídricos (Lund e Ferreira, 1996; Watkins Jr e Moser, 2006; Ward e Pulido-Valazquez, 2008 e Maneta, 2007). Os modelos hidro-econômicos de alocação são normalmente utilizados para fornecer suporte a tomada de decisão principalmente em períodos de escassez hídricas, esses modelos também são utilizados em regiões que possuem um elevado desenvolvimento econômico, que torna-se altamente dependente do gerenciamento da alocação da água (Jenkins, 2004; Pulido-Valázquez *et. al*, 2006).

Destaca-se que Harou (2009) analisou mais de 80 modelos hidro-econômicos e listou as melhores aplicações de cada um. Resumidamente esse autor também conseguiu observar as principais limitações e desafios no desenvolvimento desse tipo de modelo. Os modelos hidro-econômicos de alocação de água têm implicações em políticas econômicas, políticas públicas e são utilizados em diversas áreas: (i) Operação e expansão da infraestrutura; (ii) Alocação de água e impacto no mercado econômico; (iii) Planejamento

com base em mudanças climáticas; (iv) Desenvolvimento de políticas institucionais para alcançar objetivos sociais, ambientais e econômicos; (v) Análises de impactos de políticas econômicas; (vi) Base para legislação e regulações.

Nesse capítulo, foi considerado o SSD AcquaNet que foi inspirado no modelo de rede de fluxo denominado ModSim, Porto (2006), desenvolvido por Labadie (1990, 1993 e 1995). Os modelos de rede de fluxo fazem parte de uma classe de modelos de simulação que possuem um algoritmo de otimização, Porto e Azevedo (1997). O SSD AcquaNet utiliza o algoritmo out-of-Kilter, que é uma variação do método simplex e utiliza a técnica prima-dual para minimizar os custos na rede de fluxo representada por nós e arcos, Labsid (2013).

O SSD AcquaNet desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LABSID), na sua versão de 2007 v 3.16 possui um módulo econômico de alocação de água proposto por Baltar (2001), esse módulo tem-se apresentado eficiente nas questões de alocação de água em sistemas complexos de abastecimento urbano sob uma ótica da gestão sustentável dos recursos hídricos. A seguir é apresentado a metodologia do cálculo da otimização do modelo considerado.

## 2.1 Metodologia da Otimização da Alocação

A otimização da rede de fluxo é dada conforme uma função objetiva de minimização dos custos da rede (equação 1).

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} x Q_{ij} \quad (1)$$

A função objetiva a ser otimizada corresponde ao custo, onde esse custo é determinado pela prioridade de atendimento a demanda (módulo de alocação) e no caso do modelo hidro econômico, corresponde a um valor que é dado pela curva de demanda por água da respectiva demanda (setor de consumo), ou seja, esse custo é variável conforme a vazão fornecida pelo SSD.

A equação 1 está sujeita ao balanço de massa em cada nó “j” da rede conservativa (equação 2) e sujeita as restrições de capacidade de vazão nos arcos (equação 3), ou seja, as vazões mínimas e máximas em todos os arcos (I,J) da rede conservativa.

$$\min \sum_{i \in I_j} q_{ij} - \sum_{k \in O_j} q_{ik} \quad (2)$$

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij} \quad (3)$$

**Onde:**  $Q_{ij}$  = vazão que transita do nó j;  $C_{ij}$  = custo ou prioridade da unidade de vazão

que transita entre os nós  $i$  e  $j$ ,  $N$  = número total de nós de rede;  $I_{ij}$  = limite inferior da vazão no arco  $ij$ ;  $S_{ij}$  = limite superior da vazão no arco  $ij$  e  $I_j$  = conjunto de todos os nós com arcos que terminam no nó  $j$ ;  $i \in I_j$  significa que todos os nós  $i$  sejam elementos do conjunto  $I_j$ ; e  $O_j$  = conjunto de todos os nós com os arcos que se originam no nó  $j$ .

No módulo de alocação, a prioridade de atendimento é definida pelo usuário e será considerado como o custo entre o nó  $I, J$ . A prioridade pode variar de 1 a 99 ( $OPRP_i$ ), sendo 1 a maior prioridade de atendimento. Esse custo é inserido pelo usuário e é calculado no SSD pela equação 4.

$$C_{ij} = - (1000 - 10 \cdot OPRP_i) \quad (4)$$

No módulo de análise econômica, o custo em cada arco (link) é dado em função da curva de demanda. Sendo o custo oriundo da curva de demanda, adotado como o valor igual ao valor negativo do seu benefício econômico (equação 5) conforme uma curva de demanda econômica inserida pelo usuário - Labsid, (2013).

$$C_{ij} = -B_i \quad (5)$$

Em outros termos, o custo será correspondente ao arco econômico oriundo da curva de demanda econômica por água, referente a cada unidade faixa de vazão (Figura 1).

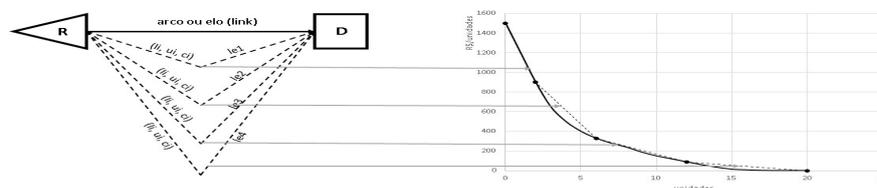


Figura 1 - Arcos econômicos, representando trechos linearizados da curva de demanda

**Onde:**  $l_i$  é a capacidade mínima do link ( $m^3/s$ );  $u_i$  é a capacidade máxima do link ( $m^3/s$ );  $c_i$  é o custo mínimo para a faixa respectiva da curva de demanda ( $R\$/m^3 \cdot s^{-1}$ );  $B_i$  é o benefício.

Além dos valores  $l_i$ ,  $u_i$  e  $c_i$  calculados para cada um dos arcos econômicos, é necessário obter também o valor da demanda econômica. Esse valor é igual a vazão máxima existente na curva de benefício marginal - Labsid (2013).

O benefício do arco está associado as faixas linearizadas da curva de demanda econômica por água. O benefício em cada um dos arcos econômicos é obtido dividindo-se o benefício total pela capacidade máxima do trecho respectivo. O valor do benefício total, em cada arco, é igual a integral da curva de benefício marginal calculada no trecho respectivo (Baltar, 2001), cujo valor é numericamente igual a área sob esse mesmo trecho. Assim, no arco econômico  $i$ , o benefício será dado por:

$$B_i = \frac{A_i}{u_i} = \frac{(B_i + B_{i+1})}{2} \cdot u_i \cdot \frac{1}{u_i} = \frac{(B_i + B_{i+1})}{2} \quad (6)$$

A construção das curvas de demanda econômica e/ou de benefícios econômicos marginais possui o seu embasamento na economia e valoração de bens e serviços ambientais, oriundos da economia ambiental.

## 2.2 Demanda urbana por água

A demanda por água possui características específicas e uma elevada complexidade para a sua determinação. Cabe ressaltar que há uma diferença entre a demanda física por água (vazão demandada) e a demanda por água. A demanda física por água corresponde a quantidade física desse elemento para suprir o consumo dos setores usuários, enquanto que a demanda econômica por água (doravante denominada demanda por água) representa a resposta do consumidor (seja os usuários finais ou empresas de saneamento, indústrias, setor agrícola, entre outros) em relação a variação do custo unitário do bem<sup>1</sup>. A determinação de uma curva de demanda econômica por água para o consumo urbano possui seu embasamento na valorização de bens e serviços ambientais oriundos da economia ambiental Nogueira e Medeiros (1998). A Figura 2 apresenta uma curva de demanda por água.

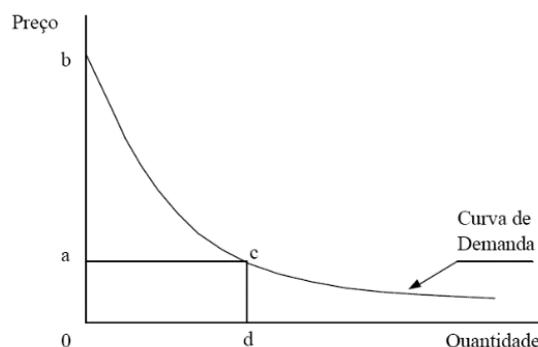


Figura 2 - Curva de Demanda (fonte: Baltar, 2001)

Na construção da curva de demanda por água, a elasticidade<sup>2</sup> do consumo é importante para se definir a relação que os consumidores possuem com a variação de preço de cada unidade do bem, nesse caso, a água. De acordo com James e Lee (1971) a elasticidade é muito mais elástica em climas úmidos do que em climas áridos, mas o

1 Alguns estudos econométricos já apontaram que por questões de simplificações, essas curvas podem possuir uma forma linear e no caso dos recursos hídricos (Ruijjs *et. al*, 2008), devido a água não possuir nenhum substituto, a resposta do consumidor pode ser incerta (Olmstead *et. al* 2007 e Olmstead 2009).

2 Elasticidade do consumo ou do preço na demanda é um conceito econômico que visa medir a variação percentual na quantidade demandada de um bem ou serviço, para a sua respectiva variação percentual no preço de cada unidade, Marshall (1961).

preço tem um efeito significativo no uso da água em qualquer tipo de região. Do ponto de vista de uma curva de demanda urbana por água, a elasticidade pode fornecer aspectos quanto à sensibilidade no consumo com a variação do preço da água, Foster e Beattie (1979). A utilização de curvas de demanda por água deve ser utilizada com precaução, visto que questões regionais e culturais podem afetar a construção desse tipo de curva, o que pode acarretar em uma resposta incerta da demanda em relação a variação do preço, Olmstead *et al* (2007) e Olmstead (2009).

Por exemplo, Scheich e Hillenbrand (2009) avaliaram que na Alemanha, os totais de chuva não afetam o consumo de água e sim os padrões de chuva, enquanto a temperatura não apresentou impacto algum na demanda, resultando em uma elasticidade do preço da água igual a -0,24. Entretanto na Região Metropolitana de São Paulo, Ruijs *et al* (2008) avaliaram a demanda de água sob uma função de modelos de preços médios e marginais que resultou em uma elasticidade do preço da água entre -0,45 e -0,50, utilizando dados de consumo, tarifa cobrada para os usuários, temperatura e precipitação.

A determinação de uma curva de demanda por água por meio de estudos econométricos é complexa pois a água não possui um substituto e possui uma variação de preço muito baixa, Olmstead (2009). No caso do Brasil, a variação de preço no âmbito da cobrança pelo uso da água é quase inexistente e para as tarifas aplicadas pelas companhias de saneamento, são variações que compensam custos supervenientes ou apenas a correção da inflação, não havendo um aumento do valor real. A Figura 3 apresenta uma curva de demanda hipotética utilizada em um estudo de caso hipotético para ilustração dos resultados.

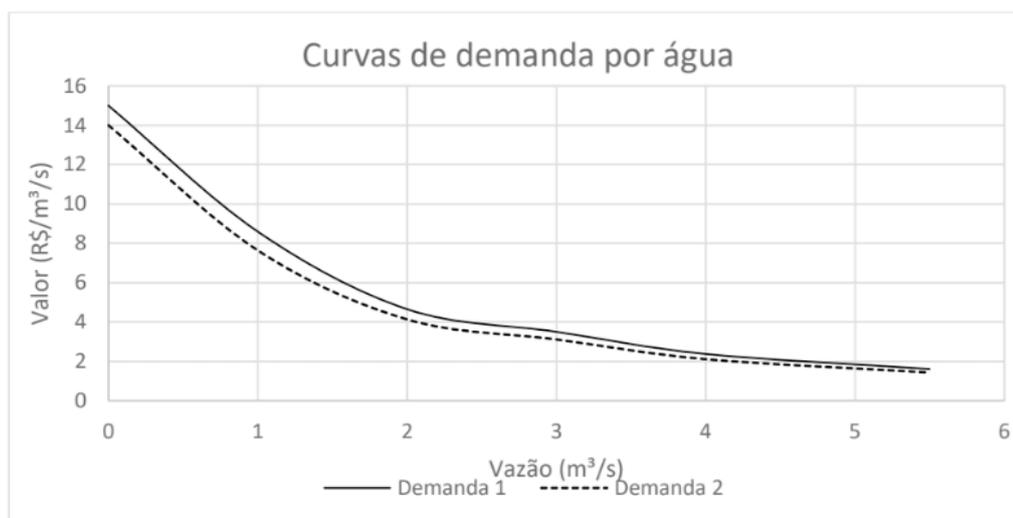


Figura 3 – curva de demanda por água hipotética utilizada.

Para ilustrar a otimização da alocação de água a partir de um modelo hidro econômico de alocação é apresentado a seguir um estudo de caso hipotético.

## 2.3 Estudo de Caso Hipotético

Na a otimização de uma rede de fluxo por meio de um modelo hidro econômico foi considerado uma situação hipotética onde um reservatório que regulariza água para duas regiões urbanas e que possuem a mesma vazão demandada de água para consumo urbano. Os cenários avaliados foram:

**Cenário 1:** simular um reservatório que oferta água para dois municípios com a mesma demanda física por água com a mesma prioridade e considerando uma vazão afluente com um período longo de estiagem;

**Cenário 2:** idem ao cenário 1, mas utilizando o módulo de análises econômicas por meio da utilização de duas curvas de demanda por água diferentes (uma para cada região urbanizada).

A análise considerou o período entre os anos de 2000 e 2019, totalizando um período de 20 anos. As Figura 4 e Figura 5 apresenta uma ilustração simplificada dos cenários a serem otimizados.

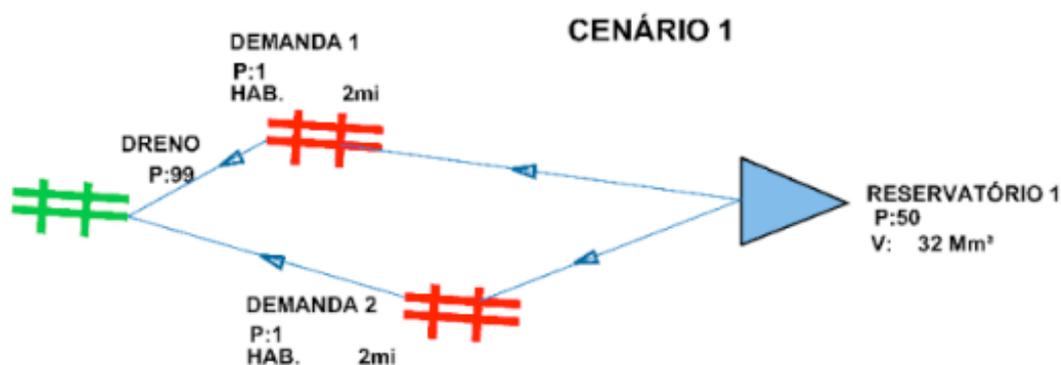


Figura 4 – Cenário 1 da otimização hipotética

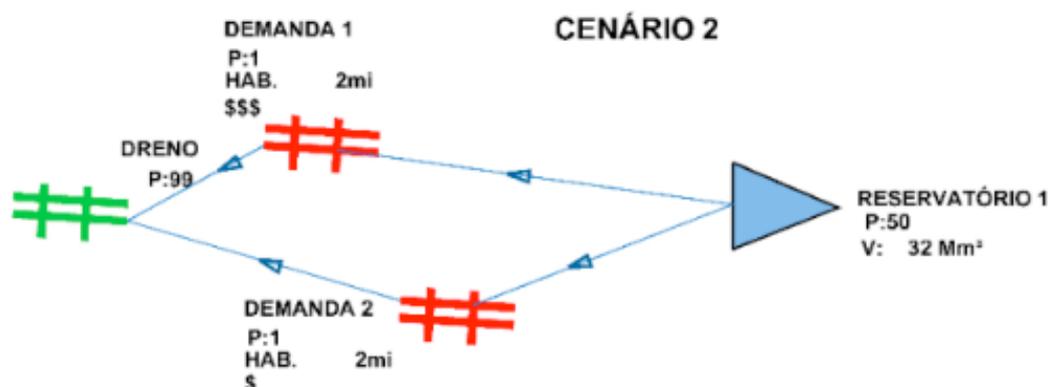


Figura 5 – Cenário 2 da otimização hipotética

No cenário 1, as duas regiões urbanas possuem a mesma vazão demandada por água e a mesma prioridade de atendimento dessas demandas. Já no cenário 2, se mantém as características do Cenário 1, entretanto é considerado uma curva de demanda por

água para cada região urbana.

O reservatório hipotético utilizado nos dois cenários possui um volume útil total de 32,00 hm<sup>3</sup> e apresenta o aporte de vazões conforme a Figura 6.

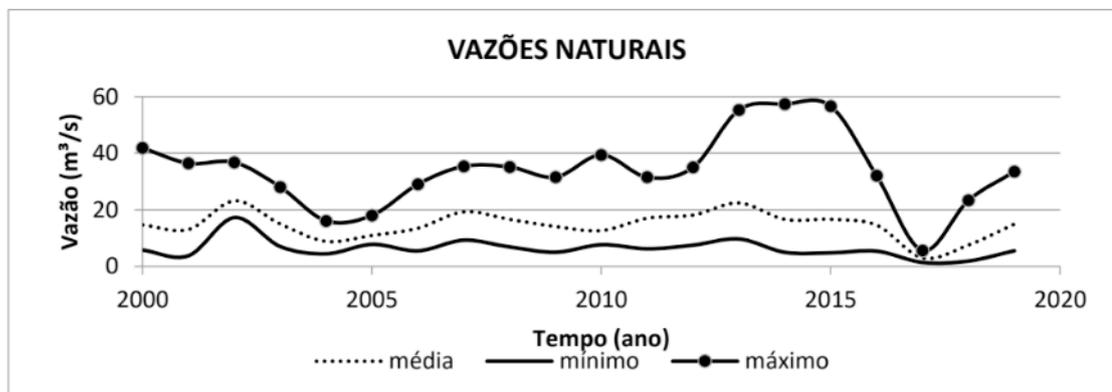


Figura 6 – vazões naturais aportadas no reservatório hipotético

A vazão demandada por água foi admitida crescente ao longo do tempo conforme apresenta a Figura 7, variando entre 4,5 m<sup>3</sup>/s a 5,5 m<sup>3</sup>/s para cada região urbana (um aumento de 22% em 20 anos).

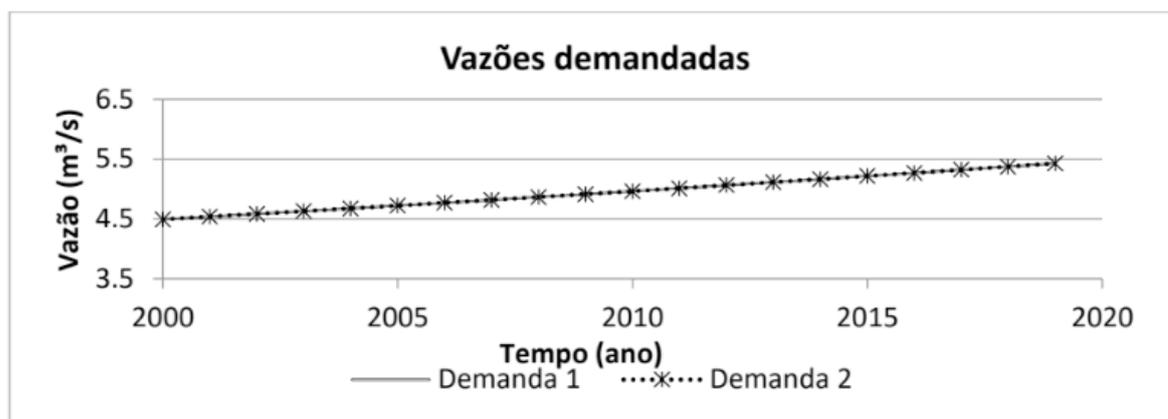


Figura 7 – demanda física por água para consumo urbano.

A curva de demanda por água para consumo urbano foi calculada para que uma região possuísse um maior benefício econômico do que o outro. Essa situação pode ser justificada pela renda média da população de cada região. Foi utilizada a equação para determinação da demanda por água apresentada em Baltar (2001), variando-se apenas a renda média da população para diferenciação entre as regiões de demanda física por água. A Figura 3 apresenta a curva de demanda utilizada para cada região urbanizada no Cenário 2.

A seguir é apresentado os resultados obtidos para cada otimização do estudo de caso hipotético.

### 3 | RESULTADOS

As Figura 8 e Figura 9 apresentam os resultados das vazões despachadas pelo reservatório para cada região urbana nos Cenários 1 e 2.

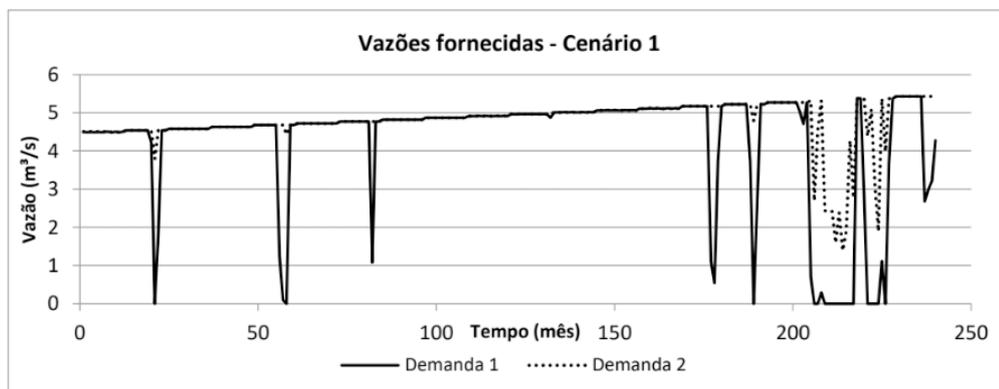


Figura 8 – resultados do cenário 1 (vazões fornecidas para cada região urbana)

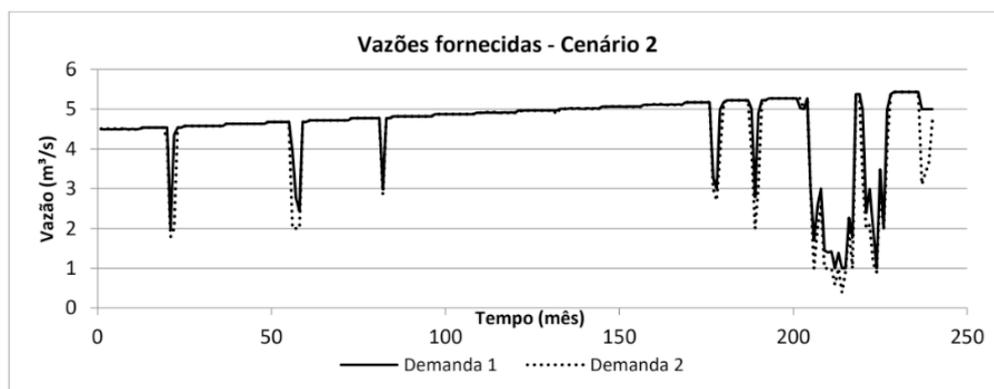


Figura 9 - resultados do cenário 2 (vazões fornecidas para cada região urbana)

Nota-se que o déficit global de fornecimento de água para as duas regiões urbanas é menor no Cenário 2, ou seja, a partir da consideração da otimização hidro econômica.

### 4 | DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS

Os resultados obtidos com a utilização de um modelo hidro econômico de alocação de água apresentou que para uma região urbana (Demanda 1) ocorre uma redução de 6,30% no volume total ofertado no período analisado, enquanto para a outra região urbana (Demanda 2), ocorre um aumento de 7,05% no volume total ofertado no período analisado.

Essa melhoria na eficiência representa impactos na operação de reservatórios, para o controle do despacho das vazões, tornando a análise complexa quando se trata de sistemas de reservatórios integrados. Pode-se notar que o fornecimento de água para as regiões urbanas é mais bem distribuído no Cenário 2 (redução do déficit), pois o despacho

de vazões é realizado com base na maximização dos benefícios econômicos oriundos da curva de demanda por água.

A utilização desse tipo de modelo de otimização na alocação de água se apresenta eficiente quando do ponto de vista: (i) dos benefícios sociais; (ii) utilizados em questões da qualidade da água na alocação<sup>3</sup>; (iii) inclusão de curvas de demanda por água com a internalização da escassez hídrica que afeta o potencial de diluição das cargas poluidoras; (iv) maximização dos benefícios econômicos regionais, mesmo que distribuídos entre os setores usuários e geograficamente nos municípios e companhias de saneamento.

## 5 | CONCLUSÃO

A utilização de modelos hidro econômicos na alocação de água em reservatórios promove melhorias significativas no planejamento dos recursos hídricos e permite incorporar ferramentas para a gestão sustentável no desenvolvimento econômico.

A utilização desse tipo de modelo de alocação também oferece a possibilidade de analisar políticas públicas, como no caso da cobrança pelo uso da água e nas análises de aplicação de diferentes formas de tarifas de água utilizadas pelas companhias de saneamento.

Os benefícios sociais que são observados são referentes a melhor operacionalização do despacho de água para as regiões urbanas, em outras palavras, seria a redução do déficit hídrico daquela região urbana.

O modelo AcquaNet permitiu a realização das análises e se mostrou eficiente na otimização hidro econômica, no entanto possui limitações como: (i) apenas 5 faixas para discretização da curva de demanda; (ii) análise de sensibilidade nos indicadores econômicos; (iii) utilização de curvas de demanda apenas logarítmicas; (iv) não realiza a otimização global.

## REFERÊNCIAS

BALTAR, A. M. (2001). **Sistema de apoio à decisão para avaliação econômica da alocação de recursos hídricos: Aplicação à bacia da barragem do rio Descoberto**. Dissertação de Mestrado. Brasília, DF: Universidade de Brasília.

CONNOR, Richard. (2015). **The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world**. UNESCO publishing.

DE CARVALHO, M. A. E. A. (2009). **Sistema de suporte à decisão para alocação de água em projetos de irrigação**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. v. 13, n. n. 1, p. p. 10-17.

DE MORAES, M. M. G. A.; DA SILVA, G. S.; EDUARDO, L.(2015). **Sistema de apoio a decisão espacial na gestão de recursos hídricos da bacia do rio São Francisco**. XXI simpósio de Brasileiro de recursos hídricos. Brasília: [s.n.].

<sup>3</sup> Redução de déficit também pode ser entendida como maior disponibilidade de água para diluição dos efluentes.

- FOSTER, Henry S.; BEATTIE, Bruce R. (1979) **Urban residential demand for water in the United States**. Land Economics, v. 55, n. 1, p. 43-58.
- HAROU, J. . P. D. . H. K. . R. D. . T. A. . M.-A. J. .. & K. B. (2009). **HydroPlatform. org—an open-source generic software interface and web repository for water management models**. In: International Symposium on Environmental Software Systems. Venice: Italy.
- HEINZ, I. . P.-V. M. . L. J. R. . & A. J. (2007). **Hydro-economic modeling in river basin management: implications and applications for the European water framework directive**. Water resources management, v. v. 21, n. n. 7, p. p. 1103-1125.
- JAMES, Leonard Douglas et al. (1971) **Economics of water resources planning**. Economics of water resources planning.
- JENKINS, M. W. E. A. (2004). **Optimization of California's water supply system: results and insights**, v. v. 130, n. n. 4, p. p. 271-280, 2004.
- KAHIL TM, W. F. A. J. E. J. & S. D. (2016). **Hydro-economic modeling of conjunctive ground and surface water use to guide sustainable basin management**. In: European Geosciences Union (EGU) General Assembly. Vienna: Austria.
- LABADIE, J. W. (1990). **Dynamic programming with the microcomputer**. Encyclopedia of microcomputers, p. v. 5, p. 275-338.
- LABSID. (2013). **Manual do Usuário do software Acquanet**. São Paulo, SP.
- LOPEZ, J. C. (2017). **Interbasin water transfers and the size of regions: An economic geography example**. Water Resources and Economics.
- LUND, J. R.; FERREIRA, I. (1996). **Operating rule optimization for Missouri River reservoir system**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. v. 122, n. n. 4, p. p. 287-295.
- MARSHALL, Alfred.(1961). **Principles of Economics: Text**. London; New York: Macmillan for the Royal Economic Society.
- MANETA, M. P. E. A. (2007). **A Detailed Hydro-Economic Model for Assessing the Effects of Surface Water and Groundwater Policies: A Demonstration Model from Brazil**. In: American Agricultural Economics Association Annual Meeting. American Agricultural Economics Association. Portland: Oregon.
- MOHOR, G. S.; MENDIONDO, E. M. (2017). **Economic indicators of hydrologic drought insurance under water demand and climate change scenarios in a Brazilian context**. Ecological Economics, p. v. 140, p. 66-78.
- NIAYIFAR, A.; PERONA, P. (2017). **Dynamic water allocation policies improve the global efficiency of storage systems**. Advances in Water Resources, p. v. 104, p. 55-64.
- NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A. D. (1998). **Valoração econômica do meio ambiente: aspectos teóricos e operacionais**. Trabalho apresentado na 50a Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC).
- OLMSTEAD, S. M. (2009). **Reduced-form versus structural models of water demand under nonlinear prices**. Journal of Business & Economic Statistics, p. v. 27, n. 1, p. 84-94.
- OLMSTEAD, S. M.; HANEMANN, W. M.; STAVINS, R. N. (2007). **Water demand under alternative price structures**. Journal of Environmental Economics and Management, p. v. 54, n. 2, p. 181-198.

- PERERA, B. J. C.; JAMES, B.; KULARATHNA, M. D. U. (2005). **Computer software tool REALM for sustainable water allocation and management**. Journal of Environmental Management, v. v. 77, n. n. 4, p. p. 291-300.
- PORTO, R. L. L. . M. J. A. V. . R. A. N. . R. B. (2006). **Plataforma Generalizada para Análise de Outorga para Captação de Água e para Lançamento de Efluentes**. I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. Curitiba, PR: [s.n.].
- PORTO, R. L.; AZEVEDO, L. T. (1997). **Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Ed. Da Universidade/UFSGS/ABRH, p. p. 42-95.
- PULIDO-VELÁZQUEZ, M.; ANDREU, J.; SAHUQUILLO, A. (2006). **Economic optimization of conjunctive use of surface water and groundwater at the basin scale**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. v. 132, n. n. 6, p. p. 454-467.
- ROOBAVANNAN, M. . K. J. . P. S. . V. S. . &. S. M. (2017). **Allocating environmental water and impact on basin unemployment: Role of a diversified economy**. Ecological Economics, p. v. 136, p. 178-188.
- RUIJS, A.; ZIMMERMANN, A.; VAN DEN BERG, M. (2008). **Demand and distributional effects of water pricing policies**. Ecological Economics, p. v. 66, n. 2-3, p. 506-516.
- SCHLEICH, J.; HILLENBRAND, T. (2009). **Determinants of residential water demand in Germany**. Ecological economics, p. v. 68, n. 6, p. 1756-1769.
- WARD, F. A.; PULIDO-VELAZQUEZ, M. (2008). **Efficiency, equity, and sustainability in a water quantity–quality optimization model in the Rio Grande basin**. Ecological economics, v. v. 66, n. n. 1, p. p. 23-37.
- WATKINS JR, D. W.; MOSER, D. (2006). A. **Economic-based optimization of Panama Canal system operations**. Journal of water resources planning and management, v. v. 132, n. n. 6, p. p. 503-512.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agência Nacional de Águas 1, 2, 33, 133, 134, 139, 178  
Água Potável 26, 32, 143, 148  
Águas Continentais e Estuarinas 47  
Águas Subterrâneas 81, 144, 145, 146, 149, 151  
Amortecimento da Vazão 89  
Aparelhos Hidrossanitários 159, 160, 162, 163, 164, 167, 168, 169, 170, 172, 174, 175, 176, 177  
Aquíferos 144, 145, 151  
Áreas de Planalto 62, 68

### B

Bacia do Ribeirão das Cruzes 74  
Bacia Hidrográfica 10, 13, 31, 35, 37, 38, 40, 41, 43, 61, 62, 66, 67, 68, 70, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 89, 105, 106, 116, 124, 127, 135  
Bacias Urbanas 82, 116

### C

Calhas dos Rios 35, 37, 41, 43  
Clorofila-a 122  
Coliformes Totais 141, 147, 148, 151  
Composição Granulométrica 61, 63, 64, 66, 67, 69  
Contaminação da Água 141, 145, 150, 151  
Curva de Demanda 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23

### D

Disco de Secchi 47, 52  
Draga de “Van Veen” 65

### E

Ecossistemas Lênticos 48  
Eficiência Energética 155, 158  
Escassez de Água 117, 143  
Escherichia Coli 141, 142, 148  
Espaços Públicos 72  
Estaciones Meteorológicas 94, 103

Estiagem 20, 27, 28, 30, 67, 81, 84, 88, 154

Estudo de Potencial Hidro Energético 155

## F

Fatores Planimétricos 105, 111

## G

Gestão da Demanda de Água 159, 164, 167, 168

## H

Hidrograma 83, 97, 98, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 116

Hidrometeorológico 11

Humedad Del Suelo 91

## I

Incertezas Hidrológicas 14

## L

Levantamento On-line 159

## M

Medidas Interventivas 128

Método de Pipetagem 61, 65

Modelos Matemáticos 105, 118

Monitoramento 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 118, 121, 135, 136, 138

## P

Planejamento 1, 3, 4, 11, 12, 13, 15, 23, 26, 29, 31, 32, 34, 58, 63, 68, 72, 126, 154

Poços 42, 141, 143, 145, 146, 150

Potabilidade 130, 136, 141, 143, 148

Praias de Água Doce 47

## R

Recursos Hídricos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 43, 44, 60, 61, 62, 63, 64, 68, 70, 92, 111, 116, 118, 124, 126, 129, 131, 140, 144, 160, 178

Renaturalização 38, 43

Resíduos Sólidos 71, 76, 78, 79, 145

## S

Série Histórica 11, 107  
Software 24, 25, 96, 119  
Soil Water Characteristics 96  
SSD AcquaNet 16

## T

Torneiras e Mictórios 162, 168  
Turbo-Geradores 153, 155, 157

## U

Usinas Hidroelétrica 14

## V

Visitas Técnicas 71, 73

# Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental 3

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

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

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

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

# Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental 3

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

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

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

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