

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária



Daniel Sant'Ana  
(Organizador)

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária



Daniel Sant'Ana  
(Organizador)

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

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

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

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 Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
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  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal 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. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andreza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. 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  
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. 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  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª 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  
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. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª 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  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
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



## Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Daniel Sant'Ana

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B299 Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária / Organizador Daniel Sant'Ana. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-744-4

DOI 10.22533/at.ed.444211901

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

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

### Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

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

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

Com o crescimento desordenado das cidades brasileiras, observamos, cada vez mais, os impactos de ocupações urbanas sobre o meio ambiente. Com isso, os primeiros capítulos deste livro debatem sobre a importância da legislação no controle do crescimento desordenado das cidades e na proteção ambiental de bacias hidrográficas, seja pela proteção e a recuperação de matas ciliares ou pela gestão sustentável de águas pluviais urbanas.

E na medida em que as cidades crescem, a demanda por água potável aumenta. Com isso, torna-se crucial promover o controle da demanda urbana de água por meio de medidas que estimulem o uso racional de água, seja por meio de uma revisão tarifária (Capítulo 5) ou pela otimização das redes de distribuição de água (Capítulos 6 e 7).

O uso de fontes alternativas de água, como o aproveitamento de águas pluviais em usos não potáveis, é capaz de promover reduções significativas no consumo de água potável em edificações (Capítulo 8). Porém, para garantir a saúde e o bem-estar de usuários, toda água deve passar por um processo de tratamento capaz de atingir os padrões de qualidade estabelecidos em legislação ou instrumentos normativos (Capítulos 9 e 10).

Evidentemente, para qualquer tomada de ação, é necessário um diagnóstico preliminar para avaliar as condições das águas. Os Capítulos 11 e 12 realizam diagnósticos da qualidade de águas subterrâneas, enquanto os capítulos subsequentes apresentam resultados de análises da qualidade de água do Rio Piabinha (Capítulo 13), Córrego Mirasol (Capítulo 14) e do Rio Chumbao, Peru (Capítulo 15).

A evolução da inovação tecnológica vem auxiliando tomadores de decisão na gestão de recursos hídricos (Capítulos 16 e 17) para garantir a segurança hídrica no abastecimento de água e na preservação ambiental. Os capítulos finais deste volume discorrem a importância de promover a conscientização da população e a educação ambiental para reduzir os impactos ambientais causados pelas ações do ser humano.

Este primeiro volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes partes do país, Argentina e Peru, trazendo de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos à legislação, abastecimento de água, diagnóstico de qualidade das águas, inovação tecnológica e educação ambiental. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ANÁLISE DOS INSTRUMENTOS JURÍDICOS QUE NORTEIAM O DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL, DAS OBRAS DE HABITAÇÃO, INFRAESTRUTURA E SANEAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE, EM LAGES-SC

Mayara Rafaeli Lemos  
Daniely Neckel Rosini  
Valter Antonio Becegato  
Vitor Rodolfo Becegato  
Alexandre Tadeu Paulino

**DOI 10.22533/at.ed.4442119011**

### **CAPÍTULO 2..... 20**

CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS DA APLICAÇÃO DO DECRETO ESTADUAL Nº 42.356/2010 NA DELIMITAÇÃO DE FAIXA MARGINAL DE PROTEÇÃO EM ÁREA URBANA CONSOLIDADA. ESTUDO DE CASO: RIO PIABANHA/RJ - TRECHO 4

Jorge Chaves Junior  
Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho  
Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes Assumpção

**DOI 10.22533/at.ed.4442119012**

### **CAPÍTULO 3..... 31**

AVALIAÇÃO AMBIENTAL ESTRATÉGICA: POSSÍVEIS CONTRIBUIÇÕES PARA O PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA, NO ESTADO DE GOIÁS

Raquel Santarém de Souza Costa  
Aldo Muro Junior  
Flávio Roldão de Carvalho Lélis

**DOI 10.22533/at.ed.4442119013**

### **CAPÍTULO 4..... 47**

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DO ORDENAMENTO JURÍDICO ACERCA DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO BRASIL COM FOCO NAS REGIÕES SUDESTE E SUL

Jordana dos Anjos Xavier  
Emili Louise Diconcili Schutz  
Nicole Martins Pessoa  
Daniely Neckel Rosini  
Débora Cristina Correia Cardoso  
Valter Antonio Becegato  
Vitor Rodolfo Becegato  
Alexandre Tadeu Paulino  
Natália Martins Vieira

**DOI 10.22533/at.ed.4442119014**

### **CAPÍTULO 5..... 61**

INDICADOR ECONÔMICO FINANCEIRO PARA AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE REVISÃO TARIFÁRIA EM CONCESSÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NOS MUNICÍPIOS CATARINENSES

Daniel Antonio Narzetti

Willian Carlos Narzetti  
Ricardo Motta Martins  
Ciro Loureiro Rocha  
Diego Pavam Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.4442119015**

**CAPÍTULO 6..... 73**

**INFLUÊNCIA DAS EQUAÇÕES EXPLÍCITAS DE FATOR DE ATRITO NO  
DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

Renata Shirley de Andrade Araújo  
Alessandro de Araújo Bezerra  
Bruno Duarte Moura  
Mauro César de Brito Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.4442119016**

**CAPÍTULO 7..... 88**

**QUANTIFICANDO PERDAS HÍDRICAS EM CIDADES PARAIBANAS**

Ayuri Medeiros da Silva  
Carolina Coeli Rodrigues Batista de Araújo  
Flaubert Ruan Nobelino de Araujo  
Mikaele de Oliveira Candeia  
Francisca Rozângela Lopes de Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.4442119017**

**CAPÍTULO 8..... 98**

**PROJETO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA APROVEITAMENTO NO  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL DO CAMPUS ALTO PARAOPEBA – UFSJ**

Deysiane Antunes Barroso Damasceno  
Isabela Carvalho Pinheiro  
Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

**DOI 10.22533/at.ed.4442119018**

**CAPÍTULO 9..... 109**

**SEGUIMIENTO FÍSICO, QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA EN LA LOCALIDAD  
DE AGUARAY – SALTA**

Claudia Silvana Soledad Cequeira  
Cecilia Hebe Noemi Orphèe  
Maria Ines Mercado  
Rosa Magdalena Cruz

**DOI 10.22533/at.ed.4442119019**

**CAPÍTULO 10..... 117**

**OTIMIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE FLOCULAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS NO  
TRATAMENTO DE ÁGUA**

David Choque-Quispe  
Yudith Choque Quispe  
Betsy Suri Ramos Pacheco  
Aydeé Marilú Solano Reynoso

Lourdes Magaly Zamalloa Puma  
Carlos Alberto Ligarda Samanez  
Fredy Taipe Pardo  
Miriam Calla Flórez  
Miluska Marina Zamalloa Puma  
Jhuniór Felix Alonzo Lanado  
Yadyra Quispe Quispe

**DOI 10.22533/at.ed.44421190110**

**CAPÍTULO 11..... 126**

**APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS POÇOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CIDADE DE ABATETUBA – PARÁ**

Gabriel Pereira Colares da Silva  
Éverton Costa Dias  
Giovanni Chaves Penner  
Adria Lorena de Moraes Cordeiro  
Cleyanne Kelly Barbosa Souto

**DOI 10.22533/at.ed.44421190111**

**CAPÍTULO 12..... 137**

**MODELAGEM DO FLUXO DE CONTAMINANTES NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO CEMITÉRIO AREIAS, TERESINA, BRASIL**

Mauro César de Brito Sousa  
Bruna de Freitas Iwata

**DOI 10.22533/at.ed.44421190112**

**CAPÍTULO 13..... 148**

**ANÁLISE DO SANEAMENTO E DA QUALIDADE DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIABANHA**

Luis Carlos Soares da Silva Junior  
José Paulo Soares de Azevedo  
Ana Silvia Pereira Santos  
Verônica Silveira de Andrade  
Marília Carvalho de Melo

**DOI 10.22533/at.ed.44421190113**

**CAPÍTULO 14..... 160**

**PHYSICO-CHEMICAL DIAGNOSIS OF WATER QUALITY IN THE MIRASSOL STREAM, CITY OF SÃO PAULO, BRAZIL**

André Contri Dionizio  
Marta Ângela Marcondes  
Raul Neiva Bertulucci

**DOI 10.22533/at.ed.44421190114**

**CAPÍTULO 15..... 172**

**ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y CONTAMINANTES EMERGENTES, PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL RIO CHUMBAO, PERÚ**

Carlos Alberto Ligarda Samanez

David Choque Quispe  
Betsy Suri Ramos Pacheco

**DOI 10.22533/at.ed.44421190115**

**CAPÍTULO 16..... 185**

**SISTEMA EM PLATAFORMA WEB PARA IMPLANTAÇÃO DE PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA (PSA) EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Nolan Ribeiro Bezerra  
Isabela Moura Chagas  
Geraldo Alves Pereira Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.44421190116**

**CAPÍTULO 17..... 198**

**SISTEMA WEB PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR DIFERENTES MÉTODOS**

Lucas Moraes dos Santos  
Taison Anderson Bortolin  
Adriano Gomes da Silva  
Vania Elisabete Schneider

**DOI 10.22533/at.ed.44421190117**

**CAPÍTULO 18..... 217**

**UM CENÁRIO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO SANTARÉM - PA: ESTUDO DE CASO - RESIDENCIAL SALVAÇÃO**

Jarlison Sarmento Lopes  
Andressa Rodrigues de Sousa  
Antônia Liliane Ferreira de Oliveira  
Claudiane da Silva Rosa  
Ewellyn Cristina Santos de Sousa  
Kairo Silva de Oliveira  
Elton Raniere da Silva Moura  
Maria Francisca de Miranda Adad

**DOI 10.22533/at.ed.44421190118**

**CAPÍTULO 19..... 233**

**EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO DURANTE A PANDEMIA DO CORONAVÍRUS EM ESCOLAS RURAIS DE LAGES-SC**

Daniely Neckel Rosini  
Débora Cristina Correia Cardoso  
Jordana dos Anjos Xavier  
Valter Antonio Becegato  
Vitor Rodolfo Becegato  
Alexandre Tadeu Paulino

**DOI 10.22533/at.ed.44421190119**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 245**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 246**



## SISTEMA WEB PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR DIFERENTES MÉTODOS

Data de aceite: 04/01/2021

### Lucas Moraes dos Santos

Universidade de Caxias do Sul  
Caxias do Sul, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6515220284220218>  
<https://orcid.org/0000-0003-4214-1576>

### Taison Anderson Bortolin

Universidade de Caxias do Sul  
Caxias do Sul, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4843516980586649>  
<https://orcid.org/0000-0003-0905-5684>

### Adriano Gomes da Silva

Universidade de Caxias do Sul  
Caxias do Sul, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9796517738655066>  
<https://orcid.org/0000-0003-1548-9104>

### Vania Elisabete Schneider

Universidade de Caxias do Sul  
Caxias do Sul, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9940289333509769>  
<https://orcid.org/0000-0001-8217-3607>

**RESUMO:** Um dos parâmetros do ciclo hidrológico que possui grande influência na gestão da água e na produção agrícola é a evapotranspiração. Encontrar formas de repor essa quantidade de água perdida, ao solo, é essencial, seja a partir das chuvas ou das técnicas de irrigação. Em geral, para determinar a evapotranspiração são utilizados métodos indiretos, destacando-se o de Penman-Monteith. No entanto, o método necessita de um grande número de variáveis

sendo necessária a utilização de outros métodos indiretos, menos exigentes em relação aos dados requeridos. Devido a uma grande quantidade de métodos para serem comparados é interessante fazer o uso de ferramentas computacionais que permitam automatizar estes cálculos. Diante do problema, vislumbrou-se o desenvolvimento de uma aplicação web que efetua o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) de forma automatizada, a partir de diversos métodos matemáticos encontrados na literatura. O sistema dispõe ao usuário, resultados da ET<sub>o</sub> diária (mm/mes) para um determinado período de tempo, bem como a média diária (mm/mes), para o mês, e mensal (mm/mes), para determinado mês durante o período de alguns anos, utilizando dados atualizados oriundos de estações meteorológicas operadas pelo INMET. A aplicação facilita o processo de cálculo minimizando o tempo de estimativa e contribuindo à análise dos resultados pelo usuário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração. Automatização. Web.

### WEB SYSTEM FOR ESTIMATION OF EVAPOTRANSPIRATION POTENTIAL BY DIFFERENT METHODS

**ABSTRACT:** One of the parameters of the hydrological cycle that has great influence in water management and agricultural production is evapotranspiration. Finding ways to restore this amount of lost water to the ground is essential, whether from rain or irrigation techniques. In general, indirect methods are used to determine evapotranspiration, especially Penman-Monteith. However, the method requires a large number

of variables, requiring the use of other indirect methods, less demanding in relation to the required data. Due to a great number of methods to be compared it is interesting to make use of computational tools that allow to automate these calculations. In the face of the problem, the development of a web application that calculates the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) in an automated way, from the several mathematical methods found in the literature, was glimpsed. The system provides the user with daily ET<sub>o</sub> results (mm / month) for a given period of time, as well as the daily average (mm / month), for the month, and monthly (mm / month) for a given month during the period, using up-to-date data from INMET-operated weather stations. The application facilitates the calculation process minimizing the estimation time and contributing to the analysis of the results by the user.

**KEYWORDS:** Evapotranspiration. Automation. Web.

## 1 | INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é um elemento importante do ciclo hidrológico e as possíveis tendências neste processo, entre outras coisas, podem influenciar a gestão da água e a produção agrícola (MAČEK et al, 2018). A evapotranspiração pode ser considerada como um dos fatores mais importantes para indicar a mudança climática em bacias hidrográficas, uma vez que influencia tanto no escoamento superficial quanto no armazenamento de água na bacia (CANNAROZZO et al., 2006; LIU et al., 2008).

A ET é controlada e influenciada por diferentes fatores: temperatura média diária, velocidade dos ventos, umidade relativa, balanço de energia, demanda atmosférica, suprimento de água do solo às plantas e pelas características fisiológicas das plantas (MENDONÇA et al., 2003; PEREIRA et al., 2009, YANG et al., 2011, WANG et al., 2014). Em geral, é mais comum trabalhar com a evapotranspiração potencial (EPT), a qual pode ser definida como a taxa na qual a evapotranspiração (ET) ocorreria em uma grande área coberta completa e uniformemente com vegetação em crescimento, com acesso ilimitado a água, sem efeitos de advecção ou aquecimento (MCVICAR et al., 2012; MCMAHON et al., 2013).

Em função da dificuldade para realizar as medições diretas, a aplicação dos métodos indiretos tem se tornado uma ferramenta em potencial para a determinação da evapotranspiração (SULEIMAN e HOOGENBOOM, 2007, MOURA et al. 2013, PAIVA et al., 2016). Os métodos indiretos são utilizados para estimar a transferência de vapor d'água para a atmosfera em condições climáticas específicas, no entanto, poucos têm sido adaptados para situações climáticas distintas daquelas que lhes deram origem.

Existem diversos métodos para estimar a evapotranspiração, entre eles alguns baseados somente na temperatura, como o de Thornthwaite e outros baseados também na radiação solar, como o de Makkink e Jensen-Haise. Destaca-se ainda o método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) e utilizado para a calibração de outros métodos (ALLEN et al., 1998). No entanto, em alguns casos, o uso do método de Penman-Monteith é restrito pela falta de

algumas variáveis de entrada, sendo necessária a utilização de outros métodos indiretos, menos exigentes em relação aos dados requeridos (GONÇALVES et al., 2009; PALARETTI et al., 2014; CRUZ, 2016; JÚNIOR et al., 2017). Diferentes autores recomendam que antes de aplicar um método para determinada região, é necessário verificar o desempenho deste e, se necessário, fazer calibrações com o objetivo de minimizar os erros de estimativa (LEITÃO et al., 2007; PEREIRA et al., 2009; PILAU et al., 2012).

Entretanto, considerando as dificuldades de processamento de dados e uma gama muito grande de métodos para serem comparados é interessante utilizar ferramentas computacionais que permitam automatizar estes cálculos contribuindo para uma análise mais eficaz da evapotranspiração em determinada região. Diferentes softwares podem ser encontrados na literatura, geralmente utilizando apenas o método de Penman-Montheit para estimativa de evapotranspiração (GOCIC e TRAKKOVIC, 2010; FEITOSA et al., 2014; DANLU et al., 2017).

Com base no exposto, este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de uma aplicação web que visa automatizar o processo do cálculo de evapotranspiração potencial.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho utilizou uma versão modificada da metodologia de desenvolvimento conhecida por Processo Unificado (PU), que sugere uma abordagem para modelagem e construção de software através de iterações curtas com resultados testáveis (LARMAN, 2007). Para modelar a aplicação, empregou-se o conceito de representação abstrata de processos que tem por objetivo descrever de forma abstrata os processos que compõem o sistema (SOMMERVILLE, 2007). A aplicação está baseada no paradigma cliente/servidor no qual um processo no host local, denominado cliente, solicita serviços a outro processo, normalmente localizado em um host remoto, denominado servidor (FOROUZAN, 2008). O servidor, por sua vez, retorna os serviços requisitados ao cliente, no momento que o usuário interage com a aplicação (SOMMERVILLE, 2007).

Para desenvolvimento da aplicação web foi empregado o padrão de arquitetura de software MVC (*Model-View-Controller*) que utiliza o paradigma de programação orientada a objetos (POO), um padrão de desenvolvimento que subdivide o software em componentes dispostos como modelo, visão e controlador, permitindo melhor controle da qualidade do software, no que tange ao processamento dos dados e design de interface (HASAN e ISAAC, 2011).

Para o desenvolvimento programático do lado servidor (*back-end*) foi usada a linguagem de programação PHP (acrônimo recursivo para *Hipertext Preprocessor*), versão 7.0. O PHP caracteriza-se por ser uma linguagem de domínio específico (abrangendo o desenvolvimento web), cujo código é interpretado por um módulo PHP presente no lado

servidor (PHP, 1995). No servidor, também é utilizada a linguagem de programação do pré-processador de texto *Smarty Template Engine*<sup>™</sup>, para a geração e montagem dos *templates* dinâmicos (SMARTY TEMPLATE ENGINE, 2010).

No lado cliente (*front-end*) as interfaces de usuário da aplicação foram desenvolvidas utilizando a linguagem de marcação HTML5 (do Inglês *Hypertext Markup Language*, versão 5), de estilos CSS3 (do Inglês *Cascading Style Sheets*, versão 3) e de scripting JavaScript (JS), empregando componentes do framework web, de código-fonte aberto, Bootstrap para desenvolvimento do *design* das páginas (BOOTSTRAP, 2013). O CSS e o JavaScript foram utilizados para estilizar e aprimorar a navegação do usuário no site.

Algumas bibliotecas externas foram empregadas, dentre elas a OpenLayers para disponibilização do WebMapa interativo. A OpenLayers caracteriza-se por uma biblioteca modular javascript de alto desempenho e código aberto, com recursos para exibição e interação com mapas, além de permitir a manipulação de dados geoespaciais (OPENLAYERS, 2006). Outro fator que contribuiu à escolha da biblioteca foi devido a sua licença livre.

Na estruturação do banco de dados, foram desenvolvidos os Modelos Entidade - Relacionamento (MER) e Diagramas Entidade - Relacionamento (DER) da aplicação, por meio do *plugin* ER Master de construção de DERs, disponível para o ambiente integrado de desenvolvimento Eclipse (ERMASTER, 2013). Para armazenar os dados meteorológicos oriundos das estações, foi empregado o gerenciador de banco de dados PostgreSQL.

O trabalho, por utilizar do PU e suas Fases, foi desenvolvido em quatro etapas: concepção, elaboração, construção e transição. A etapa de concepção abrangeu o levantamento bibliográfico e pesquisa sobre sistemas que possuem funcionalidades semelhantes aos do projeto proposto. A elaboração consistiu na especificação do sistema, com base nos requisitos levantados, bem como na modelagem dos dados. Na construção foi realizada a implementação do sistema, ou seja, a conversão dos modelos ER para um banco de dados, o emprego de linguagens de programação usadas para definição de estruturas de dados, geração de código e o desenvolvimento das interfaces de funcionalidade do sistema, empregando linguagens de programação usadas em desenvolvimento web. Por fim, na transição, houve a disponibilização do sistema ao usuário e avaliação dos resultados (SCHACH, 2010).

## 2.1 Modelagem dos dados

Modelos de dados são ferramentas que permitem demonstrar como serão construídas as estruturas de dados que darão suporte aos processos do sistema, como esses dados estarão organizados e quais relacionamentos pretende-se estabelecer entre eles (DEBASTIANI, 2015). Para obter os dados meteorológicos optou-se por utilizar o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo), que tem como mantenedores a Embrapa Informática Agropecuária e o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas

Aplicadas à Agricultura, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) (AGRITEMPO, 2002). A escolha do Agritempo foi motivada pelo fato do sistema conter mais parâmetros meteorológicos.

Cada conjunto de dados é formado por parâmetros meteorológicos medidos diariamente nas estações meteorológicas e assim discriminados: temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento, pontos de orvalho e disponibilidade de água do solo. Na conversão do DER em Linguagem de definição de dados (DDL – do inglês, *Data Definition Language*), as entidades passaram a ser representadas por tabelas e os atributos, por colunas. Estes dados foram diferenciados pelo identificador da estação correspondente em banco de dados. Se não existirem informações armazenadas em banco, para o período consultado pelo usuário, uma nova consulta ao Agritempo é realizada usando a data do último registro de dados armazenado em banco e a data solicitada como chave de busca. Assim o banco de dados estará atualizado.

## 2.2 Modelagem da aplicação

Na modelagem da aplicação foram desenvolvidas as estruturas base do padrão MVC (responsáveis pelo armazenamento e consulta dos dados), o controle das interações usuário-sistema, a renderização da página inicial e o núcleo de funcionalidades base do sistema. A partir destas estruturas, os dados meteorológicos puderam ser processados e armazenados em banco de dados, estando disponíveis ao usuário para posterior análise. Também foi realizado o desenvolvimento programático dos métodos matemáticos, empregados na estimativa de ETo.

Após a aplicação dos métodos matemáticos sobre os dados de estações meteorológicas consultados, são obtidos os resultados de ETo. Com vistas a possibilitar uma melhor exibição dos pontos das estações meteorológicas e interação com o mapa, empregou-se um WebMapa. Por fim, desenvolveu-se a gerência de usuários, responsável pelo cadastro de novos usuários ao sistema e controle de acesso a aplicação através de uma política de níveis de usuários.

## 2.3 Construção

Após a modelagem dos dados, desenvolveu-se a lógica responsável pelo controle das interações entre usuário e sistema, bem como o desenvolvimento programático dos métodos matemáticos. Conforme o uso do desenvolvimento iterativo proveniente do PU, optou-se por armazenar previamente uma faixa de dados meteorológicos em banco de dados e delegar à Controladora o gerenciamento da consulta ao Agritempo. Essa abordagem foi estabelecida após as consultas ao servidor externo tornarem-se demasiadamente lentas para longos períodos de tempo.

Inicialmente, a Controladora cria uma instância do Modelo, responsável pela

conexão com o banco de dados, e do Visualizador que se encarrega de construir e apresentar a página inicial. A página inicial é composta por um formulário onde o usuário deverá inserir as informações necessárias de acesso ao sistema. Os elementos da página inicial são processados pelo componente *Smarty*. Este componente é utilizado no sistema por meio do Visualizador, que coleta os dados e ações em nível de execução do código PHP e, antes do retorno ao cliente da página .html, processa o .tpl e gera o arquivo .html. A Controladora, por sua vez, envia uma solicitação ao Modelo, contendo as informações do usuário encapsuladas junto à requisição ao servidor.

Cabe a Controladora também o gerenciamento do processo de consulta aos dados meteorológicos das estações, realizada por meio de um método POST. Cada consulta contém as informações do formulário (código identificador da estação e período da pesquisa) encapsuladas junto à requisição ao servidor externo. Com o retorno dos dados meteorológicos, a Controladora envia-os ao Visualizador que os apresenta ao usuário. Em seguida, o usuário deverá optar por um dos métodos matemáticos para estimar a ETo sobre os dados consultados. Atualmente, existe um total de 14 métodos matemáticos implementados para estimativa da ETo os quais são apresentados na Tabela 1.

Método	Equação
Thornthwaite (1948)	$ET_o = 16 * \left(10 * \frac{T_i}{I}\right)^a, 0^\circ\text{C} \leq T_i \leq 26^\circ\text{C}$ $ET_o = -415,85 + 32,24T_i - 0,43T_i^2, T_i > 26^\circ\text{C}$ $I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514}, T_i \geq 0^\circ\text{C}$ $a = 6,75 * 10^{-7}I^3 - 7,71 * 10^{-5}I^2 + 1,7912 * 10^{-2}I + 0,49239$ $C = \frac{N}{12} * \frac{1}{30} \quad N = \frac{2}{12} * \omega_s$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• ETo = Evapotranspiração de referência (mm mês<sup>-1</sup>);</li> <li>• T<sub>i</sub> = Temperatura do ar média mensal (°C);</li> <li>• I = Índice térmico imposto pelo regime climático local;</li> <li>• i = Representa o mês do ano (i=1, janeiro; .... i=12, dezembro);</li> <li>• N = Fotoperíodo (h) de determinado dia;</li> </ul>
Thornthwaite (1948) - Modificado	$T_{ef} = K * (T_i + A) \quad T_{ef} = 0,5k * (3T_{max} - T_{min})$ $T = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2}\right) \quad A = T_{max} - T_{min}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• A = Amplitude térmica diária;</li> <li>• T<sub>max</sub> = Temperatura máxima (°C);</li> <li>• T<sub>min</sub> = Temperatura mínima (°C);</li> <li>• k = 0,72 e K = 0,69</li> </ul>

Método	Equação
Hargreaves - Samani	$ETo_{(HS)} = 0,0135 * kt * Ra * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * (T_{med} + 17,8)$ $ETo_{(HS)} = 0,0023 * R_T * \sqrt{T_{max} - T_{min}} * (T + 17,8)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ETo_{(HS)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>R_T</math> (<math>R_a</math>) = Radiação solar extraterrestre (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>T_{max}</math> = Temperatura máxima do ar (°C);</li> <li>• <math>T_{min}</math> = Temperatura mínima do ar (°C);</li> <li>• <math>T_{med}</math> = Temperatura média do ar (°C);</li> <li>• <math>kt</math> = coeficiente empírico em regiões continentais (0,162), adimensional;</li> </ul>
Blaney - Criddle	$ETo_{(BC)} = a + b * f$ $f = p * (0,46 * T + 8,13)$ $a = 0,0043 * UR_{min} - \frac{n}{N} - 1,41$ $b = a_0 + a_1 * UR_{min} + a_2 * \frac{n}{N} + a_3 * u_2 + a_4 * UR_{min} * \frac{n}{N} + a_5 * UR_{min} * u_2$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ETo_{(BC)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>UR_{min}</math> = Umidade relativa mínima diária (%);</li> <li>• <math>n</math> = Insolação (h);</li> <li>• <math>N</math> = Fotoperíodo (h);</li> <li>• <math>p</math> = Percentagem diária de horas de luz e varia em função da latitude e época do ano;</li> <li>• <math>a_0 = 0,8192</math>; <math>a_1 = -0,004092</math>; <math>a_2 = 1,0705</math>; <math>a_3 = 0,06565</math>; <math>a_4 = -0,005968</math>; <math>a_5 = -0,000597</math>;</li> </ul>
Camargo	$ETo_{(CA)} = R_T * T * K_f * ND$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ETo_{(CA)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>R^T</math> = Radiação solar extraterrestre (mm d<sup>-1</sup> de evapotranspiração equivalente);</li> <li>• <math>ND</math> = Número de dias do período analisado;</li> <li>• <math>T</math> = Temperatura do ar média (°C);</li> <li>• <math>K_f</math> = É um fator de ajuste que varia com a temperatura do ar média anual do local: <math>K_f = 0,01</math> para <math>T &lt; 23</math> °C; <math>K_f = 0,0105</math> para <math>T = 24</math> °C; <math>K_f = 0,011</math> para <math>T = 25</math> °C; <math>K_f = 0,0115</math> para <math>T = 26</math> °C; <math>K_f = 0,012</math> para <math>T &gt; 26</math> °C;</li> </ul>
Jensen - Haise	$ETo_{(JH)} = R_s * (0,0252 * T + 0,078)$ $ETo_{(JH)} = R_s * (0,025 * T_{med} + 0,08)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ETo_{(JH)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>R_s</math> = Radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (mm dia<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>T_{med}</math> = Temperatura diária média do ar (°C);</li> </ul>
Makkink	$ETo_{(MK)} = 0,61 * W * R_T - 0,12$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ETo_{(MK)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>W</math> = Fator de ponderação</li> </ul>



Método	Equação
Benavides – Lopez (BL)	$ET_{O(BL)} = 1,21 * 10 * \left( \frac{7,45 * T_{med}}{234,7 + T_{med}} \right) * (1 - 0,01 * UR) + 0,21 * T_{med} - 2,30$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ET_{O(BL)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>T_{med}</math> = Temperatura média do ar (°C);</li> <li>• UR = Umidade relativa do ar (%);</li> </ul>
Hamon (HA)	$ET_{O(HA)} = 0,55 * \left( \frac{N}{12} \right)^2 * \left( \frac{4,93e^{(0,062T_{med})}}{100} \right) * 25,4$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ET_{O(HA)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• N = Número de horas de brilho solar possíveis (fotoperíodo);</li> <li>• <math>T_{med}</math> = Temperatura média do ar (°C);</li> </ul>
Priestley & Taylor (PT)	$ET_{O(PT)} = \frac{\alpha \frac{(\Delta + \gamma)}{\gamma} * (R_n - G)}{\delta}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ET_{O(PT)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>\alpha</math> = Parâmetro de Priestley &amp; Taylor (1,26), adimensional;</li> <li>• <math>R_n</math> = Saldo de radiação, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;</li> <li>• <math>\Delta</math> = Declinação da curva de saturação do vapor da água, KPa °C<sup>-1</sup>;</li> <li>• <math>\gamma</math> = Constante psicométrica, KPa °C<sup>-1</sup>, adimensional;</li> <li>• <math>\delta</math> = Fluxo de calor latente (2,45 MJ Kg<sup>-1</sup>);</li> </ul>
Turc (TU)	$ET_{O(TU)} = a_t 0,013 * \left( \frac{T_{med}}{T_{med} + 15} \right) * \left( \frac{\frac{R_s}{0,0238846} + 50}{\gamma} \right)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ET_{O(TU)}</math> = Evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>T_{med}</math> = Temperatura média do ar (°C);</li> <li>• <math>R_s</math> = Radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>\gamma</math> = Calor latente de vaporização (2,45 MJ mm<sup>-1</sup>);</li> <li>• UR = Umidade relativa do ar (%);</li> <li>• <math>a_t</math> = Fator da umidade relativa.</li> </ul> <p>* Se a umidade relativa (UR) do ar for maior ou igual a 50%, <math>a_t = 1,0</math>, se não, calcula-se pela seguinte equação:</p> $a_t = 1 + \frac{50 - UR}{70}$
Linacre	$ET_o = \frac{500 * \left( \frac{T_{med} + 0,006 * h}{100 - \varphi} \right) + 15 * (T_{med} - T_{po})}{80 - T_{med}}$ $ET_o = \frac{J * \left( \frac{T_a - 0,006 * z}{100 - \varnothing} \right) + 15 * (T_a - T_o)}{80 - T_a}$ $T_{po} = \frac{237,3 * \log(e_a) - 156,8}{8,16 - \log(e_a)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• h = Altitude local (metros);</li> <li>• <math>\varphi</math> = Altitude em módulo (graus)</li> <li>• <math>T_{po}</math> = Temperatura média do ponto de orvalho (°C);</li> <li>• <math>e_a</math> = Pressão do valor atual;</li> <li>• z = Altitude (metros);</li> <li>• <math>T_a</math> = Temperatura média do ar (°C);</li> <li>• <math>\varnothing</math> = A latitude local (graus)</li> <li>• <math>T_o</math> = Temperatura em ponto de orvalho (°C);</li> <li>• J = Constante igual a 500 para uma vegetação e 700 para uma superfície com água livre, como um lago ou uma represa;</li> </ul>

Método	Equação
Kharrufa	$ET_o = 0,34 * p * T_{med}^{1,3}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• p = porcentagem do total do fotoperíodo e a temperatura do ar.</li> <li>• Tmed = temperatura média do ar</li> </ul>
Penman-Monteith	$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34\mu_2)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ET_o</math> = evapotranspiração de referência (mm/dia);</li> <li>• <math>R_n</math> =&gt; saldo de radiação (MJ/ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>G</math> =&gt; fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>T</math> =&gt; temperatura média diária do ar (°C);</li> <li>• <math>\mu_2</math> =&gt; velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>);</li> <li>• <math>e_s</math> =&gt; pressão de saturação do vapor média diária (KPa);</li> <li>• <math>e_a</math> =&gt; pressão atual de vapor média diária (KPa);</li> <li>• <math>\Delta</math> =&gt; declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>); e,</li> <li>• <math>\gamma</math> =&gt; constante psicométrica (KPa °C<sup>-1</sup>).</li> </ul>

Tabela 1 - Métodos para cálculo de evapotranspiração potencial

Fonte: Adaptado de Embrapa (2010)

A Controladora envia uma instrução ao Modelo indicando quais métodos matemáticos devem ser executados. Cada método foi implementado programaticamente no Modelo que também se encarrega da consulta dos dados meteorológicos em banco de dados. Estes dados correspondem aos parâmetros meteorológicos específicos à execução de método selecionado. Sobre cada conjunto de dados estima-se a  $ET_o$  e, posteriormente, os resultados obtidos são enviados à Controladora. Esta, por sua vez, envia-os ao Visualizador, para que este exiba as informações resultantes ao usuário.

Com vistas a obter parâmetros intermediários para estimativa da  $ET_o$ , os quais não estão presentes no conjunto de dados advindos das estações meteorológicas, foram implementados métodos auxiliares para obtenção desses parâmetros. Dessa forma, reduz-se o problema da redundância de código pertinente a diversos métodos utilizando as mesmas variáveis, criando classes com domínios mais específicos. O diagrama de sequência de execução para o método matemático de Hargreaves-Samani (1985) é apresentado na Figura 1.

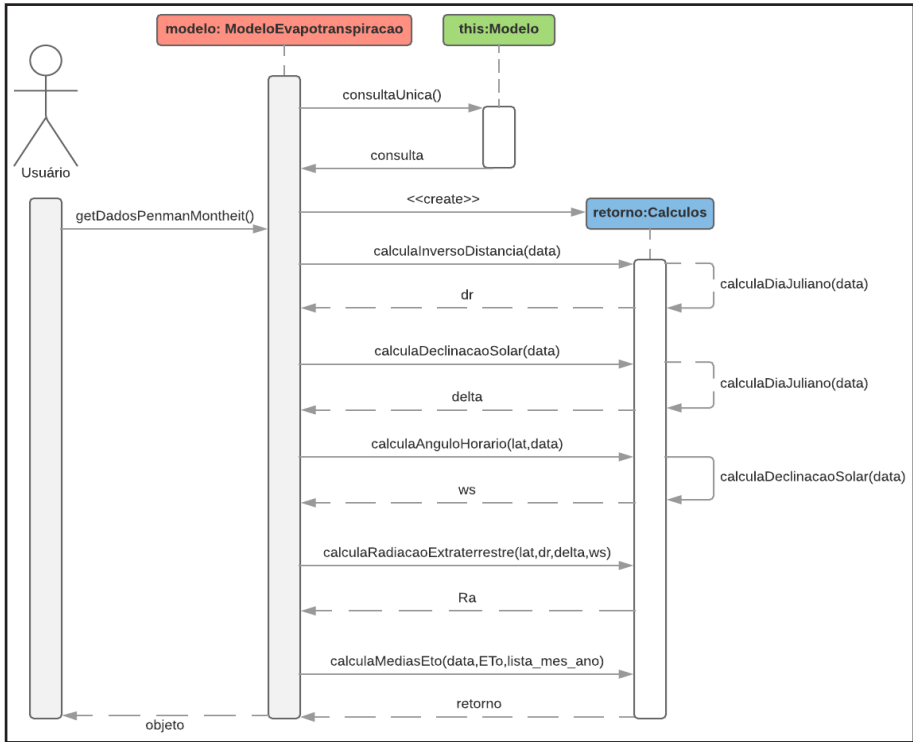


Figura 1 - Diagrama de sequência para o método de Hargreaves e Samani (1985)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A gerência de usuários foi implementada com o intuito de manter o controle de quem acessa o sistema, bem como informações sobre qual instituição está utilizando a aplicação. O gerenciamento de usuários opera baseado em uma política de níveis de usuário onde o nível de usuário logado é o nível com menor acesso e o de administrador maior. O maior nível herda as funções do menor. O administrador tem a função de manter o controle dos usuários, podendo restringir o acesso, excluir contas, se necessário, etc. O usuário logado poderá consultar os dados meteorológicos, além de aplicar os métodos matemáticos sobre os dados consultados, obtendo as estimativas de ETo para o período consultado. A leitura das coordenadas do banco de dados e inserção dos pontos no mapa são realizadas utilizando javascript.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para acessar a aplicação, é necessária a realização de um cadastro prévio que conterà algumas informações tais como nome, usuário, endereço eletrônico, senha e instituição, necessárias ao registro do usuário a aplicação. O acesso a aplicação pode ser realizado através do *link* <https://siambiental.ucs.br/intermediador/>. As informações para

cadastro de usuário podem ser visualizadas na Figura 2.

Intermediador

Cadastrar usuário

Nome

Usuário

Email

Senha

Instituição

Limpar Enviar

Figura 2 - Formulário de cadastro ao sistema

Fonte : Elaborado pelo autor.

A página de acesso à aplicação pode ser visualizada na Figura 3, onde o usuário deverá inserir suas informações de usuário e senha caso deseje utilizar do sistema.

Intermediador

Entrar no sistema

Usuário

Senha

Login

Figura 3 - Formulário de acesso ao sistema

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados das estações meteorológicas podem ser consultados através de um WebMapa, ilustrado na Figura 4, onde as estações são representadas por meio de pontos.



Figura 4 - WebMapa dispondo as estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao selecionar uma estação meteorológica (Figura 5), o usuário deverá inserir o período que deseja efetuar a pesquisa. Caso não existam dados armazenados no banco de dados para determinado período, uma consulta ao servidor remoto com parâmetros de requisição é realizada e o retorno é utilizado para atualizar os dados da estação meteorológica em banco.

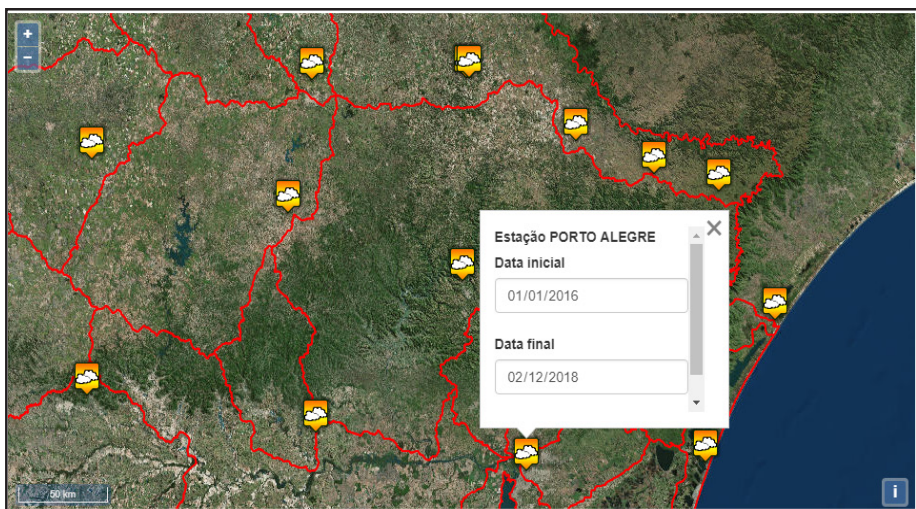


Figura 5 - Seleção do ponto correspondente a estação meteorológica do município de Porto Alegre - RS - período de análise: 01/01/2016 a 02/12/2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados meteorológicos, resultantes da consulta, são apresentados ao usuário, conforme ilustra a Figura 6. O usuário tem a opção de baixá-los no formato .csv, para posterior análise.

Data	Temperatu Mínima	Temperatu Máxima	Temperatu Média	Umidade Relativa Mínima	Umidade Relativa Máxima	Umidade Relativa Média	Radiação Solar	Pressão Atmosférica Mínima	Pressão Atmosférica Máxima	Velocidade do vento	Direção do vento	Ponto de Orvalho Mínimo	Ponto de Orvalho Máximo	Disponibilidade de água do sol	Precipitação
02/12/115.9	23.7	19.8	48	98	22.97	1003.9	1010.6	3	148	11.1	19.3	2.2			
01/12/119.2	27.3	23.25	69	98	12.14	999.1	1003.1	0.7	163	18.2	22.5	8.8			
30/11/121.6	28.8	25.2	59	98	17.11	998.7	1003.5	1.7	148	19.3	22.9	4.2			
29/11/120.2	31.3	25.75	54	97	26.03	1001	1006.9	3.2	130	19.7	22.8	0			
28/11/119.3	25.8	22.55	63	87	9.69	1005.8	1011.7	1.2	114	16.7	20.5	0			
27/11/117.4	26.6	22	60	90	24.06	1009.7	1014.3	3.4	113	14.9	19.5	0			
26/11/113.6	26.2	19.9	43	90	30.62	1012.2	1016.3	3.4	108	11.8	15.5	0			
25/11/117.4	25.9	21.65	47	95	28.03	1002.2	1011.3	3	135	12.9	20.7	0			
24/11/120.3	24.8	22.55	78	100	9.6	996.5	1003.7	0.5	256	19.2	22.5	56.6			
23/11/119.6	33	26.3	47	97	21.02	998.3	1004.5	2.6	136	18.8	23.3	0			
22/11/117.4	33.1	25.25	34	85	27.23	1003.2	1008.1	1.7	107	14.5	20.5	0			

Figura 6 - Dados meteorológicos consultados para a estação meteorológica do município de Porto Alegre - RS - período de análise: 01/01/2016 a 02/12/2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da consulta aos dados meteorológicos, o usuário deverá escolher, dentre os métodos matemáticos (Tabela 1), quais pretende executar para estimar a ETo. Caso o usuário selecione mais de um método matemático para estimar a ETo, o sistema insere os resultados em um arquivo .csv e este é disponibilizado para o usuário. No entanto, se apenas um método é selecionado, o sistema disponibiliza os resultados em uma tabela, conforme ilustrado na Figura 7.

Período analisado	Evapotranspiração (mm/dia)	Mês/Ano	Média diária mensal (mm/dia)	Meses	Média mensal (mm/mês)
02/12/18	5.55	Dezembro/2018	5.26	Dezembro	127.86
01/12/18	4.98	Novembro/2018	6.2	Novembro	162.84
30/11/18	5.47	Outubro/2018	5.13	Outubro	146.09
29/11/18	6.56	Setembro/2018	3.99	Setembro	116.66
28/11/18	5.36	Agosto/2018	3.18	Agosto	78.05
27/11/18	5.61	Julho/2018	2.52	Julho	75.18
26/11/18	6.39	Junho/2018	2.24	Junho	60.77

Figura 7 - Resultados de ETo para a estação meteorológica do município de Porto Alegre - RS - período de análise: 01/01/2016 a 02/12/2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após aplicar os métodos matemáticos sobre os dados consultados, são obtidos os

resultados para a ETo diária, ETo média diária mensal em milímetros por dia (mm/dia), e a Eto média mensal em milímetros por mês (mm/mês). A título de exemplo, a Figura 6 apresenta os resultados do cálculo da ETo diária, média diária mensal e média mensal, a partir do método de Penman-Monteith-FAO, para um período compreendido entre 01/01/2016 a 02/12/2018 tendo por base os dados da estação meteorológica do município de Porto Alegre – RS (dados disponíveis de 01/01/1965 a 03/12/2018).

O administrador poderá gerenciar os usuários através de uma tabela (Figura 8) contendo as informações cadastradas.

Id Usuário	Nome	Usuário	Email	Instituição	Situação
1	Usuário 1	User_1	user1@gmail.com	A	Ativo
2	Usuário 2	User_2	user2@gmail.com	B	Ativo
3	Usuário 3	User_3	user3@gmail.com	C	Ativo

Página 1 de 1 40

Figura 8 - Tabela de controle dos usuários cadastrados no sistema

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para controlar o acesso de determinado usuário a aplicação, o administrador poderá alterar a situação deste, a partir da tela de edição de informações do usuário, apresentada na Figura 9.

Intermediador

Editar usuários

Nome: Usuário 1

Usuário: User\_1

Email: user\_1@gmail.com

Instituição: A

Situação: Ativo (dropdown menu with options: Ativo, Desativo)

Limpar Enviar

Figura 9 - Formulário para edição de informações de usuários

Fonte: Elaborado pelo autor.



A possibilidade de aplicação de diversos modelos matemáticos para cálculo de evapotranspiração utilizando dados meteorológicos e sua disponibilização como um sistema web auxilia os pesquisadores evitando a necessidade de implementação de novos algoritmos para resolução de um método em específico. Assim, viabiliza a alocação do tempo anteriormente direcionado ao desenvolvimento de ferramentas computacionais específicas para diferentes métodos, para análises sobre os resultados fornecidos pelo sistema (GONÇALVES et al., 2009; PALARETTI et al., 2014; CRUZ, 2016; JÚNIOR et al., 2017).

O arquivo resultante do cálculo (arquivo em formato .csv) gerado com a utilização de mais de um método para estimativa de ETP permite, além disso, uma análise comparativa de diversos modelos, cuja relação e análise dos resultados gerados fica a critério do usuário. A disponibilização dos dados brutos e compilados em planilha eletrônica é um modo de aprimorar a aplicação de modelos desenvolvida, sendo pertinente a diversos trabalhos já desenvolvidos, nos quais foram aplicados múltiplos métodos de comparação (GONÇALVES et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2010; JÚNIOR et al., 2012; CHAGAS et al., 2013).

Entretanto, os usuários devem estar cientes das suposições e limitações completas antes de usar qualquer modelo ET nesta aplicação web. Quase todo modelo de ET contém suposições relacionadas às condições climáticas específicas sob as quais os modelos se aplicam. Por exemplo, alguns modelos assumem que os subprocessos relacionados a ET são insignificantes, enquanto outros modelos são apenas calibrados para o clima de uma região específica (ROSENBERRY et al., 2007; TABARI et al., 2013; GUO et al., 2016).

## 4 | CONCLUSÃO

O sistema proporcionou uma forma automatizada de efetuar o cálculo de ETo, a partir de diversos métodos matemáticos e para longos períodos de tempo. Devido ao nível de complexidade matemática de alguns métodos, o processo de estimativa de evapotranspiração tornar-se-ia inviável, em especial, quando os períodos de análise compreendem muitos anos ou ainda, quando não estão disponíveis alguns parâmetros. Como salienta Oliveira et al. (2010), devido a característica empírica presente em alguns métodos usados no cálculo de ETo, a obtenção dos resultados, por vezes, fica comprometida devido a indisponibilidade de determinados parâmetros meteorológicos a uma região. Com vistas a contornar esse problema, a aplicação dispõe de um número considerável de técnicas alternativas que se utilizam de diferentes parâmetros para calcular a ETo, tendo o usuário a opção de escolher qual técnica é mais adequada para seu estudo. Além disso, o sistema possui a opção de executar mais de um método concomitantemente, proporcionando uma forma prática ao usuário que deseja realizar análises.

O emprego do WebMapa possibilitou ao usuário maior facilidade no processo de

consulta dos dados meteorológicos. A partir de uma representação visual dos pontos climatológicos disponíveis, o usuário pode selecionar a estação meteorológica desejada e realizar a consulta pretendida. No tocante a gerência dos usuários, o sistema provê uma forma hierárquica de acesso aos recursos da aplicação. O administrador poderá excluir usuários de forma prática, bem como editar algumas informações cadastradas. O usuário, por sua vez, poderá efetuar diversas análises sobre os dados consultados, de acordo com sua necessidade.

A validação dos resultados vem sendo constantemente realizada, bem como a correção de possíveis erros. Além disso, vem sendo desenvolvido o estudo de técnicas atuais que proporcionem as melhorias à aplicação, tanto na usabilidade, quanto na disponibilização de novas funcionalidades, dentre elas a elaboração de gráficos e análises estatísticas e de desempenho dos métodos.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 299p.

AGRITEMPO. Agritempo: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>> .

BOOTSTRAP, T. Twitter bootstrap. 2013. Disponível em: <<http://getbootstrap.com>>.

BORGES JÚNIOR, João C. F. et al. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p.380-390, jan. 2012.

CANNAROZZO, L.V. Noto, F. Viola. **Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921–2000)** Phys. Chem. Earth, 31 (18) (2006), pp. 1201-1211

SMARTY TEMPLATE ENGINE. **Chapter 1. What is Smaty? Part I. Getting Started**. Disponível em: <<https://www.smarty.net/docs/en/what.is.smarty.tpl>>. Acesso em: 03 de Fev. de 2019.

DEBASTIANI, Carlos Alberto. **Definindo Escopo em Projetos de Software**. São Paulo: Novatec, 2015. 144 p.

ECLIPSE FOUNDATION. *Eclipse Process Framework*. Disponível em:<<https://www.eclipse.org/>>. Acesso em: 03 de Fev. de 2019.

EMBRAPA. Documentos 263 - **Evapotranspiração-Uma Revisão sobre os Métodos Empíricos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Arroz e Feijão Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2010.

ERMMASTER. **What is ERMaster?**. Disponível em: <<http://ermaster.sourceforge.net/>>. Acesso em: 03 de Fev. de 2019.

EVAPOTRANSPIRATION: MODELLING ACTUAL, POTENTIAL AND REFERENCE CROP EVAPOTRANSPIRATION. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/Evapotranspiration/index.html>>. Acesso em: 03 de Fev. de 2019.

FANAYA JÚNIOR, Eder Duarte et al. MÉTODOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA AQUIDAUANA, MS. **Irriga**, Botucatu, Sp, v. 17, n. 4, p.418-434, 02 out. 2012.

FEITOSA, D. G. et al. ARTIGO TÉCNICO SOFTWARE SMAI 2.0 PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA E HORÁRIA 1. [s. l.], [s.d.]. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br/smai>.

FOROUZAN B. A. Comunicação de Dados e Redes de Computadores. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

GONÇALVES, Fabrício Mota et al. COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE SOBRAL-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, Ce, p.1-8, 12 ago. 2009.

GOCIC, Milan; TRAJKOVIC, Slavisa. Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 71, n. 2, p. 158–162, 2010.

GUO, D., S. WESTRA, AND H. R. MAIER, An R package for modelling actual, potential and reference evapotranspiration, **Environ. Model. Software**, 78, 216–224, 2016.

HASAN, S.s.; ISAAC, R.k.. An integrated approach of MAS-CommonKADS, Model–View–Controller and web application optimization strategies for web-based expert system development. *Expert Systems With Applications*, [s.l.], v. 38, n. 1, p.417-428, jan. 2011. Elsevier BV.

JÚNIOR, Aderson Soares de Andrade. **AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO ESTADO DO PIAUÍ**. Teresina- Pi: Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, v. 11, n. 4, 10 ago. 2017. Issn 2526-7043.

LARMAN C. Utilizando UML e padrões: uma introdução à análise e ao projeto orientados a objetos e ao desenvolvimento iterativo. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LEITÃO, M. DE M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. DE; LEITÃO, T. J. V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação para duas regiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2007.

LIU, Z.F. YANG, B.S. CUI. **Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961–2006 in Yellow River Basin** China. *J. Hydrol.*, 361 (2008), pp. 330-338.

MAČEK, Urška; BEZAK, Nejc; ŠRAJ, Mojca. Reference evapotranspiration changes in Slovenia, Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 260–261, p. 183–192, 2018.

M. CANNAROZZO, L.V. Noto, F. Viola. **Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921–2000)** *Phys. Chem. Earth*, 31 (18) (2006), pp. 1201-1211

MICHAHON, T.A., PEEL, M.C., LOWE, L., SRIKANTHAN, R., MCVICAR, T.R.. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrol. Earth Syst. Sc.** 17 (4), 1331–1363, 2013.

MCVICAR, T.R., KÖRNER, C. On the use of elevation, altitude, and height in the ecological and climatological literature. **Oecologia** 171 (2), 335–337, 2013.

MENDONÇA, J.C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

MOURA, Ada Ravana Costa et al. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco - Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], 2013.

OLIVEIRA, Gertrudes Macario de et al. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO NORTE DA BAHIA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, Ce, v. 4, n. 2, p.104-109, 12 jun. 2010.

OPENLAYERS. **Basic Concepts**. Disponível em: <<https://openlayers.org/en/latest/doc/tutorials/concepts.html>>. Acesso em: 03 de Fev. de 2019.

PAIVA, C. M. de S.; PINHEIRO, A. da S. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo da irrigação. Anuário do Instituto de Geociências, v. 39, n. 1, p. 42-51, 2016.

PALARETTI, Luiz F.; MANTOVANI, Everardo C.; SEDIYAMA, Gilberto C.. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em regiões citricolas paulistas. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.38-47, fev. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

PEREIRA, D. dos R. et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, dez. 2009.

PILAU et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n.2, p.283-290, fev. 2012.

PHP: Hypertext Preprocessor. 1995. Disponível em: <<http://php.net/>>.

PHP: What is PHP ?. Disponível em: <[https://secure.php.net/manual/pt\\_BR/intro-what-is.php](https://secure.php.net/manual/pt_BR/intro-what-is.php)>. Acesso em: 03 de Fev. de 2019.

PHP: What can PHP do ?. Disponível em: <[https://secure.php.net/manual/pt\\_BR/intro-whatcando.php](https://secure.php.net/manual/pt_BR/intro-whatcando.php)>. Acesso em: 03 de Fev. de 2019.

POSTGRESQL. **What is PostgreSQL ?**. Disponível em: <<https://www.postgresql.org/about/>>. Acesso em: 03 de Fev. de 2019.

ROSENBERRY, D.O., WINTER, T.C., BUSO, D.C.LIKENS, G.E. 2007, Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA, **Journal of Hydrology**, vol. 340, no. 3, pp. 149-166.

SCHACH S. R. Engenharia de Software: Os Paradigmas Clássico e Orientado a Objetos. 7. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2009.

SOMMERVILLE I. Engenharia de Software. 8. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2007.

SOMMERVILLE I. Engenharia de Software. 9. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011.

SULEIMAN, A. A.; HOOGENBOOM, G. Comparison of Priestley-Taylor and FAO-56 Penman-Monteith for daily reference evapotranspiration estimation in Georgia. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.33, n.2, 175-182. 2007.

TABARI, H., GRISMER, M.E.TRAJKOVIC, S., Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions, **Irrigation Science**, vol. 31, no. 2, pp. 107-117., 2013.

WANG, H. LIU, L. ZHANG, R. ZHANG **Climate change trend and its effects on reference evapotranspiration at Linhe Station, Hetao Irrigation District** *Water Sci. Eng.*, 7 (3) (2014), pp. 250-266.

YANG, Q. LIU, B. Cui **Spatial distribution and temporal variation of reference evapotranspiration during 1961–2006 in the Yellow River Basin** *China. Hydrol. Sci. J.*, 56 (6) (2011), pp. 1015-1026

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Água 9, 11, 12, 19, 21, 22, 23, 30, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 77, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 117, 118, 126, 127, 128, 129, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 146, 148, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 197, 198, 199, 202, 204, 205, 218, 227, 245

Água pluvial 52, 55, 58, 98, 102, 103, 107, 245

Água potável 9, 52, 53, 55, 89, 91, 98, 99, 103, 107, 185, 186

Água residual artificial 118

Águas subterrâneas 99, 126, 128, 129, 131, 136, 137, 138, 144, 145, 146

Água subterrânea 126, 127, 128, 135, 136, 139, 140, 142, 146

Aproveitamento de água de chuva 56, 59, 60, 98, 99, 101, 108, 245

Atividade floculante 117, 118

Automatização 198

Avaliação de risco 185

### B

Bacia hidrográfica 1, 2, 3, 5, 8, 9, 11, 12, 17, 18, 23, 148, 150, 186, 194

Bacteriología 109

### C

Captação pluvial 48, 50, 55, 56, 57

Carga orgânica 148, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Contaminación del agua 172, 175

Coronavírus 233, 234, 235, 242

### D

Desempenho 18, 61, 72, 96, 157, 200, 201, 213, 214, 215

Desenvolvimento urbano 3, 6, 31, 35, 37, 38, 39, 41, 44, 51

Distribuição de água 9, 75, 86, 88, 89, 91, 129, 188

Drenagem urbana 19, 47, 48, 49, 53, 57, 58, 60

### E

Educação ambiental 54, 217, 218, 219, 220, 225, 226, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235,

236, 237, 243

Esgotamento sanitário 9, 12, 61, 65, 148, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 218

Evapotranspiração 198, 199, 200, 203, 204, 205, 206, 212, 213, 214, 215

## **I**

Indicador de revisão tarifária 61

Infraestrutura 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 96, 148, 150, 194

Inundações 12, 16, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56

## **L**

Legislação 3, 4, 6, 10, 21, 22, 30, 31, 38, 48, 54, 55, 56, 57, 63, 127, 234

## **M**

Medio ambiente 116, 172

Método GOD 126, 128, 130, 132, 133, 135, 136

Microbacia 160, 161

Modelagem computacional 137, 138, 140, 145

Monitoramento 17, 35, 37, 41, 43, 44, 58, 70, 128, 140, 148, 151, 155, 159, 161, 185, 187, 189, 192, 195, 196, 201, 213

## **P**

Perdas de água 88, 91, 92, 94, 96, 97

Porcentagem de remoção 117, 118

## **Q**

Qualidade de água 148, 151, 156, 157

## **R**

Recursos hídricos 3, 17, 22, 30, 40, 51, 57, 58, 59, 73, 88, 89, 90, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 126, 127, 135, 136, 145, 149, 150, 156, 158, 159, 173, 176, 184

Regulação econômica financeira 61

Relações ecológicas 233, 234, 235, 236, 240, 241, 242

## **S**

Salud pública 109, 116, 172, 174

Saneamento 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 32, 39, 61, 62, 63, 66, 69, 70, 72, 73, 92, 96, 97, 126, 128, 148, 150, 151, 152, 157, 158, 159, 185, 186, 187

Software livre 185, 188

Sustentabilidade 19, 26, 31, 33, 34, 37, 38, 39, 43, 44, 60, 61, 62, 63, 64, 69, 72, 96, 97, 98, 108, 220, 222, 223, 224, 245



## **U**

Urbanização 1, 3, 4, 6, 7, 12, 17, 18, 23, 48, 49, 57, 59, 219, 220, 232

Uso e ocupação do solo 3, 6, 17, 21, 31, 34, 35, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 126

## **V**

Vulnerabilidade ambiental 126, 127

## **W**

Web service 185, 186

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

[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) 

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

[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) 