



EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

DANIEL SANT'ANA
(ORGANIZADOR)



EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

DANIEL SANT'ANA
(ORGANIZADOR)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

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

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

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

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

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

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

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

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

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

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

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

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

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

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Evolução do conhecimento científico na engenharia ambiental e sanitária

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

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

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária. I. Sant'Ana, Daniel (Organizador). II. Título.
CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

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

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

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

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

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

Paloma Arrué Burillo

Antonio Manuel Romero Sedó

Jorge García-Serra García

Vicent B. Espert Alemany

Román Ponz Carcelén

DOI 10.22533/at.ed.7712026101

CAPÍTULO 2..... 15

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

José Pérez-Padillo

Pilar Montesinos Barrios

Emilio Camacho Poyato

Juan Antonio Rodríguez Díaz

Jorge Pérez Lucena

Jorge García Morillo

DOI 10.22533/at.ed.7712026102

CAPÍTULO 3..... 28

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

Alessandro de Araújo Bezerra

Renata Shirley de Andrade Araújo

Marco Aurélio Holanda de Castro

DOI 10.22533/at.ed.7712026103

CAPÍTULO 4..... 37

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

Lucas de Bona Sartor

Taciana Furtado Ribeiro

Camila Caroline Branco

Mariáh de Souza

Lais Sartori

Bruna da Silva

DOI 10.22533/at.ed.7712026104

CAPÍTULO 5..... 48

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

Jesuéte Bezerra Pachêco

José Carlos Martins Brandão

Carlos Henke de Oliveira

Carlos Hiroo Saito

DOI 10.22533/at.ed.7712026105

CAPÍTULO 6..... 67

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

Flávia Rebelo Mochel

Luís Alfredo Lopes Soares *in memoriam*

Paulo Roberto Saraiva Cavalcante

DOI 10.22533/at.ed.7712026106

CAPÍTULO 7..... 86

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

Paloma Paiva Santiago

Laiane Maria Costa Lima

Leticia Soares Sousa

Marina Andrade Costa

Leticia Penha de Vasconcelos

DOI 10.22533/at.ed.7712026107

CAPÍTULO 8..... 94

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

Vitoria Rovel da Silveira

Gabriel Borges dos Santos

Marlon Heitor Kunst Valentini

Henrique Sanchez Franz

Victória Huch Duarte

Larissa Aldrighi da Silva

Denise dos Santos Vieira

Beatriz Muller Vieira

Diuliana Leandro

Willian Cezar Nadaleti

Bruno Müller Vieira

DOI 10.22533/at.ed.7712026108

CAPÍTULO 9..... 106

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

Eduardo Jorge de Oliveira Motta

Camilo Cavalcante de Souza

Renan Loureiro Xavier Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.7712026109

CAPÍTULO 10..... 120

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

Marcos Antônio Silva do Nascimento

Antonio José de Araújo Ferreira
DOI 10.22533/at.ed.77120261010

CAPÍTULO 11..... 135

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

Marise Teles Condurú
José Almir Rodrigues Pereira
João Diego Alvarez Nylander
Rafaela Carvalho da Natividade

DOI 10.22533/at.ed.77120261011

CAPÍTULO 12..... 146

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

Ruan Henrique Barros Figueredo
Vinícius Navarro Varela Tinoco
Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes
Brenno Dayano Azevedo da Silveira
Almir Mariano de Sousa Junior

DOI 10.22533/at.ed.77120261012

CAPÍTULO 13..... 155

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

José Vicente Duque dos Santos
Edson Barboza Pires
Yuri Sotero Bomfim Fraga

DOI 10.22533/at.ed.77120261013

CAPÍTULO 14..... 167

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

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk
Maria Eugenia Gimenez Boscov

DOI 10.22533/at.ed.77120261014

CAPÍTULO 15..... 178

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

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk
Gabrielle Sthefanine Silva Azevedo
Leandro Rangel Corrêa
Elisabeth Ritter

DOI 10.22533/at.ed.77120261015

CAPÍTULO 16..... 189

UTILIZAÇÃO DE OZÔNIO COMBINADO COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO PARA O

TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Jandira Leichtweis

Siara Silvestri

Nicolý Welter

Mariana Islongo Canabarro

Keila Fernanda Hedlund Ferrari

Elvis Carissimi

DOI 10.22533/at.ed.77120261016

CAPÍTULO 17..... 199

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

Winkler José Pinto

André Batista de Negreiros

DOI 10.22533/at.ed.77120261017

SOBRE O ORGANIZADOR..... 213

ÍNDICE REMISSIVO..... 214

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

Data de aceite: 01/10/2020

Fecha de submissão: 01/07/2020

José Pérez-Padillo

Universidad de Córdoba (UCO), Escuela
Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y
de Montes (ETSIAM)
Córdoba – España

Pilar Montesinos Barrios

Universidad de Córdoba (UCO), Escuela
Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y
de Montes (ETSIAM)
Córdoba – España

Emilio Camacho Poyato

Universidad de Córdoba (UCO), Escuela
Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y
de Montes (ETSIAM)
Córdoba – España

Juan Antonio Rodríguez Díaz

Universidad de Córdoba (UCO), Escuela
Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y
de Montes (ETSIAM)
Córdoba – España

Jorge Pérez Lucena

Empresa Provincial Aguas de Córdoba
(EMPROACSA).
Córdoba – España

Jorge García Morillo

Universidad de Córdoba (UCO), Área de
Ingeniería Hidráulica, Departamento de
Agronomía, EPSB
Córdoba – España

RESUMEN: El trabajo asociado a la gestión de redes de suministro de agua genera una ingente cantidad de datos, que históricamente se ha venido recogiendo y archivando en formatos tradicionales, lo cual dificulta el uso diario de la información por parte de los técnicos que gestionan estos sistemas. Por esta razón los Sistemas de Información Geográfica (SIG), al combinar la información geográfica con la información alfanumérica, se han convertido en un elemento clave en el proceso de digitalización de las infraestructuras de distribución de agua. Así mismo, la generación del modelo hidráulico del sistema de distribución de agua, (SDA) y su vinculación con el SIG, convierte al binomio SIG-modelo hidráulico en el motor de cualquier herramienta de apoyo a la gestión de estos sistemas, que conectada a una aplicación para dispositivos móviles (APP), facilita enormemente las tareas de operación y mantenimiento de los SDA. Se presenta una metodología basada en software libre para la digitalización, modelización y toma de decisiones operativas sobre las infraestructuras hidráulicas de las empresas de abastecimiento. Esta metodología se ha aplicado a la red de abastecimiento en alta que gestiona la Empresa Provincial de Aguas de Córdoba (EMPROACSA).

PALABRAS CLAVE: Modelación hidráulica, Sistemas de información geográfica, aplicaciones para dispositivos móviles.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL SUPPORT AS A BASIS FOR AN SMART MANAGEMENT SYSTEM FOR WATER SUPPLY NETWORKS

ABSTRACT: The work associated with the management of water supply networks generates an enormous amount of data, which has historically been collected and recorded in traditional formats, making difficult the use of this information for the technicians who manage these systems. For this reason, Geographic Information Systems (GIS), which combine geographic information with alphanumeric information, have become a key element in the process of digitizing water distribution infrastructures. Likewise, the generation of the hydraulic model of the water distribution system (SDA) and its connection to the GIS makes the GIS-hydraulic model binomial the engine of any support tool for the management of these systems. All of this connected to an application for mobile devices (APP), greatly facilitates the operation and maintenance tasks of the SDA. A methodology based on free software is presented for the digitalisation, modelling and operational decision making on the hydraulic infrastructures of the water supply companies. This methodology has been applied to the transmission water supply network managed by the Provincial Water Company of Cordoba (EMPROACSA).

KEYWORDS: Hydraulic simulations, geographical information systems, mobile applications.

1 | INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible del agua se ha convertido en una cuestión crítica para el futuro del planeta, teniendo en cuenta que el cambio climático avanza y ciertos países sufren periodos de sequía prolongados (Vargas y Paneque, 2018) lo que provoca alteraciones en la disponibilidad y el reparto del recurso para los distintos usos.

Los modelos de gestión de sistemas de distribución de agua (SDA) tienen como principal objetivo realizar un uso eficiente de los recursos hídricos, así como reducir los costes derivados de dicha gestión. Estos modelos pueden integrar avances tecnológicos que abarcan desde la modelización hidráulica, la geolocalización de los elementos del SDA, la sensorización de las variables clave de operación (Sadler y col, 2016; Puig y col., 2017), redes de comunicación y almacenamiento de datos en la nube.

El proceso de digitalización del sector del suministro de agua se ha acelerado en los últimos años con la adopción de tecnologías disruptivas que están cambiando los modelos de negocio predominantes durante décadas. Los sistemas de información geográfica (SIG), que aúnan información geográfica e información alfanumérica en formato digital, se han convertido en una herramienta imprescindible para las empresas/asociaciones que gestionan SDAs (Abdelbaki y col., 2016). El proceso de digitalización se completa integrando toda la información disponible sobre el SDA en un modelo hidráulico que permita calcular las principales variables hidráulicas en cualquier punto del sistema. Los modelos hidráulicos simulan el comportamiento de un SDA ante distintos escenarios de operación, facilitando la toma de decisiones (Machell y col., 2010).

Hoy en día existen diferentes tipos de sistemas de apoyo a la toma de decisiones, SSD (Caballero, 2008). Pero la mayoría de ellos se basan en un solo factor de los muchos

que intervienen en el proceso de gestión: demandas, presiones, caudales circulantes, fugas, etc. Para lograr una gestión óptima de un SDA es necesario desarrollar SSDs basados en el análisis conjunto de los distintos factores que afectan a la gestión de estos sistemas (Gonzalez Perea y col., 2017). Así el SSD ideal debe basarse en el modelo hidráulico del SDA, calibrado y georreferenciado, incluyendo sus reglas de operación. Los inputs principales de este SSD son la información almacenada en su SIG y los datos en tiempo real procedentes de una red de sensores.

Por ello, se propone una metodología que aborde de forma eficiente las primeras fases del desarrollo del SSD. El procedimiento se basa en el uso de software libre, que permita crear el SIG y vincularlo al modelo hidráulico de un SDA, para su uso práctico mediante una APP. Este procedimiento se ha aplicado a la red de abastecimiento en alta de la Empresa Provincial de Aguas de Córdoba (EMPROACSA), aunque puede aplicarse a redes de mayores dimensiones y complejidad.

2 I METODOLOGÍA

El procedimiento de digitalización de SDAs parte de la georreferenciación de todos los elementos que integran estos sistemas, así como su correspondiente caracterización (Poorazizi y Alesheikh, 2008; Mohammed, 2014). Para ello se utiliza la cartografía e información disponible complementándola con salidas a campo para verificar, actualizar y completar la información que se almacenará en un SIG. En este trabajo se ha optado por la utilización del software libre “Qgis” (Anón, 2002).

A partir de esta información y las características hidráulicas de todos los elementos del SDA, es posible la obtención del correspondiente modelo hidráulico mediante el software libre “EPANET” (Rossman, 2000), en el que se introducirán las reglas de operación del SDA. El modelo hidráulico proporciona la distribución de caudales y presiones en cualquier punto de la red, lo que permite estudiar el comportamiento de la red ante distintos escenarios de operación y demanda de agua.

Para facilitar la interacción entre técnicos y operarios se ha adaptado la APP libre “Google My Maps” (Anón, 2007) (Figura 1). Esta APP permite al operario de campo la consulta del SIG del sistema, previamente desarrollado en Qgis, y enviar a los técnicos encargados de la gestión del SDA los cambios que se introduzcan en el SDA (por ejemplo, sustitución de elementos, cambio de estado de una válvula, reparación de una fuga, etc.) y así mantener el SIG permanentemente actualizado.

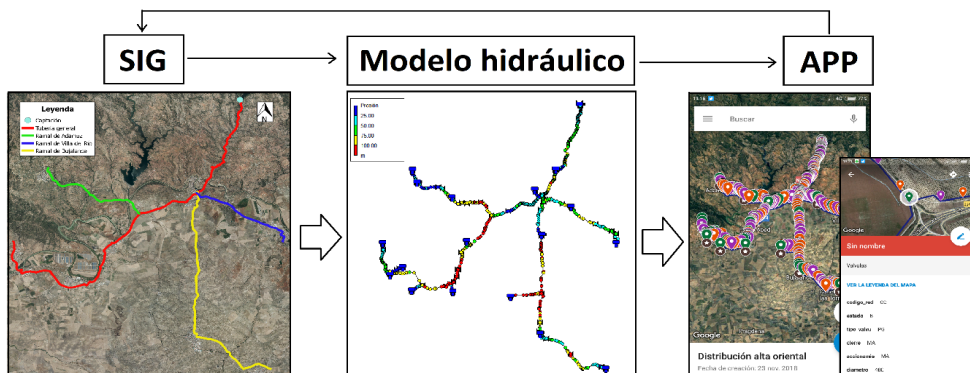


Figura 1. Metodología de digitalización y procesado de la información.

Este procedimiento se caracteriza por el uso exclusivo de software libre en todas las etapas del mismo (Qgis, EPANET y Google My Maps). El coste de implantación es, básicamente, un coste laboral lo que facilita su utilización en empresas del sector del suministro urbano con pocos recursos dedicados a I+D. Así mismo, hay que tener en cuenta que no son softwares diseñados *ex profeso* para la gestión del abastecimiento de agua, por lo que su aplicación debe adaptarse a sus funciones predeterminadas.

El elemento clave del procedimiento expuesto radica en el uso de una base de datos dinámica. Esta se actualiza constantemente incorporando los cambios propios de cualquier infraestructura hidráulica. Por tanto, se evita la obsolescencia prematura de este tipo de procedimientos, los cuales requieren un considerable esfuerzo para su puesta en marcha. Por todo ello, se ha automatizado la generación del modelo hidráulico en función de los datos SIG introducidos en el sistema, usando el plugin “G-Hydraulic” de Qgis (Caballero y col., 2016). Para completar el ciclo, se ha adaptado una plataforma de representación cartográfica basada en información almacenada en la nube, Google My Maps (GMM) (Palen y col., 2015; Taylor y col., 2015) para dotar de toda la información disponible a los operarios de campo y para transmitir de forma inmediata los cambios en el SDA al técnico de gestión.

A continuación, se describen las etapas del proceso de digitalización de un SDA, desde la creación de la base de datos dinámica sobre soporte SIG hasta la creación de la APP para el uso de los operarios de campo.

2.1 Generación de la base de datos

La creación de la base de datos dinámica se ha basado en un SIG, debido a la componente geográfica que poseen todos los elementos del sistema. Los SIG posibilitan la consulta de datos asociados a elementos georreferenciados sobre el terreno ya que almacenan información en capas temáticas. De este modo se facilita la creación de estadísticas e informes sobre el estado y el funcionamiento de la red hidráulica.

Según Google Trends, Qgis es el SIG libre de referencia en los últimos años debido a la existencia de una comunidad de desarrolladores activa que mejoran continuamente el programa y de plugins que completan el software con funciones específicas. Otras funciones destacadas son la posibilidad de análisis espaciales con GRASS (Neteler y col., 2012) y la diversidad de herramientas existentes de edición topológica. Por ello, se ha considerado que Qgis es adecuado para su utilización en la metodología propuesta.

Una vez realizada la primera fase de toma de datos en gabinete y en campo con GPS, se exporta la información mediante formato shapefile al sistema de información geográfica Qgis. De este modo se crea una nube de puntos en un entorno SIG fácilmente manejables. El siguiente paso será asignarle un elemento a cada uno de los puntos marcados con GPS (ventosas, desagües, captaciones, conducciones, válvulas, bombeos, depósitos o contadores). A cada elemento se le asignan sus características hidráulicas recopiladas tanto en gabinete como en las visitas de campo. De esta forma se ubica cada elemento en el territorio mediante sus coordenadas y se le asocian sus características para posibles consultas futuras. Para completar el proceso, se ha añadido una fotografía de cada elemento para tener una idea del estado en que se encuentra actualmente. Una vez identificados todos los elementos de la red se procede a la digitalización de las conducciones. Con el objetivo de evitar errores a la hora de realizar el modelo hidráulico es necesario realizar una corrección topológica de todos los elementos que forman la red, haciendo especial hincapié en los elementos duplicados y en las geometrías no válidas. Para realizar estas tareas es necesario apoyarse en el comprobador de topología de Qgis. Es importante realizar esta fase de forma minuciosa debido a la gran cantidad de puntos a analizar. Para concluir el proceso de caracterización del SDA, se verifica toda la información almacenada en el SIG con los técnicos gestores para minimizar los posibles errores derivados del gran volumen de datos que se manejan.

2.2 Generación del modelo hidráulico

La distribución de presiones y caudales circulantes en las redes de abastecimiento de agua depende de las condiciones de carga del sistema en cada instante. El conocimiento anticipado de la variabilidad de presiones en los nudos y de caudales en las conducciones permite tomar las decisiones oportunas evitando problemas de servicio a los usuarios. Por ello, surge la necesidad de tener un modelo matemático actualizado del sistema que reproduzca fielmente sus condiciones reales de operación.

A partir de la caracterización geométrica (longitud y diámetro de tuberías, ubicación de las válvulas y bombas, etc.) e hidráulica (material, rugosidad, coeficiente de pérdidas de carga en válvulas, etc.) del SDA en soporte SIG se ha establecido el procedimiento de generación del modelo hidráulico de un SDA desarrollado en entorno EPANET. Este software permite simular el funcionamiento del sistema para ciertas condiciones de carga tanto en régimen permanente, como a lo largo de un determinado periodo de tiempo (periodo extendido).

Se ha utilizado el complemento GHydraulics de Qgis, que permite la exportación de la geometría del SDA en formato (.inp), legible por EPANET. GHydraulics crea nodos ficticios en el modelo hidráulico de forma automática para poder convertir los elementos representados con un punto en el SIG en elementos lineales en el modelo hidráulico.

Una vez exportada la geometría de la red con GHydraulics es necesario completar el modelo desde EPANET, proporcionando la demanda base de cada uno de los puntos de consumo con sus patrones de demanda, las reglas de operación de los bombeos y los depósitos, el estado de las válvulas (abiertas/cerradas) y las curvas características de cada bomba instalada en el SDA. Por último, se ejecuta EPANET para reproducir el escenario de operación correspondiente a los datos introducidos y detectar posibles fallos antes de continuar con el proceso de digitalización.

2.3 Aplicación para dispositivos móviles

La base de datos del SDA sobre soporte SIG debe actualizarse constantemente incorporando información sobre cambios en el sistema (nuevos tramos, cambios en el diámetro y material de tuberías, introducción de nuevos elementos en el sistema, cambios en las reglas de operación, etc...).

Ante la necesidad de aportar información detallada sobre cada elemento de la red a los operarios, de forma práctica para el trabajo diario, se ha adaptado la aplicación móvil Google My Maps, a los objetivos de este trabajo. GMM es un servicio gratuito de Google que permite crear y editar mapas de forma personalizada (Quirós y Polo, 2018) enlazándolos con Google Drive, para mantener los datos en la nube, y poder compartir la información entre distintos usuarios. Esta APP permite a los operarios de campo consultar las características de los elementos que forman el SDA y enviar al gestor del binomio SIG-modelo hidráulico un aviso online de cambios en el sistema (ocurrencia de averías, reparaciones, etc.) para que actualice la información de la base de datos. El gestor analizará la información recibida antes de actualizar la base de datos (figura 2).

Las funciones de esta APP son:

- Acceso desde cualquier dispositivo móvil con conexión a internet a la base de datos del SDA.
- Jerarquía de permisos para acceder a la información (consulta y/o permiso para editar).
- Escoger el tipo de mapa base que mejor se adapte a la consulta a realizar (político, relieve o satélite).
- Activar o desactivar capas para mejorar la visibilidad del mapa. Cada capa recoge la ubicación e información de los elementos de un mismo tipo. Es decir, habrá tantas capas como tipos de elementos tenga el sistema. Cada una de estas capas se pueden representar con un icono y color distinto, mejorando así la lectura del mapa.

- Trabajar online/offline en función de las circunstancias. Cuando se trabaja sin conexión a internet, los mapas tendrán poca o nula resolución, pero se sigue teniendo acceso a las características de los elementos.
- Enlazar fotografías almacenadas en Drive con la tabla de atributos para visualizar las imágenes de los elementos.
- Guiado con GPS hasta cualquier elemento del SDA con Google Maps.

La figura 2 muestra las conexiones entre los operarios y técnico SIG-modelo y el flujo de información entre la base de datos y la APP. Es un circuito cíclico. La idea principal es que los trabajadores de campo, que son las personas que mejor conocen la ubicación y el estado de las infraestructuras hidráulicas, adviertan de errores o modificaciones en la información existente en la base de datos. En este procedimiento es imprescindible contar con un técnico SIG-modelo hidráulico que esté capacitado para verificar y filtrar la información antes de introducirla definitivamente en el sistema.

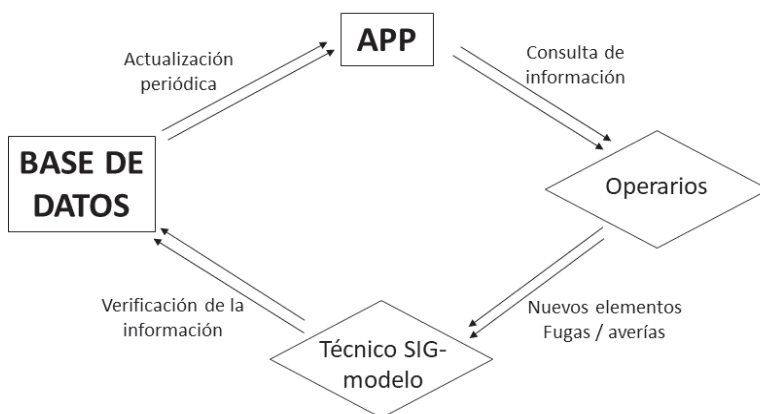


Figura 2. Conexión base de datos – APP.

3 | APLICACIÓN

3.1 Zona de estudio

La metodología propuesta se ha implantado en el Sistema Oriental, SO, de la red de abastecimiento en alta de la empresa provincial de aguas de Córdoba (EMPROACSA). Este SDA se sitúa en la zona Este de la provincia de Córdoba, lindando al Norte con Sierra Morena y al Este con la provincia de Jaén. Abarca una superficie aproximada de 600 km² y abastece a un total de 10 pueblos del Valle del Guadalquivir (Figura 3).

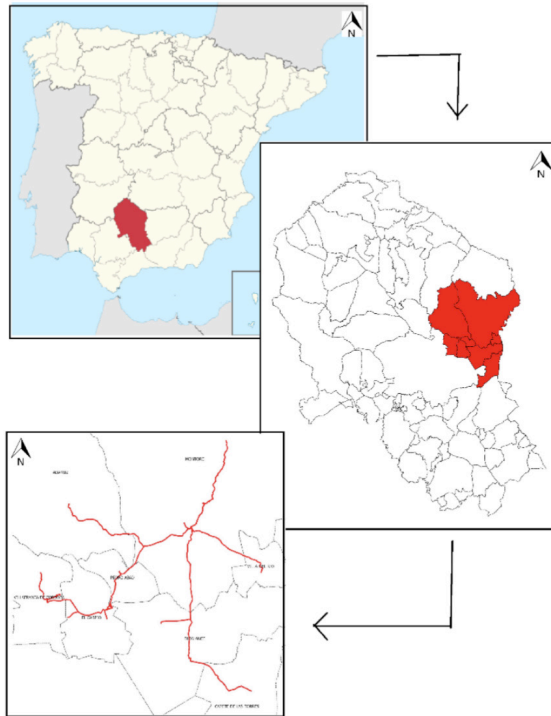


Figura 3. Ubicación de la red de abastecimiento propia de estudio.

Este sistema se abastece únicamente del embalse Martín Gonzalo y tiene una única planta de tratamiento de agua potable, ETAP, con 25.920 m³/día de capacidad para abastecer a una población de 44.200 habitantes. Teniendo en cuenta las variaciones mensuales de población, la demanda media de agua por habitante en la zona abastecida por el SO es de 250 l/hab·día y el consumo medio anual en los distintos municipios oscila entre los 12.733 m³ /año de Morente hasta los 681.572 m³/año de Bujalance.

3.2 Determinación del tiempo máximo de reparación de averías

Un caso de aplicación de esta metodología es el cálculo del tiempo máximo de reparación de averías (TMR), periodo de tiempo desde el inicio del fallo hasta que el usuario más restrictivo no pueda satisfacer sus demandas debido a la incidencia. Este concepto es la base para organizar y gestionar los recursos necesarios para resolver el problema.

Para el caso de estudio de la red de abastecimiento en alta de EMPROACSA, se ha considerado la ocurrencia de una fuga en la tubería general que afecta a cuatro poblaciones, centrando el análisis en los depósitos de suministro de dichos municipios. Una vez detectada la fuga por el operario de campo, se transmite la incidencia a través de la APP para informar a los técnicos gestores del sistema. Estos actualizan el modelo con datos del estado de la red, creando un escenario que se asemeje lo máximo posible a la

situación real. Tras ejecutar el análisis hidráulico se obtendrán las curvas de evolución a lo largo del tiempo de cada uno de los depósitos implicados en la incidencia. El conocimiento sobre la variación de la lámina de agua del depósito a lo largo del tiempo es fundamental para calcular el TMR, es decir, el periodo de tiempo comprendido entre la detección de la fuga, y el momento en el que el depósito más restrictivo queda sin agua.

Si los depósitos no se encuentran a su nivel máximo en el momento de la incidencia, solo hay que conocer el nivel inicial y desplazar la curva de evolución para recalcular el tiempo máximo hasta vaciarse (Figura 4). El TMR vendrá definido por el punto de corte de la curva de evolución temporal del nivel del depósito con el eje de tiempo. El nivel inicial de los depósitos implicados en la incidencia es un factor que condiciona el valor del TMR de cada depósito. Es necesario, conocer el estado de la red (input) en el momento de la fuga para obtener curvas realistas de la posible evolución de los depósitos si se mantiene la demanda (output).

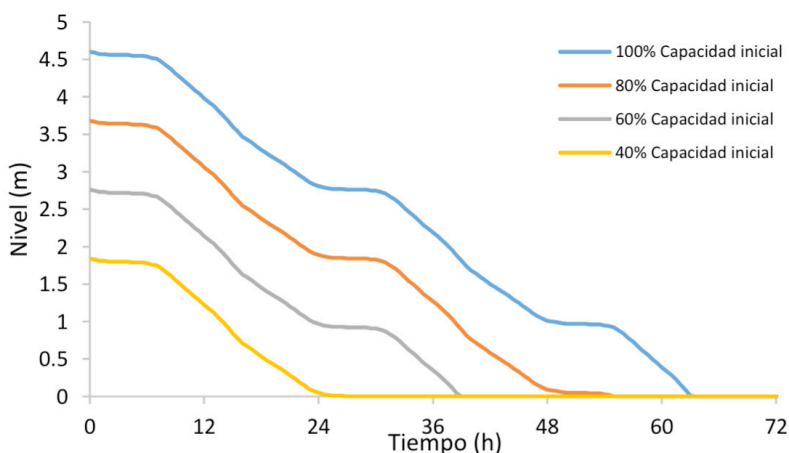


Figura 4. Evolución del nivel de un depósito en función del nivel inicial.

El modelo hidráulico permite conocer la evolución de los niveles de los depósitos a lo largo del tiempo (análisis de EPANET en periodo extendido) y por tanto, el tiempo que tarda en vaciarse cada depósito cuando falla el suministro, si no hay cambios en la demanda de la población a la que abastece. Por ello, para simular con rigor las condiciones de trabajo del sistema, es fundamental que la base de datos esté actualizada. La figura 5 muestra la localización de los depósitos y la evolución a lo largo del tiempo del nivel de los mismos desde el corte de suministro. Para este caso de estudio se ha partido de una hipótesis favorable considerando que los cuatro depósitos afectados se encuentran a su máxima capacidad cuando se produce la incidencia.

El TMR que se enviará al técnico de campo a través de la APP será el del depósito más restrictivo, según el criterio que se defina (por ejemplo, menor tiempo en vaciarse y mayor número de habitantes afectados).

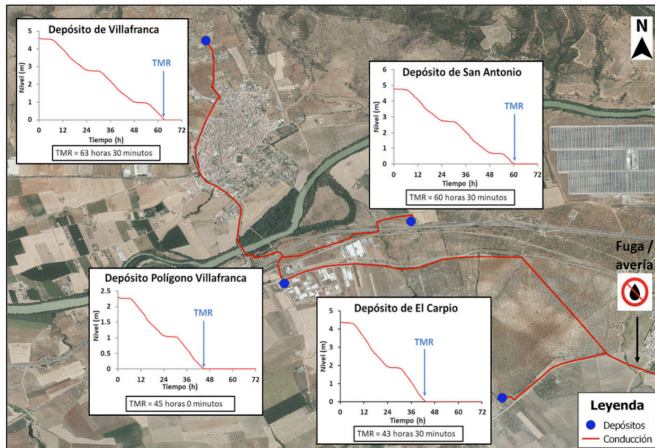


Figura 5. Cálculo del TMR para el caso de estudio.

La aplicación de las herramientas expuestas con anterioridad a este caso en concreto permite calcular el TMR de forma sencilla y eficaz, gracias a la comunicación entre el SIG-modelo hidráulico con los operarios de campo en tiempo real a través de la APP. La APP facilita la comunicación de incidencias y agiliza el proceso de comunicación entre personal implicado en la toma de decisiones y operarios de reparación de averías (Figura 6), disminuyendo así el tiempo de reacción ante cualquier eventualidad.

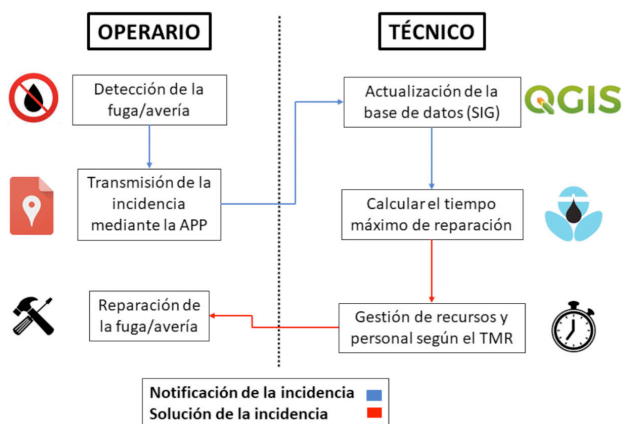


Figura 6. Protocolo de acción en caso de incidencia.

El conocimiento del TMR, ante cualquier incidencia que afecte al suministro de una población, es útil para organizar los recursos destinados a su reparación de una forma óptima, reduciendo así el coste de mantenimiento de la red. Esta metodología ofrece apoyo al departamento de compras, para planificar la adquisición de materiales y piezas necesarios, y al departamento de gestión de personal, para organizar las tareas a realizar por el personal disponible en ese periodo de tiempo y para ejecutar la reparación dentro de los plazos recomendados.

4 | CONCLUSIONES

La adaptación de Google My Maps a cualquier SDA permite obtener el máximo rendimiento del binomio SIG-modelo hidráulico, de forma que la información de la base de datos fluye con facilidad a través de los distintos departamentos que intervienen en la gestión del abastecimiento. Por tanto, se pone de manifiesto que con esta metodología es posible la transformación digital de la gestión de sistemas de abastecimiento, tanto de empresas grandes como de empresas de menor tamaño y recursos. Destacando la utilización de software libre, lo que reduce considerablemente su coste de implantación y uso.

El SIG proporciona una base de datos detallada y georreferenciada de todos los elementos de la red que si se actualiza de forma permanente, permite que el modelo hidráulico del SDA con el que está vinculado reproduzca con fidelidad su funcionamiento real.

El binomio SIG-modelo hidráulico desarrollado permite analizar el comportamiento de la red bajo diversos escenarios de operación facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

La implantación de la APP facilita la comunicación en tiempo real, entre operarios de campo y técnicos SIG de la empresa, de las incidencias en el SDA. Además, permite tener la base de datos actualizada frente a cambios en el sistema.

La fiabilidad del modelo hidráulico, como núcleo de un sistema de gestión inteligente de redes de abastecimiento, requiere de un proceso de calibración y validación, con datos reales del SDA procedentes de sensores instalados en los puntos clave del sistema. La incorporación de un sistema de monitorización de variables hidráulicas en tiempo real, basado en software libre y sensores con una adecuada calidad/precio, al conjunto Qgis-EPANET-GMM es la base para el desarrollo de un sistema de gestión inteligente de SDAs en tiempo real.

En la actualidad está en proceso de implantación una red de monitorización de presiones basada en un sensor de presión robusto de bajo coste para redes de abastecimiento de agua vinculada a Qgis-EPANET-GMM. La comunicación de datos se basa en el Internet de las cosas, IoT, transmitiéndose la información mediante la red de

largo alcance y baja potencia (Sigfox), ideal para conectar elementos dispersos como ocurre en las infraestructuras de agua. El sistema de apoyo a la decisión Qgis-EPANET-GMM-Sensores en desarrollo incluye un sistema de alertas ante fugas/averías en tiempo real, así como un módulo de calibración del modelo hidráulico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el ámbito del convenio de colaboración entre la Empresa Provincial de Aguas de Córdoba (EMPROACSA) y el grupo de Hidráulica y Riegos de la Universidad de Córdoba. Los autores agradecen a Aguas de Córdoba los recursos materiales y humanos aportados para llevar a cabo dicho proyecto.

REFERENCIAS

Abdelbaki, C., Benchaib, M.M., Benziada, S., Mahmoudi, H., Goosen, M. 2016. Management of a water distribution network by coupling GIS and hydraulic modeling : a case study of Chetouane in Algeria. *Applied Water Sciences* 7: 1561-1567.

Anón. 2007. Google My Maps.

Anón. 2002. QGIS Development Team.

Caballero, A. 2008. Los sistemas de información en la toma de decisiones en gestión de aguas. En pp. 1-14. Expo Zaragoza 2008.

Caballero, D.B., Rodríguez, A.V., Blaya, F.J.S. 2016. Modelado hidráulico y simulación de la calidad del agua en una red de abastecimiento municipal: implementación y validación del método en el municipio de Alcantarilla. Universidad de Cartagena.

Gonzalez Perea, R., Fernandez, I., Martín, M., Rodríguez, J.A., Camacho, E., Montesinos, M.P. 2017. Multiplatform application for precision irrigation scheduling in strawberries. *Agricultural water management* 183: 194-201.

Machell, J., Mounce, S.R., Boxall, J.B. 2010. Online modelling of water distribution systems: A UK case study. *Drinking Water Engineering and Science* 3: 21-27.

Mohammed, W. 2014. Free and Open Source GIS : An Overview on the Recent Evolution of Projects , Standards and Communities. En *The 9th National GIS Symposium, Arabia Saudita, KSA*, pp. 1-13.

Neteler, M., Bowman, M.H., Landa, M., Metz, M. 2012. Environmental Modelling & Software GRASS GIS : A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling and Software* 31: 124-130.

Palen, L., Soden, R., Anderson, T.J., Barrenechea, M. 2015. Success & Scale in a Data - Producing Organization : The Socio - Technical Evolution of OpenStreetMap in Response to Humanitarian Events. En pp. 4113-4122. *Proceedings of the 33rd annual ACM conference on human factors in computing system*.

Poorazizi, E., Alesheikh, A.A. 2008. Developing a Mobile GIS for Field Geospatial Data Acquisition. *Applied Sciences* 8: 3279-3283.

Puig, V., Ocampo-Martinez, C., Pérez, R., Cembrano, G., Quevedo, J., Escobet, T. 2017. Real-time Monitoring and Operational Control of Drinking-Water Systems. Springer.

Quirós, E., Polo, M.E. 2018. Recursos abiertos de información geográfica para investigación y documentación científica. *Revista española de Documentación Científica* 41: 214.

Rossmann, L.A. 2000. Epanet 2 Users Manual. National Risk management research laboratory, USEPA0-200.

Sadler, J., Ames, D., Khattar, R. 2016. A recipe for standards-based data sharing using open source software and low-cost electronics. *Journal of Hydroinformatics* 185-197.

Taylor, P., Vilas, L.G., Guisande, C., Vari, R.P., Manjarrés-hernández, A., García-, E., González-dacosta, J. et al. 2015. International Journal of Geographical Geospatial data of freshwater habitats for macroecological studies : an example with freshwater fishes. *International Journal of Geographical Information Science*.

Vargas, J., Paneque, P. 2018. Informe del observatorio de políticas del agua 2017 " retos de la planificación y gestión del agua en españa ". En La Roza, F., Martinez, J. (ed.), Fundación Nueva Cultura del agua, pp. 42-54.

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

Água Subterrânea 67, 70, 83

Algoritmo Genético 30, 36

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

Aplicaciones para Dispositivos Móviles 15

Área de Recarga Hídrica 106, 115

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

B

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

C

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

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

Conservação de Recursos Hídricos 106

Contenção de Processos Erosivos 106

E

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

F

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

Filtro Biológico 155, 157

Fitoplâncton 86, 88, 89, 90, 91

Fossa Séptica 149, 155, 157, 160, 166

G

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

H

Hidroquímica 67, 78, 85, 103

I

Intrusão Marinha 67, 77, 83

L

Litologia 67, 71, 77

Lixiviado de Aterro Sanitário 189

M

Manejo e Uso Adequado do Solo 106

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

Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo 28, 30, 35

Modelación Hidráulica 15

Modelagem de Qualidade da Água 48

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

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

P

Planejamento Urbano e Regional 146, 149, 154

Política de Saneamento 120, 121, 127, 141

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

Poluente Recalcitrante 189

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

Preservação de Nascentes e de Áreas Permanentes 106

Processos de Oxidação Avançada 189, 190

Processos Ecosistêmicos 199

Q

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

R

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

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

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

S

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

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

Sistemas de Informação Geográfica 15, 16

T

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

V

Válvula 1, 3, 6, 7, 8, 12, 17

Ventosa y Modelo de Simulación 1

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

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

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

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA
