



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 Cremona

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

CAPÍTULO 6

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

Data de aceite: 01/10/2020

Flávia Rebelo Mochel

Universidade Federal do Maranhão
Departamento de Oceanografia e Limnologia
São Luís- Maranhão
ORCID 0000-0001-5911-3171

Luís Alfredo Lopes Soares *in memoriam*

Universidade Estadual do Maranhão
Departamento de Hidráulica e Saneamento

Paulo Roberto Saraiva Cavalcante

Universidade Federal do Maranhão
São Luís- Maranhão
Departamento de Oceanografia e Limnologia
ORCID 0000-0001-9774-5794

RESUMO: A super exploração de aquíferos costeiros provoca, muitas vezes, a ocorrência da intrusão salina, decorrente do avanço da interface água doce/água salgada. O avanço do nível dos mares em áreas estuarinas tem se constatado como um agravante à salinização das águas subterrâneas. O uso de metodologias tradicionais para avaliação de contaminação não se aplica a esta situação. Em consequência, utiliza-se metodologia distinta e bem mais complexa, envolvendo análises de perfis litológicos, conhecimentos de hidrogeologia e hidroquímica, que necessitam de numerosas ferramentas para a obtenção de parâmetros hidrogeoquímicos. Na costa noroeste da ilha de São Luís, na área Itaqui-Bacanga, o sistema aquífero encontra-se, em alguns setores, gravemente afetado por este fenômeno, já tendo ocorrido desativação de poços salinizados. A

salinização das águas subterrâneas na área Itaqui-Bacanga foi evidenciada por estudos litológicos e hidroquímicos baseados em dados atuais e históricos, em alguns poços, principalmente no bairro do Tamancão.

PALAVRAS-CHAVE: Água subterrânea, intrusão marinha, litologia, hidroquímica.

HYDROCHEMICAL AND LITHOLOGICAL ANALYSIS OF GROUNDWATER IN THE ITAQUI – BACANGA AREA, SÃO LUÍS, MARANHÃO: EVIDENCE OF SEAWATER INTRUSION

ABSTRACT: The super exploitation in the coastal aquifers usually creates the phenomenon of seawater intrusion, justified by the increasing of the freshwater/ seawater interface. The sea level rising in estuarine regions has been seen as an aggravating factor to the salinization of groundwater. Instead of using traditional methods for contamination evaluation, which are not applicable in this case, different methods must be applied using much more complex knowledges about hydrogeology and hydrochemistry that demand more tools for collecting hydrogeochemistry parameters. In the northwest coast of the island of São Luís, Itaqui-Bacanga area, some zones in the aquifer system are already seriously damaged by reasons explained above, causing deactivation of some wells through salinization. Hydrochemical and lithological results based on actual and historic data showed groundwater salinization in Itaqui – Bacanga área in some wells, mainly in Tamancão neighborhood.

KEYWORDS: Groundwater, seawater intrusion, lithology, hydrochemistry.

1 | INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre a exploração de águas subterrâneas em áreas costeiras tem demandado estudos mais intensificados em virtude da crescente escassez de água de qualidade para o abastecimento humano e a importância das investigações que apontam o aumento do nível dos mares e as alterações climáticas modificando a recarga de aquíferos (SCHERGER, L. E. et al, 2019; IPCC, 2014). Portanto, das variadas formas de contaminação das águas subterrâneas, a salinização de poços localizados em aquíferos costeiros apresenta particular interesse de estudos PRIETRO et al. 2006). Ao considerar-se que o Brasil possui uma extensa faixa costeira, a salinização dos aquíferos implica na perda irreversível de sua qualidade (MONTENEGRO et al, 2019)

A diversidade de reservatórios de águas subterrâneas brasileiras, que se distribuem desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino (sistemas fissurados) até os depósitos sedimentares cenozóicos (sistemas porosos) e rochas carbonáticas (sistemas cársticos) (LEAL, 1999), permite variados usos aos poços tubulares em atividade no Brasil como irrigação, abastecimento industrial, pecuária etc, mas o maior volume ainda é destinado ao abastecimento público. A classificação, condições e limites das águas em função de seus usos preponderantes foi estabelecido pela Resolução nº 20/86 do CONAMA, de 18 de julho de 1986 e a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004) estabeleceu os Padrões de Potabilidade da Água para abastecimento público, sendo o VMP de aceitação para consumo humano de cloreto de 250 mg/L.

O Maranhão possui um importante potencial hídrico subterrâneo encontrado na Bacia do Parnaíba. Possui uma área de cerca de 550.000 km² abrangendo a quase totalidade dos estados do Maranhão e Piauí, e partes do Pará, Tocantins e Ceará e os aquíferos mais explorados são Corda-Motuca, Codó e Itapecuru. Nesse contexto a Ilha de São Luís com um potencial hídrico da ordem de 2.800,00 x 10⁶ m³/ano (COSTA, 1997 apud LEAL, 1999) ocupa a sub-província Costeira São Luís, que está sujeita a inundações diárias de marés com alturas mínimas negativas de -0,5 m e máximas de 6,8 m (DHN, 2020)

Até o final da década de 1960, a Ilha de São Luís, com poucos poços perfurados, ainda não apresentava problemas associadas às águas subterrâneas. Com o crescimento acelerado e desordenado a partir dos novos eixos urbanos criados, intensificaram-se os problemas de infraestrutura básica e de abastecimento de água deficiente levando à necessidade de novos mananciais de água para enfrentar o aumento na demanda. Deste modo, com o aumento do número de poços perfurados, os problemas do excesso na concentração de sais na água passaram a ser identificados. O processo de ocupação da área Itaqui-Bacanga deu-se, prioritariamente, a partir da construção da barragem no rio Bacanga, no final da década de 1960, período em que a área industrial e portuária ali se instalou. Com o agravamento na qualidade e no abastecimento de água e a baixa produção dos poços na área do Itaqui-Bacanga, a Companhia de Saneamento Ambiental

do Maranhão (CAEMA), a partir de 1989, promoveu a substituição paulatina do uso dos poços tubulares profundos, com o Sistema Italuís. Essa política favoreceu a população, que passou a contar com água de melhor qualidade e atualmente o abastecimento de água na área Itaqui - Bacanga é feito, na quase totalidade, pelo Sistema Italuís. Em 2012 a CAEMA iniciou o Programa Emergencial de Abastecimento de Água com Carro Pipa em São Luís em virtude da redução da vazão de água na adutora no Campo de Periz pela falta de chuvas (CAEMA, 2020). A partir de 2015 com o “Programa Água para Todos”, a CAEMA entregou poços para comunidades na área do Itaqui-Bacanga “*de modo a solucionar o problema da falta de abastecimento de água permanente nessa área*”. A salinização de poços tubulares verificados no eixo Itaqui-Bacanga possui causas diversas, que vão desde o sistema de uso e ocupação do solo à super exploração de águas subterrâneas, e até ao desconhecimento das peculiaridades da geologia local por parte de alguns perfuradores que atuam no setor. A identificação dessas causas justifica a necessidade de estudos nessa área, com a formulação de sugestões para a exploração racional das águas subterrâneas, tendo-se sempre em mente a preservação para uso sustentado desse recurso

Entre os diversos métodos de estudo destacam-se os métodos geofísicos e estudos hidroquímicos com íons majoritários e minoritários, razões hidrogeoquímicas e isótopos. Em áreas costeiras, as interpretações dos estudos hidroquímicos com outros estudos com a geologia, a geofísica e a hidráulica (LLOYD e TELLAN, 1988). Foram dadas ênfase neste trabalho aos estudos hidroquímicos com íons majoritários (ânions cloreto, sulfato, bicarbonato e nitrato e os cátions sódio, cálcio, magnésio e potássio) e razões hidrogeoquímicas, que podem fornecer resultados confiáveis com menores custos (LEE et al., 2007). As razões iônicas (valores expressos em meq/L) usadas nesta investigação foram rMg^{+2}/rCa^{+2} , $rCl/rHCO_3^-$, para evidenciar preliminarmente o processo de intrusão salina.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo ocupa a porção noroeste da ilha de São Luís, onde se situa a capital do estado do Maranhão. Delimita-se ao norte e oeste com a baía de São Marcos, e a Leste com o rio Bacanga, entre as coordenadas geográficas Norte 02°31'36", Leste 44°16'58", Sul 2° 35'44", Oeste 44°22'43", e ocupa uma área de 5.537,22 ha. Localiza-se ao longo da BR 135, no trecho compreendido da Avenida dos Portugueses, conhecida como eixo Itaqui-Bacanga, em virtude de se iniciar na barragem do rio Bacanga e terminar no porto do Itaqui. (Figura 1).

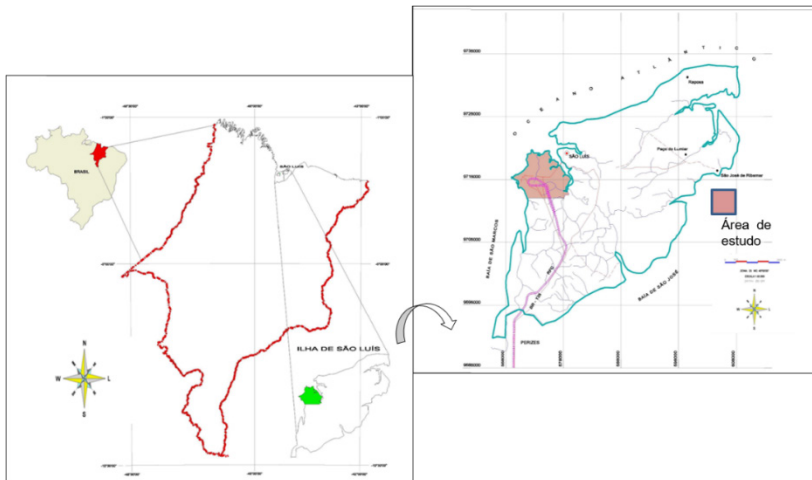


Figura 1. Localização da Área de estudo na área do Itaqui-Bacanga, Ilha de São Luís, Maranhão. Fonte: os autores.

O clima predominante na área do Itaqui-Bacanga é do tipo tropical, equatorial, caracterizado por uma estação úmida, com temperatura média anual em torno de 26°C. No período de 1985 a 2002 a pluviometria anual variou entre 1.332,6 mm e 3.118,4 mm, com precipitação média anual de 2.122,3 mm, sendo o período seco o de setembro a novembro e o chuvoso de março a maio (Raimundo Júnior et al., 2003). O relevo é constituído por planícies aluviais, inundáveis por marés altas, com vegetação predominante de manguezais e as áreas mais elevadas com relevo bastante ondulado e altitudes que atingem 40 metros (Sudene, 1972).

Na ilha de São Luís ocorrem rochas sedimentares e sedimentos pertencentes à bacia marginal cretácica de São Luís onde foram acumulados sedimentos do Cretáceo, Terciário e Quaternário. As rochas cretácicas são atribuídas à Formação Itapecuru e Mesner e Wooldrigne (1984) apud Rodrigues et al (1994), referem-se a uma sedimentação tipicamente deltaica e continental na bacia de São Luís. É mantida a nomenclatura de Formação Itapecuru como indicada em Corrêa-Martins (2019) apesar de propostas de alteração na nomenclatura (Vaz et al., 2007; Rossetti, 2001). Os sedimentos do Terciário, segundo Rodrigues et. al (1994), são sobrepostos discordantemente sobre a sequência anterior, com expressiva caulínização e laterização sofrida por tais rochas sedimentares, e reconhece um estágio mais recente de sedimentação terciária, atribuída à Formação Barreiras. A seqüência do terciário constitui-se no pacote sedimentar mais importante aos objetivos deste trabalho, considerando que tal seqüência contém as camadas aquíferas produtoras de água subterrânea na área do Itaqui-Bacanga. A sedimentação Holocênica é caracterizada por material inconsolidado como argilas não adensadas e areias da orla marítima da área. A drenagem da área de estudo é constituída principalmente pela bacia do

rio Bacanga e seus afluentes. O eixo Itaqui-Bacanga se desenvolve na direção leste-oeste, iniciando-se na barragem do rio Bacanga e indo até o porto de Itaqui. A rodovia BR 135 o divide em dois setores: norte e sul.

Em função da inexistência de um cadastro de poços perfurados na Ilha de São Luís, foram levantados e identificados, em campo, os poços explorados por particulares, organizações comunitárias e pela Prefeitura Municipal de São Luís. Nesse levantamento foram cadastrados, georreferenciados e analisados poços profundos e um poço raso (cacimba), num total de 27 poços. O corte de encostas sem vegetação, mostrando o reconhecimento das feições geológicas locais foi documentado em fotografias. À esses poços somaram-se análises e interpretação de dados de perfuração, litologia, perfis, estrutura geológica, parâmetros hidrogeológicos, testes de vazão e análises químicas históricas em relatórios de 24 poços da CAEMA (ativos ou desativados) e 15 poços da então CVRD (Vale), num total de 66 poços estudados. As análises dos poços da CVRD foram obtidas da Secretaria de Meio Ambiente do Maranhão (SEMA).

Para o cadastramento foram obtidos os dados: localização, profundidade, nível estático, nível dinâmico, vazão e perfil litológico, quando disponível, incluindo aqueles já desativados e os que não se encontravam em operação. A determinação da altitude foi efetuada com Altimetro Digital, marca Suunto, modelo Escape 203, e as coordenadas geográficas foram obtidas com GPS marca Garmin, modelo Plus III. Os poços foram identificados com um número sequencial na ordem em que iam sendo cadastrados. Posteriormente, foram codificados apenas os poços selecionados para análises físico-químicas, tendo recebido a letra “C” seguida de um número de ordem, àqueles pertencentes à CAEMA e a letra “P” seguida de um número de ordem, quando de particulares ou de outras organizações (exemplos: C-01 e P-01). Também receberam codificação os poços que mesmo estando desativados, foram utilizados durante o estudo como os do bairro Sá Viana (SV-01), da Vila Mauro Fecury I (MF-01) e poços históricos diversos (H-01). Os poços da CVRD (Vale) foram codificados com a letra inicial “V”, seguida do número código da própria empresa (P-10B da CVRD, V-10B, código neste estudo).

As coletas foram realizadas em 29 poços, ativos ou que possuíam as condições técnicas, sempre acompanhadas de um operador de poços da CAEMA, que efetuava as manobras necessárias. As amostras foram obtidas no período chuvoso, durante 7 dias. Para obtenção dos dados de temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica utilizou-se um multiparâmetro Horiba U-100. Foram coletadas duas amostras em cada poço, cada uma com 500 ml, acondicionados em recipientes de polietileno, conservadas em depósito de isopor com gelo e transportadas aos laboratórios para análises. As determinações dos íons cloreto e bicarbonato foram efetuadas no Depto. de Oceanografia e Limnologia, da Universidade Federal do Maranhão. O cloreto foi determinado utilizando-se o método volumétrico, com AgNO₃ e K₂CrO₄, segundo Morh (APHA, 1999). Para a determinação da alcalinidade e bicarbonato foi utilizado o potenciômetro HANNA HI 9025

e bureta digital, seguindo metodologia descrita por Golterman e Clymo (1978). As análises dos cátions cálcio e magnésio foram efetuadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Maranhão por leitura direta em Espectrofotômetro de Absorção Atômica marca VARIAN SPECTR AA-200. Foram calculadas as razões iônicas: rCl^- / HCO_3^- e Mg^{+2} / Ca^{+2} em meq/L. Os valores obtidos foram analisados e interpretados com base nos índices hidroquímicos apresentados por Custódio e Llamas (1983) apud Feitosa e Manoel Filho (2000). Com base nos perfis litológicos disponíveis, a área em estudo foi subdividida em 4 setores assim denominados: a) Setor leste ; b) Setor norte; c) Setor oeste ; d) Setor centro-sul.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram cadastrados e georeferenciados 51 poços encontrados perfurados na área Itaqui-Bacanga, estando ou não ativos e sua distribuição por proprietário encontra-se na Figura 2.

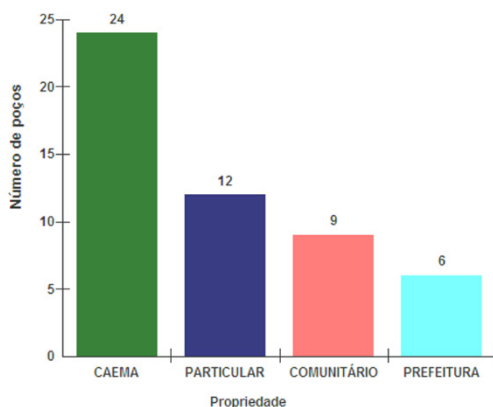


Figura 2. Distribuição de poços por proprietários, entre os poços cadastrados e georreferenciados nesta investigação. Fonte: os autores.

Os 29 poços ativos que foram cadastrados nesta investigação e que tiveram condições de coleta, encontram-se codificados (C= CAEMA e P= Particulares e outros) e estão apresentados na Tabela 1.

Código	Localização	Coordenadas		Cota (m)	Profundidade (m)	Propriedade	Observações
		Lat. 02°	Long. 44°				
C-01	Porto do Itaqui I	34' 05,2"	21' 38,1"	24	80	CAEMA	Código P-5 CAEMA.
C-02	Porto do Itaqui II	33' 55,8"	21' 40,0"	6	69	CAEMA	Código P-4 CAEMA.
P-01	Ponta de Espera II	32' 06,1"	21' 01,1"	32	110	Particular	Área do ferryboat.
C-03	Alto da Vitória	33' 44,8"	19' 28,8"	35	150	CAEMA	
C-04	Alto da Esperança I	32' 50,3"	18' 50,6"	18	110	CAEMA	Trav. Dom Henrique.
P-02	Res. Ana Jansen	32' 44,2"	18' 38,2"	13	103	Comunitário	União dos Moradores.
C-05	Gancharia	33' 11,2"	19' 10,5"	14	112	CAEMA	Unid. Escolar Rua 4.
P-03	Colônia do Bonfim	31' 48,9"	19' 36,8"	24	75	Particular	Área do Hospital.
C-06	Vila Embratel I	34' 12,4"	18' 32,1"	20	118	CAEMA	Praça do Viva.
C-07	Vila Embratel II	34' 25,7"	18' 21,4"	16	90	CAEMA	Rua 27 com Rua 28.
C-08	Vila Embratel III	34' 37,1"	18' 23,3"	19	112	CAEMA	Rua São Benedito.
C-09	Vila Embratel IV	34' 01,1"	18' 43,4"	19	100	CAEMA	Rua 51 com Rua 06.
C-10	Anjo da Guarda	33' 53,7"	19' 58,4"	40	100	CAEMA	Posto de Saúde.
C-11	Vila São Luís	32' 55,4"	20' 03,5"	27	122	CAEMA	Rua Sol com R. Buriti.
P-04	Vila Ariri	32' 52,0"	19' 46,3"	24	160	Prefeitura	U.I. Escolar.
C-12	Residencial Resende I	34' 31,0"	18' 08,7"	18	100	CAEMA	Av. das Orquídeas
C-13	Residencial Paraíso I	34' 08,8"	17' 56,2"	25	96	CAEMA	Av. Principal.
P-05	Quartel de Bombeiros	32' 56,1"	18' 20,0"	16	100	Particular	
P-06	Av. Portugueses I	33' 48,8"	19' 23,9"	15	(*)	Particular	Garagem M. Ribeiro.
P-07	UFMA I	33' 14,1"	18' 22,8"	20	121	Particular	Biblioteca Central.
P-08	UFMA III	33' 03,6"	18' 21,0"	10	70	Particular	Antiga FESM.
P-09	Sá Viana / Jambreiro I	33' 49,0"	18' 25,2"	2	79	Comunitário	Av. do Contorno.
P-10	Sá Viana / Jambreiro	33' 47,2"	18' 26,5"	-1	-2	Comunitário	Av. Contorno/cacimba.
C-14	Alto da Esperança II	32' 54,3"	18' 53,2"	17	(*)	Comunitário	R. Rainha Elizabeth.
P-11	Res. Ana Jansen II	32' 45,7"	18' 38,0"	13	26	Particular	Av. Principal.
P-12	Tamancão II	32' 26,4"	18' 49,5"	15	(*)	Comunitário	Rua da Mangueira.
P-13	Tamancão III	32' 26,8"	18' 42,5"	4	70	Particular	Estaleiro Escola.
P-14	Argola e Tambor I	32' 05,9"	18' 40,5"	23	100	Comunitário	Estrada do Gapara
P-15	Argola e Tambor 2	32' 22,4"	18' 43,2"	22	108	Comunitário	Estrada do Gapara

Tabela 1. Cadastro dos 29 poços ativos da área Itaqui – Bacanga realizado na presente investigação

(*) Sem informação.

Fonte: os autores.

Dos 22 poços restantes cadastrados que não puderam ter amostras coletadas, 13 poços possuíam dados históricos e foram utilizados nas análises da presente investigação, os 9 poços restantes foram descartados. Os dados dos 13 poços analisados encontram-se codificados (SV= Sá Viana, MF= Mauro Fecury e H= Históricos) e estão apresentados na Tabela 2.

Código	Localização	Coordenadas		Cota (m)	Profundidade (m)	Propriedade	Observações
		Lat. 02°	Long. 44°				
SV-01	Sá Viana I (P-3)	33' 22,0"	18' 03,3"	35	130	CAEMA	P-3 Av. C. Carvalho.
SV-02	Sá Viana II (P-04)	33' 25,8"	18' 02,7"	29	96	CAEMA	P-4 R. Militana.
SV-03	Sá Viana III (P-5)	33' 32,2"	17' 54,4"	28	140	CAEMA	P-5.
SV-04	Sá Viana IV (P-6)	33' 41,3"	18' 14,8"	19	96	CAEMA	P-6.
MF-01	V. Mauro Fecury 1 - II	32' 45,9"	19' 57,0"	7	154	Prefeitura	Av. Dom Luís.
MF-02	V. Mauro Fecury 1 - III	32' 30,2"	19' 51,6"	28	180	Prefeitura	Rua Silvio Tavares.
MF-03	V. Mauro Fecury 1 - IV	32' 31,5"	20' 01,7"	15	(*)	Prefeitura	Rua Sarney Filho.
MF-04	V. Mauro Fecury 1 - V	32' 21,1"	19' 57,0"	18	(*)	Prefeitura	Ilha da Paz.
MF-05	V. Mauro Fecury 1 - VI	32' 18,7"	19' 47,2"	11	168	Prefeitura	Rua da Cerâmica.
H-01	Porto do Itaquí IV	33' 51,3"	21' 42,6"	5	78	CAEMA	CAEMA P-03.
H-02	Porto do Itaquí III	34' 10,5"	21' 49,6"	24	80	CAEMA	CAEMA P-06.
H-03	Vila Bacanga	33' 24,4"	18' 44,4"	36	121	CAEMA	Av. dos Portugueses..
H-04	Vila Isabel	33' 54,3"	19' 21,6"	26	114	CAEMA	Av. dos Portugueses

Tabela 2. Cadastro dos 13 poços desativados da área Itaquí -Bacanga, com dados históricos

(*) Sem informação.

Fonte: os autores.

Todos os poços cadastrados, ativos e inativos, georeferenciados, podem ser observados na Figura 3, que apresenta também a direção das duas seções estudadas, W-E/SE e SW-NE/NW. A Figura 3 mostra que, em virtude da desativação de uma série de poços, a sua distribuição espacial apresenta-se de maneira não uniforme, ocorrendo uma quantidade maior de poços no lado leste

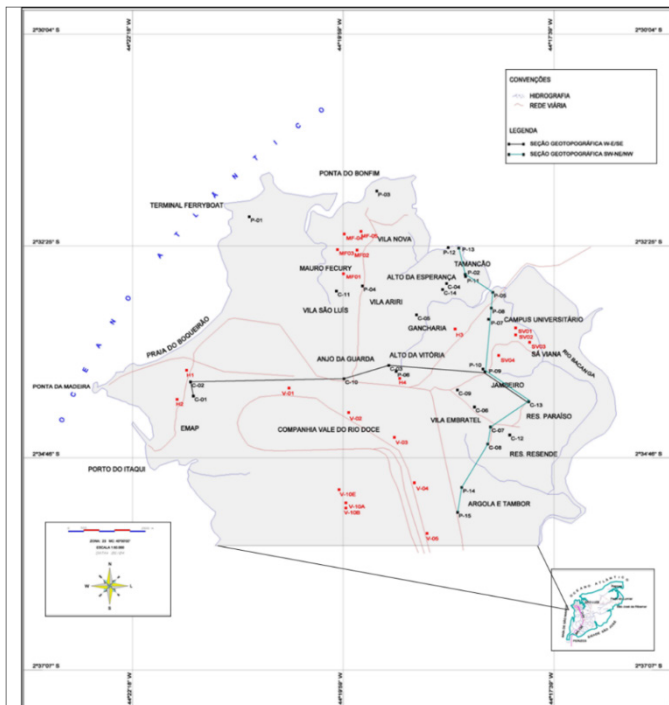


Figura 3. Localização dos Poços estudados na área Itaqui-Bacanga, Ilha de São Luís, Maranhão.

Desde o início da ocupação da área na década de 1970, já foram desativados mais de 50 poços, por vários motivos, principalmente os de qualidade das águas associadas à salinização em determinados bairros. Nos últimos anos, o Sistema Italuís e novos poços na área Itaqui-Bacanga, entregues pela CAEMA, tem procurado oferecer água de qualidade e em quantidade para a crescente população.

Em relação aos perfis litológicos, foram analisados 24 perfis litológicos e construtivos relativos aos poços cadastrados, 19 perfis relativos aos poços pesquisados com dados históricos, e 11 perfis da CVRD (Vale). A Sudene (1972) elaborou um Mapa Geológico do Distrito Industrial do Itaqui com imagens da PROSPEC, em escala 1:20.000, no qual estão representados os poços perfurados estudados, pontos de sondagens, dentre outros. O mapa apresenta a predominância de sedimentos do Terciário e identifica uma pequena área próxima ao porto do Itaqui onde mostra, em superfície, um afloramento do Cretáceo representado pela Formação Itapecuru. Analisando-se os perfis litológicos dos poços e os sedimentos superficiais da região, verifica-se, na área em estudo, um predomínio do Terciário Paleogeno, que de acordo com Rodrigues et al. (1994), são representados por sedimentos argilo-arenosos, bastante caulinizados, com laterita subordinada, que se encontram sobrepostos discordantemente ao Membro Alcântara da Formação Itapecuru,

e discordantemente sotopostos à Formação Barreiras o qual ocupa o topo da sequência terciária. No presente trabalho é adotada esta sequência estratigráfica. Na porção central da área de estudo, em direção ao sul, e nos altos topográficos do Residencial Resende, Residencial Paraíso e Vila Embratel ocorre a presença de sedimentos da Formação Barreiras.

3.1 Análise dos perfis litológicos

No setor leste, no bairro Sá Viana o abastecimento público de água, que atualmente é efetuado pelo Sistema Italuís, era oferecido pela CAEMA por poços tubulares profundos que foram desativados, na segunda metade da década de 1980, em virtude da salinização. A análise dos perfis dos dados históricos disponíveis (Tabela 2) dos poços SV-01, SV-02 e SV-04, mostram uma sequência litológica com o contato aproximado Terciário/Cretáceo na profundidade de 63 metros, no nível de calcário. A recarga direta é baixa, com o leito argiloso encontrado logo abaixo da camada superficial de arenito. A posição dos filtros está abaixo dos níveis de calcário, captando portanto, o aquífero confinado da formação Itapecuru, com vazões da ordem de 10 m³/h. Entre os poço cadastrados (Tabela 1), o poço comunitário do Jambeiro (80,0 metros), apresentou o contato aproximado Terciário/Cretáceo na profundidade de 34,0 metros, quando da ocorrência do nível de calcário. A cota topográfica desse poço era de apenas 2,0 metros acima do nível do mar, situando-se, portanto, no plano flúvio-marinho na reentrância do igarapé existente na área. Os filtros estão localizados abaixo do nível de calcário, onde existe uma camada de arenito avermelhado, captando, portanto, da Formação Itapecuru. O perfil litológico característico do poço do Jambeiro é similar aos do bairro Sá Viana. O único perfil litológico disponível para análise no Residencial Paraíso é de um poço da CAEMA (Figura 4). A presença de um pacote inicial representativo de arenito caracteriza a superfície como importante para a recarga do sistema aquífero livre e confinado que ocorre na área. Os filtros encontram-se posicionados nos arenitos anteriores e posteriores ao leito de calcário, captando possivelmente das Formações Barreiras e Itapecuru.

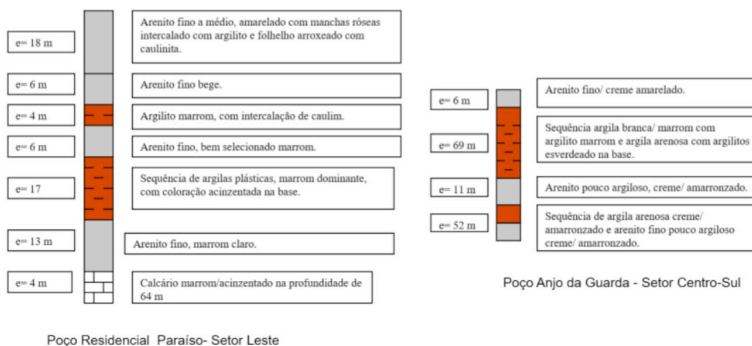


Figura 4. Perfis litológicos dos poços Residencial Paraíso no Setor Leste e Anjo da Guarda no setor Centr-Sul, na área Itaqui-Bacanga.

No setor norte, na área do Tamancão, no estuário do Rio Bacanga, o perfil possível de ser montado (Figura 5) mostra que os filtros estão instalados nas camadas arenosas, captando possivelmente da Formação Terciária. Os poços do Tamancão apresentam água com elevada salinidade, principalmente de cloreto de sódio, sugerindo recarga no aquífero com águas marinhas, caracterizando a ocorrência de intrusão salina. Alguns fatores que contribuem para a salinização são a baixa cota topográfica do poço (4 metros), a camada inicial argilosa que impede a infiltração de águas pluviais, o nível estático de 2,75 metros e o nível dinâmico de 17,22 metros. Os dados históricos (Tabela 2) permitiram obter um perfil construtivo dos 5 poços da expansão da Vila Mauro Fecury I, suficiente para caracterizar a litologia da área (Figura 5). Esses poços apresentaram problemas associados à salinização e foram desativados. O perfil apresenta cotas topográficas de 7 a 28 m, atravessando uma sequência entre o Terciário e o Cretáceo, com os filtros instalados na sequência de arenitos a partir da profundidade de 96 metros, captando da Formação Itapecuru. Este poço apresenta um nível estático de 22,0 metros estando, por isso, abaixo do nível do mar. Além disso, as profundidades de perfuração desses poços, cujas informações disponíveis indicam 154,0 metros, 168 metros e 180 metros, são inadequadas a perfurações. A vazão explorada é da ordem de 42,2 m³/h, bastante superior à média da área que é de 10 m³/h, o que provoca um rebaixamento de 46,0 metros, ficando o nível dinâmico na profundidade de 68,0 metros.

No setor oeste, a área compreendida pelo porto do Itaquí, a CAEMA desativou todos os poços que ainda operavam no porto, substituindo-os pelo Sistema Italuís. Os poços nessa área apresentaram, historicamente, problemas de salinização das águas, pela intrusão marinha como o poço do Moinho de Trigo e do Itaquí I, já desativados há bastante tempo, tendo sido identificado um afloramento da Formação Itapecuru na área (Sudene, 1972).

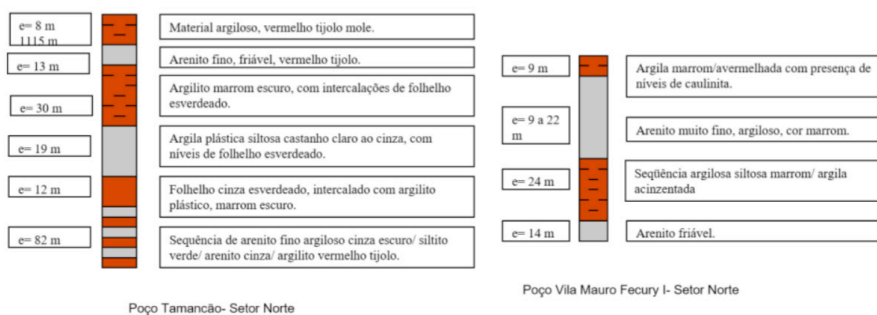


Figura 5. Perfis litológicos dos poços Tamancão e Vila Mauro Fecury I no setor Norte, na área Itaquí-Bacanga.

No setor central poço do Anjo da Guarda se localiza na cota mais elevada da área (40,0 metros) e possui um perfil litológico típico do Terciário, com o contato aproximado com o Cretáceo ocorrendo abaixo dos 140,0 metros (Figura 4). Um corte na Avenida dos Portugueses, lado esquerdo, sentido do Porto, mostra um interessante pacote arenoso, que aumenta de espessura na direção sul. Os filtros estão posicionados nos arenitos, captando provavelmente do Terciário. A recarga local passa a ser importante, visto que o pacote arenoso aumenta sua espessura, embora o pacote argiloso existente dificulte a recarga para os níveis mais baixos, a qual possui características regionais. Os seis poços mais ao sul no bairro da Vila Embratel, operados pela CAEMA e dois poços comunitários de Argola e Tambor, apresentaram perfis típicos do Terciário, estando o contato aproximado com camadas calcíferas situado em torno de 100,0 metros. Os poços possuem profundidades de 100,0 e 108,0 metros e a posição dos filtros se distribuem ao longo dos arenitos. Observou-se a rápida ocupação antrópica na área e a proximidade com o ambiente estuarino.

3.2 Análise hidroquímica

Os resultados das análises físico-químicas efetuadas no campo e nos Laboratórios encontram-se, respectivamente nas Tabelas 3 e 4. Nesta usou-se a razão rMg^{+2}/rCa^{+2} cujo rápido aumento de valor associado ao acréscimo de cloreto fornece de imediato uma indicação do fenômeno. Entretanto, essa razão pode ser afetada pelas variações que podem sofrer os íons cálcio no ambiente. Portanto, deve-se ter cuidados quanto a ocorrência de fenômenos de redução de sulfatos, aportes externos de CO_2 e precipitação de $CaCO_3$ (FEITOSA E MANOEL FILHO,2000).

Código	Localização	Cota (m)	pH	Temperatura ° C	OD mg/L	Condutividade $\mu S/cm$
C-01	Porto do Itaqui I (P5)	24	6,93	29,2	1,39	692
C-02	Porto do Itaqui II (P4)	6	7,00	30,0	0,98	651
P-01	Ponta de Espera II	32	7,20	28,3	5,36	719
C-03	Alto da Vitória	35	7,02	29,5	2,62	763
C-04	Alto da Esperança I	18	7,15	28,9	4,45	523
P-02	Res. Ana Jansen I	13	7,33	29,0	5,06	545
C-05	Gancharia	14	7,16	28,2	3,47	465
P-03	Colônia do Bonfim	24	7,74	29,8	1,05	950
C-06	Vila Embratel I	20	7,17	28,4	1,34	461
C-07	Vila Embratel II	16	7,00	28,6	3,65	428
C-08	Vila Embratel III	19	7,00	28,5	3,04	431
C-09	Vila Embratel IV	19	6,82	28,5	1,95	462

C-10	Anjo da Guarda	40	7,34	28,8	1,24	442
C-11	Vila São Luís	27	6,97	28,9	1,97	490
P-04	Vila Ariri	21	5,65	29,5	1,77	90
C-12	Res. Resende I	18	7,10	29,5	2,05	402
C-13	Res. Paraíso I	25	7,00	28,8	6,09	461
P-05	Quartel de Bombeiros	16	7,08	28,0	0,80	633
P-06	Av. Portugueses I	15	6,00	27,6	5,43	160
P-07	UFMA I	20	6,97	28,8	4,30	370
P-08	UFMA III	10	6,97	28,8	4,30	390
P-09	Sá Viana / Jambeiro I	2	7,10	30,6	6,04	1010
P-10	Sá Viana / Jambeiro II	-1	6,10	28,6	4,00	145
C-14	Alto da Esperança II	17	6,65	28,0	1,50	793
P-11	Res. Ana Jansen II	17	5,45	27,8	4,98	480
P-12	Tamancão II	15	6,86	27,8	5,65	5180
P-13	Tamancão III	4	7,24	29,1	5,43	5360
P-14	Argola e Tambor 1 – I	23	6,87	27,4	4,21	363
P-15	Argola e Tambor 2 – II	22	6,94	27,3	3,31	460

Tabela 3. Resultados para dados físicos e químicos obtidos para os poços cadastrados em campo na área do Itaqui-Bacanga.

Fonte: os autores

Código	Localização	Cloreto mg/L	HCO ₃ mg/L	Razão rCl/rHCO ₃ meq/L	Magnésio mg/L	Cálcio mg/L	Razão rMg/rCa meq/L
C-01	Porto do Itaqui I (P5)	9,00	31,27	0,49	37,94	66,53	0,94
C-02	Porto do Itaqui II (P4)	8,50	31,94	0,46	31,37	59,52	0,84
P-01	Ponta de Espera	11,00	21,19	0,89	4,38	11,42	0,63
C-03	Alto da Vitória	14,50	24,09	1,02	16,66	47,70	0,58
C-04	Alto da Esperança I	3,00	25,33	0,20	13,74	31,86	0,71
P-02	Res. Ana Jansen I	5,00	21,31	0,40	18,12	42,08	0,71
C-05	Gancharia	3,50	25,65	0,24	13,98	33,67	0,68
P-03	Colônia do Bonfim	13,50	25,44	0,93	2,31	6,41	0,59
C-06	Vila Embratel I	3,00	29,20	0,17	25,66	44,89	0,94
C-07	Vila Embratel II	1,50	26,86	0,09	20,18	40,08	0,83
C-08	Vila Embratel III	1,50	28,67	0,08	20,55	41,48	0,82
C-09	Vila Embratel IV	2,50	28,96	0,15	21,89	45,29	0,80
C-10	Anjo da Guarda	2,50	22,66	0,19	12,04	38,88	0,51

C-11	Vila São Luís	3,50	33,04	0,18	15,56	36,87	0,70
P-04	Vila Ariri	1,50	37,02	0,06	2,07	2,20	1,55
C-12	Res. Resende I	3,00	26,62	0,18	18,48	38,28	0,80
C-13	Res. Paraíso I	5,00	26,64	0,32	26,26	45,09	0,96
P-05	Quartel de Bombeiros	6,50	27,40	0,40	25,53	45,29	0,93
P-06	Av. dos Portugueses	3,50	0,90	10,00	4,26	5,21	1,35
P-07	UFMA I	4,50	24,14	0,34	22,13	29,66	1,23
P-08	UFMA III	8,50	21,03	0,70	16,17	16,63	1,60
P-09	Sá Viana/Jambeiro I	17,50	20,67	1,44	47,42	79,56	0,98
P-10	Sá Viana/Jambeiro II	2,00	4,51	0,86	4,38	4,01	1,80
C-14	Alto da Esperança II	11,50	25,65	0,78	42,31	52,30	1,33
P-11	Res. Ana Jansen II	2,00	0,67	6,00	1,34	0,40	5,50
P-12	Tamancão II	123,00	15,22	13,88	115,64	40,08	4,75
P-13	Tamancão III	117,00	29,11	6,87	74,42	35,67	3,43
P-14	Argola e Tambor I	3,00	27,20	0,18	25,41	36,87	1,13
P-15	Argola e Tambor II	4,00	30,62	0,22	37,21	48,70	1,26

Tabela 4. Resultados para cátions, ânions e razões iônicas.

Fonte: os autores

A condutividade elétrica (CE) no setor leste apresentou um valor mais elevado no bairro Jambeiro, no poço P-9 (1.010 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e a razão rCl/rHCO_3 com valor 1,44 meq/L. A condutividade elétrica está diretamente ligada ao teor de sais dissolvidos na água sob a forma de íons (Freeze e Cherry, 1979). Utilizando-se o valor médio de 0,65, temos para o poço do Jambeiro, um valor de 656,5 mg/L de SDT, que é um valor bastante elevado para o consumo humano, segundo a Portaria 518/2004, que é de 1000 mg/L. O P-08 da UFMA, apresentou razão Mg/Ca no valor de 1,60 um pouco acima do limite máximo para águas continentais.

No setor Norte é notável o aumento de concentração dos parâmetros nos poços do Tamancão P-12 e P-13 (Tabelas 3 e 4). Para a razão rCl/rHCO_3 os poços Tamancão II e III apresentaram valores de 13,88 e 6,87 meq/L respectivamente. Para a razão $\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$ os poços Tamancão II e III apresentaram valores de 4,75 e 3,43 meq/L respectivamente. O poço do Estaleiro Escola (P-13), perfurado em julho de 2001, quando em bombeamento contínuo, apresentou um resultado de condutividade elétrica de 5.870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2.850 mg/L de cloreto. Pelos perfis construtivos disponíveis, acredita-se na interconexão do leito de arenito com o estuário do rio Bacanga. No Residencial Ana Jansen o poço P-11 abastece uma residência, e embora o valor da razão cloreto/bicarbonato tenha sido elevado (6,0 meq/L) e a razão Mg/Ca foi 5,5 meq/L, os valores individuais são bastante baixos. Sua perfuração foi efetuada manualmente, sugerindo captação de águas pouco mineralizadas do lençol mais superficial. Observou-se um valor relativamente alto na razão magnésio/

cálcio, no poço P-04 da Vila Ariri (1,55 meq/L), um pouco acima do limite para águas continentais que é de 1,50 meq/L, embora os valores individuais sejam baixos, sendo 2,20 mg/L para cálcio e 2,07 mg/L para magnésio. Apenas o íon bicarbonato apresenta um valor alto (37,02 mg/L), levando-se em conta os baixos valores dos íons cálcio e magnésio. A baixa densidade de poços na área é um fator positivo e preventivo contra a salinização.

O setor Oeste é representado pelos poços do Porto do Itaqui, C-01e C-02, e o P-04 no Terminal de Ferryboat, além dos poços históricos H-01 e H-02. Os resultados dos poços C-01 e C-02 apresentaram baixos valores para razões iônicas e cloreto, porém, os valores de condutividade foram relativamente altos, 692 e 651 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e as concentrações de cálcio e magnésio também foram bastante elevadas, 66,53 e 59,52 mg/L para cálcio e 37,94 e 31,37 mg/L para magnésio sugerindo o leito de calcário como enriquecedor dessas águas. As águas do poço P-04 do Terminal de Ferryboat apresentaram valores mais baixos, mas a condutividade elétrica correspondeu a 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dados históricos apresentados por TEMPO PROSPECÇÃO GEOFÍSICA (2002) para o poço H-01 (P-03, no código da CAEMA), que se encontra atualmente desativado, são apresentados na Tabela 5. Os valores da razão $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3^-$ e da condutividade são extremamente elevados, caracterizando bem a intrusão salina na área.

Data	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cloreto mg/L	HCO ₃ mg/L	Razão $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$	Magnésio mg/L	Cálcio mg/L	Razão $r\text{Mg}/r\text{Ca}$
25/9/1991	2000,00	2500,00	266,00	16,21	43,74	83,00	0,29
11/6/1992	3750,00	560,00	233,00	4,14	54,43	65,60	0,50
24/8/2000	1997,00	8500,00	568,00	25,78	(*)	(*)	(*)
5/7/2002	2213,00	572,00	28,57	35,13	49,79	49,79	0,49

Tabela 5 - Dados Históricos do poço H-01 no Porto do Itaqui

(*) Sem informação.

Fonte: TEMPO PROSPECÇÃO GEOFÍSICA (2002).

Sousa (2000) apresentou a tendência de salinização na área noroeste do Itaqui por super bombeamento, pois o efeito de “upcoming” do bombeamento prolongado é um fator que favorece a intrusão de águas subterrâneas marinhas nos poços tubulares, principalmente nos mais profundos.

No setor centro-sul, os resultados para os poços do Anjo da Guarda (C-10) e Alto da Vitória (C-03) apresentaram valores bastante próximos, com exceção da condutividade elétrica, cujos resultados foram de 442,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (C-10), e 763,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (C-03). Essa variação, pode ser resultante dos posicionamentos dos filtros, que captam águas do aquífero Terciário no poço do Anjo da Guarda, e no Alto da Vitória essa captação ocorre

no aquífero da Formação Itapecuru abaixo do leito de calcário. Com relação aos poços da CVRD, os dados históricos mostram que os valores mais elevados para o Cálcio foram registrados nos anos 2000 em quase todos os poços e o Cloreto apresentou valores altos em 1983 para o poço V-01 e nos anos 2000 para o poço V-10 (SEMA, 2004). Os resultados obtidos para os poços da Vila Embratel apresentaram valores mais elevados para o cálcio (45,0 mg/L) e para a condutividade em torno de 420,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados dos poços de Argola e Tambor ficaram na mesma faixa de valores da Vila Embratel, mas com razões $r\text{Mg}^{+2}/r\text{Ca}^{+2}$ mais elevadas.

A Figura 6 mostra as variações das razões iônicas $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3^-$ e $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ para as amostras analisadas na presente investigação, com a indicação dos limites máximos para águas continentais. Os poços Tamancão II (P-12), Tamancão III (P-13) e Residencial Ana Janssen II (P-11) apresentam os maiores valores para as razões iônicas, e o poço da Av. dos Portugueses (P-06) apresenta valor elevado para a razão $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3^-$. Os resultados em conjunto com as demais análises permitiram verificar a ocorrência da intrusão salina em alguns setores da área Itaqui-Bacanga, desse modo, os constituintes químicos das águas subterrâneas na área de estudo refletiram a uniformidade litológica local.

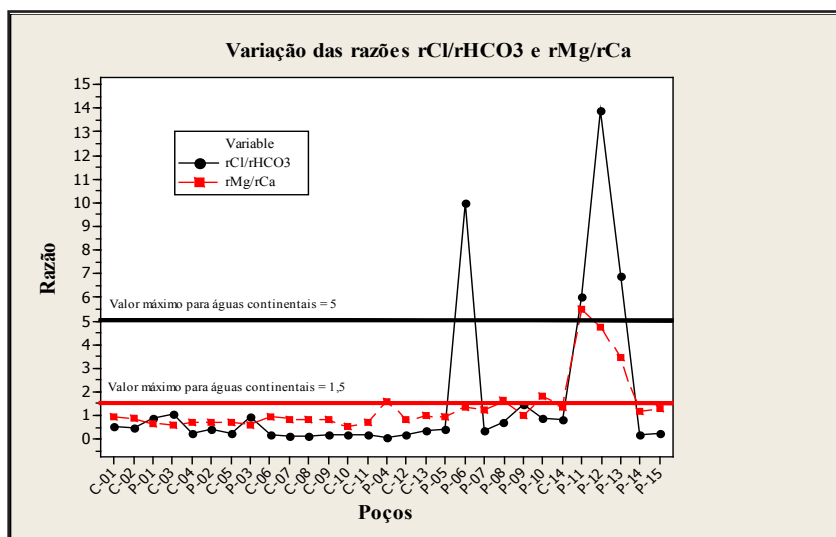


Figura 6. Variação das razões iônicas $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3^-$ e $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ nos poços analisados na área Itaqui-Bacanga.

Silva Jr. Et al (2014) encontraram melhores resultados utilizando razões iônicas com $r\text{Cl}/r\text{Br}$ mas enfatiza-se, nesse trabalho, a importância de se interpretar as análises em conjunto com os dados litológicos, geológicos, além de geoquímicos.

O comprometimento das águas subterrâneas é um problema recorrente nos centros urbanos seja pela super exploração, por deficiências técnicas de construção, quanto pela contaminação, poluição, manejo inadequado e a crescente ocorrência da intrusão marinha na zona costeira (HIRATA et al, 2003) Nas áreas urbanas de São Luís Maranhão (1988) relata uma superposição de fatores como o aumento do rebaixamento piezométrico, abundância de contaminantes, disposição inadequada de resíduos sólidos, extração industrial dos aquíferos de maneira desordenada e predatória e a utilização crescente de agrotóxicos nas áreas rurais.

4 | CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo hidroquímico apresentou homogeneidade nos resultados de qualidade da água, refletindo a uniformidade litológica local. De um modo geral são águas de dureza elevada, com altos teores de cálcio e magnésio, que emprestam à água um leve sabor salobro. Os resultados mostraram a existência de intrusão salina no bairro do Tamancão. Historicamente, esse fenômeno já ocorre há mais tempo, no entorno do Porto do Itaqui, e nos bairros de Sá Viana e Vila Mauro Fecury I, porém há indicações para o monitoramento em outras localidades como na Avenida dos Portugueses e Residencial Ana Jansen II. Os resultados evidenciaram a baixa vocação hidrogeológica da área Itaqui-Bacanga como sistema produtor de águas subterrâneas. O problema da salinização não se generalizou na área até o presente estudo em virtude das desativações de poços e pela introdução do Sistema Italuís promovendo abastecimento de água de mananciais superficiais. A qualidade da água subterrânea, de acordo com os resultados das análises físico-químicas, não apresentou valores em desacordo com a Portaria 518/2004. Porém, no poço do Tamancão o teor de sólidos dissolvidos ultrapassa o VMP, que é de 1.000 mg/L. Quanto ao teor de cloreto, embora os valores encontrados para a maioria dos poços situaram-se abaixo do padrão (250 mg/L) sabe-se que com o bombeamento contínuo esses valores, muitas vezes, se elevam (REILLY et al, 1985)

Em aquíferos localizados em zonas costeiras é, portanto, importante considerar os aspectos (1) quantitativo da super exploração, (2) técnico-qualitativo da não observância das normas de projeto e construção de poços e o desconhecimento das condições hidrogeológicas e (3) o socioambiental que pode levar à contaminação do aquífero explorado, ou por mudanças climáticas e de elevação do nível do mar acarretando a intrusão salina

AGRADECIMENTOS

Em homenagem ao muito querido Luís Alfredo Lopes Soares que, na impossibilidade de figurar com primeiro autor desse artigo, nos concede a honra de prestar os agradecimentos àqueles que apoiaram as diversas etapas desta investigação.

Em especial à família de Luís Alfredo, sua amada Ivone e filhos Luís Alfredo Filho, Luís Fernando e Michelle, por seu apoio além do incondicional. Ao engenheiro e amigo Hélio de Oliveira Sousa Costa, e ao geólogo Agenor Aguiar Teixeira Jaguar, da AGEMA, pela contribuição para esta pesquisa e aos geólogos Eduardo Pinheiro Padilha e Afonso Braúna, pelo acesso ao cadastro de poços tubulares da CAEMA.

REFERÊNCIAS

APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewaters. 18th Ed., Washington, USA. 1992.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº. 518 de 25 de março de 2004. Estabelece normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, 2004.

CAEMA disponível em <http://www.caema.ma.gov.br/portalcaema/index.php?option=com_content&view=article&id=1401:2015-11-18-20-46-53&catid=34:noticias&Itemid=236 > Acesso em 03 de julho de 2020

CORREA-MARTINS, The Neostatotype of Itapecuru Formation (Lower-Middle Albian) and Its Impact for Mesozoic Stratigraphy of Parnaíba Basin **Anais da Academia Brasileira de Ciências** (2019) 91(Suppl. 2): e20180730 19p, 2019

DHN ,Diretoria de Hidrografia e Navegação. Disponível em < <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare> > Acesso em 19 de julho de 2020.

FEITOSA, F. A. C. e MANOEL FILHO, J. (Org.) **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2ª. Edição, Fortaleza: CPRM, REFO LABHID – UFPE, 391 p., 2000.

FREEZE, R. A. e CHERRY, J. A. **Groundwater**: Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA, 1979. 604 p

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters**, 2 ed., Londres, 213 p., 1978

HIRATA, R. & FERNANDES, A.J. Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. In: FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J.(eds.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza, 2a. ed. p:446-479, 2003

IPCC, Summary for Policymakers. In: Climate Change : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/> , Acesso em 17 de junho de 2020.

LEAL, A. S. As Águas Subterrâneas no Brasil: ocorrências, disponibilidades e usos. **O Estado das Águas no Brasil**. Brasília: ANEEL, CD-ROM. (Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas).1., 1999

LEE, J.Y.; SONG, S.H. Groundwater chemistry and ionic ratios in a western coastal aquifer of Buan, Korea: implication for seawater intrusion. **Geosciences Journal**, Vol. 11, No. 3, p. 259-270. 2007.

LLOYD, J. W. e TELLAM, J. H. Caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas en áreas costeras [Hydrochemical characterization of groundwater in coastal areas]. **Proceedings of International Symposium TIAC'88** (Tecnología de la Intrusión marina en Acuíferos Costeros), vol 1, Almuñecar, Granada, Spain, p: 1–18, 1988.

MARANHÃO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Turismo/ Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense: estudo de ocupação espacial/ uso e cobertura da terra**. São Luís, 1988

MONTENEGRO, S. M.G.L., CABRAL, J.J.S.P., PAIVA, A.L.R., MONTENEGRO, A.A.A., DEMETRIO, J.G.A.; CAVALCANTI, G.L. Águas Subterráneas na Zona Costeira da Planície do Recife (PE): Evolução da Salinização e Perspectivas de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, volume 14 n.3: 81-93, 2009

PRIETRO, C.; KOTRONAROU, A.; DESTOUNI, G. The influence of temporal hydrological randomness on seawater intrusion in coastal aquifers. **Journal of Hydrology**, v.330 :285- 300. 2006.

RAIMUNDO JÚNIOR, F.; RUBIO, R. F.; ÚBEDA, J. C. B.; FERNANDEZ, D. L.; SERRANO, J. V. Acuífero Detrítico Costeiro de Ponta da Madeira (Maranhão, Brasil). Modelización Hidrogeológica Preliminar. In: **TECNOLOGIA DE LA INTRUSION DE AGUA DE MAR EM ACUÍFEROS COSTEROS: PAISES MEDITERRÁNEOS: IGME**, Madrid, p: 281-290, 2003.

REILLY, T.E.; GOODMAN, A.S. Analysis of saltwater upconing beneath a pumping well. **Journal of Hydrology**, v.89: 169-202. 1985.

RODRIGUES, Telmo Luiz das Neves; ARAUJO, Clodionor Carvalho de; CAMOZZATO, Eduardo; RAMGRAB, Gilberto Emilio. São Luís, Folha SA.23-Z-A, Estado do Maranhão. Brasília: CPRM. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGBI Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás**. Subprojeto de Recursos Minerais. 185 p., 1994.

ROSSETTI DF. Arquitetura deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio-Norte do Brasil. In: Rossetti DF et al. (Eds), O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001, p. 31-46.

SCHERGER, L. E. et al. Salinización de suelos de textura fina por ascenso capilar a partir del acuífero freático hipersalino somero (Bahía Blanca, Argentina) **Águas Subterráneas**, v. 33, n. 2: 159-170, 2019.

SILVA JR, G.C.; CRISTO, V.N. O Uso de ferramentas geoquímicas na identificação do comportamento da cunha salina do aquífero costeiro do Distrito de Itaipuaçu, Maricá,– RJ. **Águas Subterráneas** (2014) 28(1): 80-94, 2014

SOUSA, S. B. **Sistema Aquífero da Ilha do Maranhão**. In: I CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Fortaleza - Ceará: ABAS, 2000.

SUDENE Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Estudo Hidrogeológico do Distrito Industrial do Itaqui-Maranhão**. Hidrogeologia 39. Recife: SUDENE, 1972, 110p.

TEMPO PROSPECÇÃO GEOFÍSICA. **Estudo Hidrogeológico da Área do Porto do Itaqui** São Luís – MA. Teresina – PI, 2002.

VAZ PT, REZENDE NGAM, WANDERLEY FILHO Jr AND TRAVASSOS WAS. Bacia do Parnaíba. **B. Geoci.**, Petrobras, 15: 253-263, 2007

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
