



*João Dallamuta
(Organizador)*

*Estudos
Transdisciplinares
nas Engenharias 3*

Atena
Editora

Ano 2019

João Dallamuta
(Organizador)

Estudos Transdisciplinares nas Engenharias

3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Rafael Sandrini Filho
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos transdisciplinares nas engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizador João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Transdisciplinares nas Engenharias; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-682-9 DOI 10.22533/at.ed.829190710 1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Transdisciplinaridade. I. Dallamuta, João. II. Série. CDD 620
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Se o Senhor Leonardo di Ser Piero da Vinci, por uma hipótese, fosse realizar concurso público para lecionar em uma universidade brasileira, teria enorme dificuldade para se adequar às regras do certame. Ele era cientista, matemático, inventor, engenheiro, médico anatomista, escultor, desenhista, arquiteto, artista plástico pintor poeta e músico. Dificilmente iria conseguir comprovar títulos ou se adequar as exigências.

Em termos mais modernos da Vinci teria conhecimentos transdisciplinares, um conceito para conhecimento de forma plural. Disciplinas e carreiras são divisões artificiais para facilitar a organização de cursos, currículos, regulamentações profissionais e facilitar a prática do ensino. Em tempos onde isto não existia, como na Grécia antiga ou na renascença havia o conhecimento plural na qual Leonardo da Vinci talvez seja o maior expoente.

Não se sugere que todo conhecimento transdisciplinar prove de um gênio, tão pouco que a organização por áreas do conhecimento não tenha seu valor. Apenas que a boa engenharia, em função da sua crescente complexidade trás necessidades de conhecimentos e competências transdisciplinares.

Neste livro são apresentados artigos abordando problemas de fornecimento de energia, água potável, urbanismo, gestão de varejo, técnicas de projeto e fabricação, uma combinação de áreas e temas que possuem um ponto em comum; são aplicações de ciência e tecnologia que buscam soluções efetivas para problemas técnicos, como deve ser em tese a boa engenharia.

Aos pesquisadores, editores e aos leitores para quem em última análise todo o trabalho é realizado, agradecemos imensamente pela oportunidade de organizar tal obra.

Boa leitura!
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DEMANDA ENERGÉTICA E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES NO ESTADO DE RORAIMA	
Laura Vieira Maia de Sousa	
Talyta Viana Cabral	
Josiane do Socorro Aguiar de Souza de Oliveira Campos	
Luciano Gonçalves Noleto	
Maria Vitória Duarte Ferrari	
Túlio Costa de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.8291907101	
CAPÍTULO 2	15
ANÁLISE DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA SANTA CASA DE AREALVA: SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO E AR CONDICIONADO	
José Rodrigo de Oliveira	
Matheus Henrique Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.8291907102	
CAPÍTULO 3	25
TRATAMENTO DA ÁGUA DE DRENAGEM PLUVIAL: UM MAL NECESSÁRIO?	
Carlos Augusto Furtado de Oliveira Novaes	
DOI 10.22533/at.ed.8291907103	
CAPÍTULO 4	36
DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE ÁGUAS URBANAS DA CIDADE DE CARAÚBAS/RN	
Larisa Janyele Cunha Miranda	
Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva	
Rokátia Lorrany Nogueira Marinho	
Guilherme Lopes da Rocha	
Clélio Rodrigo Paiva Rafael	
DOI 10.22533/at.ed.8291907104	
CAPÍTULO 5	46
CALIBRAÇÃO DO FATOR DE ATRITO EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
Alessandro de Araújo Bezerra	
Renata Shirley de Andrade Araújo	
Marco Aurélio Holanda de Castro	
DOI 10.22533/at.ed.8291907105	
CAPÍTULO 6	55
AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE ALTERNATIVAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, SOB ASPECTOS DE RESILIÊNCIA A INUNDAÇÕES E REQUALIFICAÇÃO AMBIENTAL	
Bruna Peres Battemarco	
Lilian Marie Tenório Yamamoto	
Aline Pires Veról	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.8291907106	
CAPÍTULO 7	67
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS: ESTUDO DE CASO EM ALGUNS	

TEATROS NA CIDADE DO RECIFE/PE

Carlos Fernando Gomes do Nascimento
Eduardo José Melo Lins
Eliana Cristina Barreto Monteiro
Amanda de Moraes Alves Figueira
Cynthia Jordão de Oliveira Santos
Débora Cristina Pereira Valões
Edenia Nascimento Barros
George da Mota Passos Neto
Gilmar Ilário da Silva
Lucas Rodrigues Cavalcanti
Marcionillo de Carvalho Pedrosa Junior
Maria Angélica Veiga da Silva
Mariana Santos de Siqueira Bentzen
Paula Gabriele Vieira Pedrosa

DOI 10.22533/at.ed.8291907107

CAPÍTULO 8 80

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA DE PÓS NANOMÉTRICOS OBTIDOS POR MOAGEM DE ALTA ENERGIA COM E SEM LIXÍVIA ÁCIDA PARA APLICAÇÃO EM FOTOCATÁLISE

Lucca Monteiro Silva Semensato
Luis Fernando Baldo Estorari
Maisa Helena Mancini
Veridiana Magalhães Costa Moreira
Ana Gabriela Storion
Eliria Maria de Jesus Agnolon Pallone
Tânia Regina Giraldi
Sylma Carvalho Maestrelli

DOI 10.22533/at.ed.8291907108

CAPÍTULO 9 93

CONTRIBUIÇÕES DA ANÁLISE DE REDES SOCIAIS A UM CLUSTER COMERCIAL PLANEJADO DE VAREJO DE AUTOMÓVEIS

Marco Aurélio Sanches Fittipaldi
Denis Donaire

DOI 10.22533/at.ed.8291907109

CAPÍTULO 10 106

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MESA DE VARREDURA XY E APRIMORAMENTO DO SISTEMA FOCAL DE UM APARELHO DE LITOGRAFIA

Raul de Queiroz Mendes
Arlindo Neto Montagnoli

DOI 10.22533/at.ed.82919071010

CAPÍTULO 11 120

ANÁLISE DO IMPACTO DO ROTEAMENTO FIXO EM REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS TRANSLÚCIDAS CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS DE DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE TRANSMISSÃO

Arthur Hendricks Mendes de Oliveira
Helder Alves Pereira

DOI 10.22533/at.ed.82919071011

CAPÍTULO 12 128

ANÁLISE DO IMPACTO DO CASCATEAMENTO DE FILTROS ÓPTICOS CONSIDERANDO

DIFERENTES ARQUITETURAS DE REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS

Eloisa Bento Sarmento

Helder Alves Pereira

DOI 10.22533/at.ed.82919071012

CAPÍTULO 13 138

MODELAGEM DO EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO NA SOLUBILIDADE DE ÁCIDOS GRAXOS EM SOLVENTES ORGÂNICOS

Bruno Rossetti de Souza

Vanessa Vilela Lemos

Jessica Cristina Silva Resende

Karolina Soares Costa

Marlus Pinheiro Rolemberg

Rodrigo Corrêa Basso

DOI 10.22533/at.ed.82919071013

CAPÍTULO 14 149

AVALIAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE TiO₂ OBTIDAS POR MOAGEM DE ALTA ENERGIA COM E SEM LIXIVIAÇÃO

Lucca Monteiro Silva Semensato

Vanessa Vilela Lemos

Gabriel de Paiva

Luis Fernando Baldo Estorari

Maisa Helena Mancini

Ana Gabriela Storion

Eliria Maria de Jesus Agnolon Pallone

Tânia Regina Giraldi

Sylma Carvalho Maestrelli

DOI 10.22533/at.ed.82919071014

CAPÍTULO 15 161

ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DO PRÉ-AQUECIMENTO DO ÓLEO E DA TEMPERATURA DE TRANSESTERIFICAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO BIODIESEL

Gerd Brantes Angelkorte

Ivenio Moreira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.82919071015

CAPÍTULO 16 170

ASPECTOS BOTÂNICOS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Sebastião Gomes Silva

Jorddy Neves da Cruz

Pablo Luis Baia Figueiredo

Wanessa Almeida da Costa

Mozaniel Santana de Oliveira

Rafael Henrique Holanda Pinto

Renan Campos e Silva

Fernanda Wariss Figueiredo Bezerra

Raul Nunes de Carvalho Junior

Eloisa Helena de Aguiar Andrade

DOI 10.22533/at.ed.82919071016

CAPÍTULO 17 182

ESTUDO DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DE IMPRESSÃO 3D POR EXTRUSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ÁCIDO POLILÁTICO (PLA) OBTIDAS POR INTERMÉDIO DE

ENSAIO DE TRAÇÃO

Camila Colombari Bomfim
Antônio Carlos Marangoni
Rafael Junqueira Marangoni

DOI 10.22533/at.ed.82919071017

CAPÍTULO 18 194

ESTUDO DO ASPECTO GEOMÉTRICO DOS CORDÕES DE SOLDA COMO ORIENTAÇÃO
OPERACIONAL PARA O USO NA SOLDAGEM MAG ROBOTIZADA

Everaldo Vitor
Paulo Eduardo Alves Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.82919071018

SOBRE O ORGANIZADOR..... 206

ÍNDICE REMISSIVO 207

CALIBRAÇÃO DO FATOR DE ATRITO EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Alessandro de Araújo Bezerra

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental, Teresina – PI

Renata Shirley de Andrade Araújo

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental, Teresina – PI

Marco Aurélio Holanda de Castro

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza – CE

RESUMO: Este capítulo tem como objetivo a apresentação de uma aplicação da nova equação para calibração do fator de atrito de Darcy-Weisbach através do uso do Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA), em redes de distribuição de água. A equação é baseada na proporcionalidade entre o elemento calibrado, o fator de atrito, e o gradiente hidráulico. Após calibrado o fator de atrito de todos os trechos da rede, a rugosidade absoluta é calculada. O método foi aplicado através de um software desenvolvido com o auxílio da biblioteca Epanet2.dll como simulador hidráulico da rede. A rede considerada é uma rede fictícia que já apresenta resultados de calibração através da aplicação de outro método. Por fim, os resultados encontrados

através da calibração com o MIGHA foram comparados com os resultados encontrados em um trabalho científico que utilizou o renomado método dos algoritmos genéticos. Através da comparação pôde-se perceber que o MIGHA não apresentou os melhores resultados, no entanto, os resultados podem ser considerados tão bons quanto os encontrados com uso dos algoritmos genéticos e com segundos como tempo de processamento.

PALAVRAS-CHAVE: Fator de atrito; Calibração; MIGHA.

CALIBRATION OF THE FRICTION FACTOR IN WATER DISTRIBUTION NETWORKS

ABSTRACT: This chapter aims to present an application of a new equation for calibration of the Darcy-Weisbach friction factor through the use of the Alternative Hydraulic Gradient Iterative Method in water distribution networks. The equation is based on the proportionality between the calibrated element, the friction factor, and the hydraulic gradient. After calibrating the friction factor of all sections of the net, absolute roughness is calculated. The method was applied through a software developed with the aid of the Epanet2.dll library as a hydraulic simulator of the network. The network considered is a fictitious network that

already presents calibration results through the application of another method. Finally, the results obtained through the calibration with the proposed method were compared with the results found in a scientific paper that used the renowned method of genetic algorithms. Through the comparison it was possible to see that the proposed method did not present the best results, however, the results can be considered as good as those found using genetic algorithms and with seconds as processing time.

KEYWORDS: Friction factor; Calibration; MIGHA.

1 | INTRODUÇÃO

A água é e sempre foi extremamente importante para a vida humana. Para Wolkmer e Pimmel (2013), a água é um patrimônio estratégico, sendo mais do que um recurso imprescindível ao desenvolvimento econômico e social, é um elemento vital para a conservação dos ecossistemas e da vida de todos os seres em nosso planeta. Dessa forma, as populações antigas buscavam viver o mais próximo possível desse tão importante recurso. Desprovidos de tecnologia avançada, este elemento precisava ser buscado em rios, córregos ou riachos para satisfazer as necessidades dos habitantes.

Já nos tempos atuais, dispõe-se de redes de distribuição de água. Estes elementos de um sistema de abastecimento tornam possível a distribuição de água em todas as residências onde vivem os consumidores deste recurso. As redes de distribuição de água são compostas de tubulações, conexões e outras peças acessórias com a finalidade de distribuir água ao consumidor final. Para Gomes e Formiga (2001), as redes de distribuição são os componentes responsáveis por levar a água ao usuário final, nos sistemas de abastecimento de água, de comunidades urbanas e rurais. Uma definição similar, porém mais antiga, foi proposta por Dacach (1967), para ele, uma rede de distribuição é um elemento que se constitui de tubulações que distribuem água, atendendo aos diversos pontos de consumo. Uma forma mais completa pode ser vista em Tsutiya (2006) e Heller e Pádua (2010), que definem rede de distribuição de água como a parte do sistema de abastecimento formada por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos com o objetivo de fornecer água potável em quantidade, qualidade, pressões adequadas e de forma contínua aos consumidores, sejam esses residenciais, comerciais, industriais ou de serviço.

Rao e Salomons (2007) explicam que cada rede de distribuição de água compreende uma configuração única de tubos interconectados, tanques de armazenamento, estações de bombeamento e câmaras de válvulas, que está sujeita a exigências muito variáveis que não podem ser previstas com grande grau de certeza. Ainda, as redes de distribuição são compostas por tubos e conexões que podem ser de vários materiais em que alguns destes materiais são muito lisos e apresentam rugosidades absolutas extremamente pequenas. Assim, na fabricação destes tubos, essas rugosidades não se apresentam de forma constante ao longo do tubo, além

disso, cada tubo fabricado apresenta rugosidades diferentes, uma vez que a perfeita reprodução das rugosidades das tubulações é muito difícil. Isso explica o motivo de as pressões de funcionamento da rede não coincidir com as pressões previstas no simulador hidráulico.

Ao iniciar o funcionamento da rede, o atrito entre a água e as tubulações danifica os condutos, por este motivo existem limites máximos de velocidade. Com o limite máximo de velocidade atendido, o desgaste do conduto ocorre de forma lenta, no entanto, com o passar dos anos, esse desgaste se torna grande o suficiente para alterar de forma considerável a rugosidade das paredes das tubulações e, conseqüentemente, gerar variações nas pressões e vazões. Isso pode ocasionar o não atendimento adequado ao usuário do sistema pela rede de distribuição, atendimento este, previsto na simulação hidráulica da rede.

Assim, para que se possa simular, computacionalmente, de forma adequada uma rede de distribuição, seja esta uma rede recém implantada ou uma rede antiga, é necessário que haja a calibração dos coeficientes da rede de distribuição. Cheng e He (2011), afirmam que sem uma estimativa apropriada dos parâmetros, um modelo numérico não pode simular adequadamente a realidade, havendo, na prática, diferenças entre os comportamentos de modelos previstos e de sistemas reais em campo. A calibração de uma rede de distribuição visa à adequação de um modelo computacional para que este possa simular a rede estudada com base em dados observados da rede real.

Solomatine et al. (1999) consideram que o objetivo da calibração de qualquer modelo físico é encontrar parâmetros, em um modelo, os quais não são conhecidos a priori. Segundo Soares et al. (2004), a calibração visa ao ajuste dos parâmetros do sistema de tal forma que os desvios entre os dados simulados e observados em campo sejam minimizados. Cheng e He (2011) explicam que a calibração de modelos computacionais é definida como o processo de ajuste de dados descrevendo o modelo matemático do sistema até que os desempenhos observados, tipicamente pressões e taxas de fluxo, estejam razoavelmente de acordo com os desempenhos calculados por computador em uma ampla gama de condições operacionais.

Para Walski (1983), uma definição mais precisa para calibração de um modelo de distribuição de água consiste em um processo de dois passos, no qual, o primeiro, consiste na comparação de pressões e vazões calculadas com as observadas em condições de operação do sistema e, o segundo, no ajuste dos dados de entrada do modelo para que haja concordância entre o modelo calculado e o sistema observado.

Os métodos implícitos ou de otimização, que buscam a minimização de uma função objetivo, são muito utilizados nos processos de calibração. Entre estes métodos está o Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA) que foi desenvolvido para calibração da transmissividade no escoamento subterrâneo por Schuster e Araújo (2004) e, posteriormente, adaptado para redes de distribuição de água, primeiramente por Rocha et al. (2009), para a calibração do coeficiente C de

Hazen-Williams.

Rocha et al. (2009) consideram o uso de redes de distribuição as quais foram chamadas de Rede Calculada e Rede Observada. No caso do uso de uma rede fictícia, os autores definiram, ainda, uma rede denominada Rede Gabarito.

Rede Calculada é a rede a qual serão realizados os cálculos hidráulicos e obtidos os resultados calculados. Parâmetros iniciais estimados são usados e, a cada iteração, com base no valor dos gradientes hidráulicos calculados obtidos nessa rede, esses parâmetros são alterados, gerando novos resultados, cada vez mais próximos dos medidos em campo.

Rede Observada é a rede que apresenta os mesmos parâmetros iniciais da rede calculada, no entanto, possui pressões fixadas de acordo com os dados conhecidos. Além disso, são obtidos valores de gradientes hidráulicos observados para cada trecho e, esses valores, podem ser diferentes a cada iteração, dependendo da forma de calibração do MIGHA utilizada;

Rede Gabarito é uma rede fictícia na qual todos os parâmetros de entrada e resultados hidráulicos são conhecidos. Pode ser utilizada como base para conferir os resultados encontrados com o uso do método.

Assim, o principal objetivo deste trabalho é a apresentação de uma aplicação da nova equação para calibração do fator de atrito de Darcy-Weisbach através do uso do Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA), apresentada em Bezerra et al. (2017), na rede de distribuição fictícia conhecida como Walski (1983) – Gambale (2000) e a comparação dos resultados com os resultados obtidos através de algoritmos genéticos no trabalho de Silva (2006).

2 | METODOLOGIA

2.1 Equação MIGHA utilizada para a calibração do fator de atrito

Como o fator de atrito f da fórmula universal da perda de carga é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico, a adaptação MIGHA para a calibração do fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach em redes de distribuição de água ocorre de acordo com a Equação 1.

$$f_j^{i+1} = f_j^i \left(\frac{|\nabla H_{C_j}^i|}{|\nabla H_{O_j}^i|} \right)^{-1} \quad (1)$$

Em que f é o fator de atrito, i é o número da iteração, j é a identificação do trecho, ∇H_c é o gradiente hidráulico calculado e ∇H_o é o gradiente hidráulico observado.

Para o cálculo da rugosidade absoluta, esta foi isolada na fórmula de Swamee-Jain e apresentada na Equação 2, uma vez que o simulador hidráulico utilizado, o

Epanet, utiliza esta equação para o cálculo do fator de atrito.

$$\varepsilon = \frac{3,7D \times (\text{Rey}^{0,9} - 5,74 \times 10^{0,5/\sqrt{f}})}{\text{Rey}^{0,9} \times 10^{0,5/\sqrt{f}}} \quad (2)$$

O software desenvolvido realiza a calibração através do fluxograma apresentado na Figura 1.

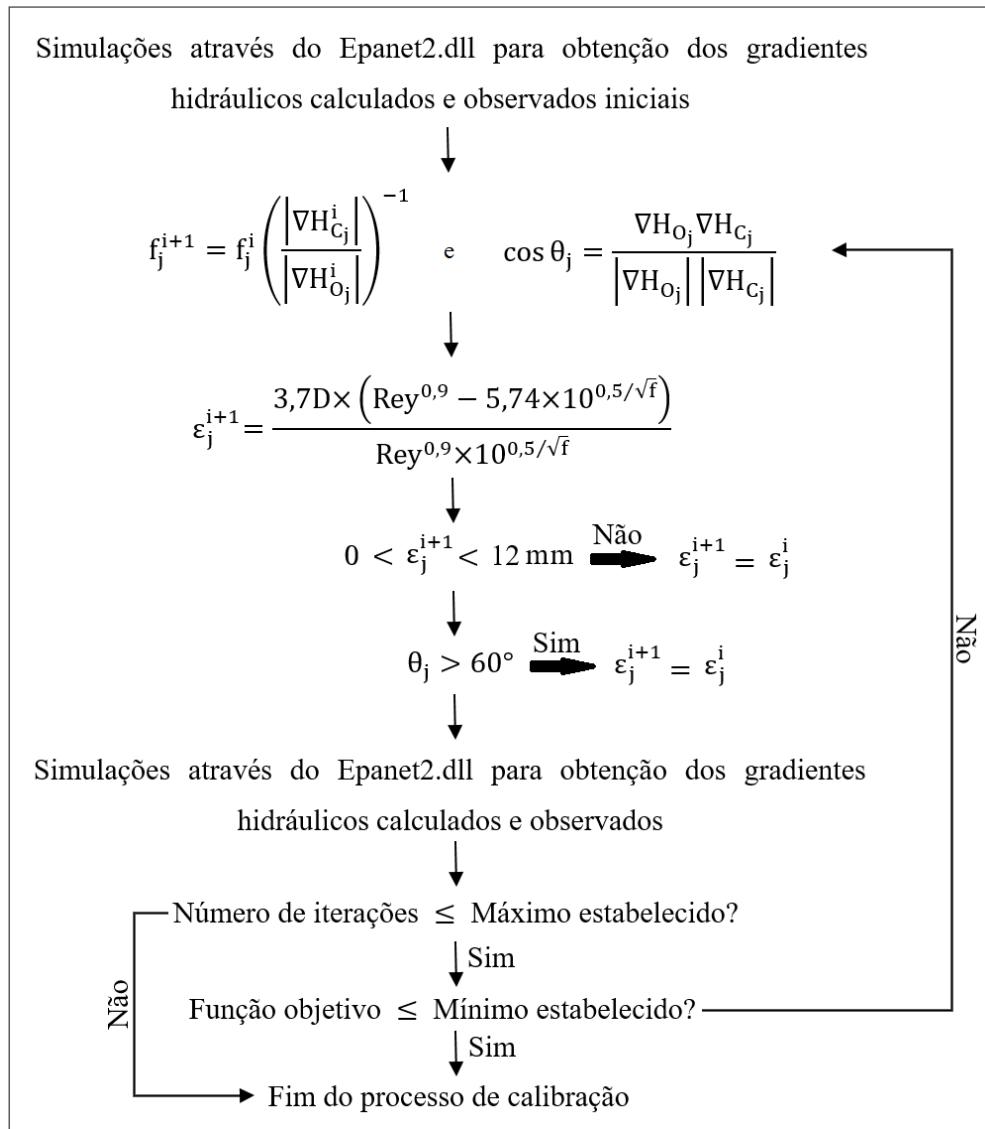


Figura 1 – Fluxograma do processo MIGHA para a calibração do fator de atrito e cálculo da rugosidade absoluta de Darcy-Weisbach

2.2 Rede de distribuição utilizada

A rede de distribuição utilizada, apresentada na Figura 2, é do tipo malhada e foi proposta por Walski (1983) e modificada por Gambale (2000). A rede apresenta 10 trechos e 7 nós. Os gabaritos referentes aos trechos e nós desta rede são apresentados nas Tabelas 1 e 2. As simulações realizadas para obtenção do gabarito tinham como cota do nível d'água do reservatório o valor 60,0 m.

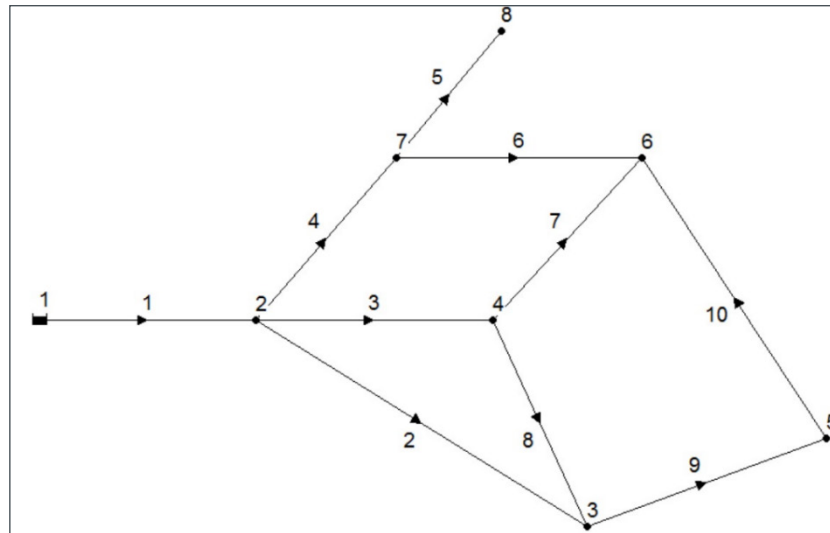


Figura 2 – Rede Walski (1983) – Gambale (2000)

Nome	1º Nó	2º Nó	Comp. (m)	Diâmetro (mm)	Rug. abs. (mm)	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Gradiente Hidráulico
1	1	2	700	500	0,09	363,5	1,85	0,00511
2	2	3	1800	250	1,2	41,9	0,85	0,00455
3	2	4	1520	400	0,2	188,68	1,5	0,00507
4	2	7	1220	300	0,12	132,92	1,88	0,01022
5	7	8	600	300	4,8	37,5	0,53	0,00216
6	7	6	1220	200	1,2	15,42	0,49	0,00204
7	4	6	920	250	0,5	62,15	1,27	0,00789
8	4	3	300	150	1	6,53	0,37	0,00162
9	5	3	600	200	6,5	-12,43	0,4	0,00238
10	6	5	1220	100	7,8	-2,43	0,31	0,00438

Tabela 1 – Gabarito referente aos trechos: Rede Walski (1983) – Gambale (2000)

Nó	Consumo (L/s)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
2	0	56,44	56,42
3	36	48,37	48,24
4	120	48,72	48,72
5	10	47,03	46,81
6	80	41,8	41,46
7	80	44,12	43,95
8	37,5	42,88	42,66

Tabela 2 – Gabarito referente aos nós: Rede Walski (1983) – Gambale (2000)

2.3 Comparação entre o MIGHA e algoritmos genéticos

Utilizando o MIGHA, os fatores de atrito dos trechos da rede de distribuição foram calibrados e suas rugosidades absolutas foram calculadas através da fórmula

de Swamee-Jain. A calibração através do MIGHA se deu com a utilização de uma rugosidade absoluta igual a 0,006 mm em todos os trechos da rede trabalhada. Foram considerados um número máximo de 100 iterações.

Já em Silva (2006), utilizando algoritmos genéticos, o autor calibrou a rugosidade absoluta de Darcy-Weisbach. Para este elemento da rede calibrado, os parâmetros utilizados pelo autor foram substituição de indivíduos do tipo steady-state, seleção tipo torneio, mutação gaussiana, recombinação aleatória dos operadores a cada geração e uma população de 2.000 indivíduos com 100 gerações.

Nos dois casos foram consideradas pressões conhecidas em todos os nós da rede.

3 | RESULTADOS

Para a calibração da rugosidade absoluta através de Algoritmos Genéticos e calibração do fator de atrito com uso do MIGHA, tanto as pressões quanto as rugosidades absolutas encontradas com uso da equação MIGHA utilizada neste trabalho foram piores que as encontradas em Silva (2006), com uso de Algoritmos Genéticos. Na Tabela 3 pode ser vista a comparação entre as pressões encontradas com calibrações realizadas com uso de Algoritmos Genéticos e obtidas através do MIGHA, além de seus erros relativos.

A comparação entre as rugosidades absolutas encontradas, além de seus erros relativos, entre as duas metodologias pode ser vista na Tabela 4.

Nó	Gabarito	Pressões (m)			
		AG	MIGHA	Erro (%) AG	Erro (%) MIGHA
2	56,42	56,42	56,43	0,00	0.02
3	48,24	48,21	48,37	0,06	0.27
4	48,72	48,73	48,72	0,02	0.00
5	46,81	46,77	47,03	0,09	0.47
6	41,46	41,42	41,8	0,10	0.82
7	43,95	43,95	44,12	0,00	0.39
8	42,66	42,66	42,88	0,00	0.52
Erro (%) médio:				0,04	0,35

Tabela 3 – Comparação entre as pressões encontradas com calibrações realizadas com uso de Algoritmos Genéticos e obtidas através do MIGHA

Trecho	Gabarito	AG	MIGHA	Erro (%) AG	Erro (%) MIGHA
1	0,09	0,091	0,088	1,11	2,51
2	1,2	1,092	0,483	9,00	59,74
3	0,2	0,19	0,221	5,00	10,62
4	0,12	0,135	0,150	12,50	24,93
5	4,8	4,759	4,253	0,85	11,39
6	1,2	2,307	4,372	92,25	264,35

7	0,5	0,455	0,346	9,00	30,83
8	1	1,424	7,659	42,40	665,91
9	6,5	5,614	2,228	13,63	65,72
10	7,8	3,717	0,105	52,35	98,65
Erro (%) médio:				23,81	123,47

Tabela 4 – Comparação entre as rugosidades absolutas encontradas com calibrações realizadas com uso de Algoritmos Genéticos e obtidas através do MIGHA

Percebe-se que, apesar de as pressões encontradas com a calibração realizada através do MIGHA possuírem valores mais distantes do gabarito que as encontradas através de Algoritmos Genéticos, exceto para o nó 4, os erros relativos calculados são menores que 1% em todos os nós, ou seja, apesar de o pior entre os testados, os resultados ainda são bons. Já no caso das rugosidades absolutas encontradas, os resultados calculados através do MIGHA não foram melhores em nenhum trecho da rede e, de forma geral, não foram bons com o uso de nenhum dos dois métodos, sendo, pior, quando calculados através do MIGHA.

Assim, percebe-se que, apesar de gerar excelentes resultados para as pressões, o método proposto não obteve as melhores rugosidades. No entanto, é válido considerar que o método MIGHA foi comparado com os melhores resultados obtidos por Silva (2006). Além disso, já é sabido que há uma necessidade de um elevado tempo de processamento do uso do Método de Algoritmos Genéticos e, para a calibração da rede Walski (1983) – Gambale (2000) com uso do MIGHA, o tempo de processamento foi inferior a 3 segundos, sendo necessário 4 iterações para chegar ao valor de função objetivo igual a 0,0000000001.

4 | CONCLUSÕES

O MIGHA foi comparado com a metodologia de Algoritmos Genéticos e, pôde-se perceber que as melhores pressões foram encontradas através de Algoritmos Genéticos, no entanto, as diferenças entre as pressões calculadas através do MIGHA e as pressões observadas/gabarito foram menores que 1%, o que mostra que, apesar de não ser o melhor resultado, este também foi muito bom. Quanto as rugosidades encontradas, os resultados foram inferiores aos de Algoritmos Genéticos, entretanto, com um tempo de processamento bem melhor. Assim, o uso do MIGHA não gera os melhores resultados, mas bons resultados em pouco tempo.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, A. A.; CASTRO, M. A. H.; ARAÚJO, R. S. A. (2017). **Absolute roughness calculation by the friction factor calibration using the Alternative Hydraulic Gradient Iterative Method on water distribution networks**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 22, e24.

- CHENG, W.; HE, Z. (2011). **Calibration of Nodal Demand in Water Distribution Systems**. Journal of Water Resources Planning and Management. v. 137, n. 1, pp. 31-40.
- DACACH, N. G. (1967). **Modalidades de r edes p ublicas de  gua**. Revista DAE. v. 27, n. 66, pp. 10-16.
- GAMBALE, S. R. (2000). **Aplic a o de algoritmo genético na calibra o de rede de  gua**. Disserta o (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 266 p.
- GOMES, H. P.; FORMIGA, K. T. M. (2001). **PNL2000 – Método Prático de Dimensionamento Econ mico de Redes Malhadas de Abastecimento de  gua**. Revista DAE. v. 6, n. 4, pp. 91-108.
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (2010). **Abastecimento de água para consumo humano**. v. 2, 2. ed., Belo Horizonte: Editora UFMG.
- RAO, Z.; SALOMONS, E. (2007). **Development of a real-time, near-optimal control process for water-distribution networks**. Journal of Hydroinformatics. v. 9, n. 1, pp. 25-37.
- ROCHA, V. A. G. M.; CASTRO, M. A. H.; ARAÚJO, J. K. (2009). **Calibra o de Rugosidade em Redes de Abastecimento a Partir de Gradientes Hidráulicos Através de Método Iterativo** in Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2009.
- SCHUSTER, H. D. M.; ARAÚJO, H. D. B. (2004). **Uma Formula o Alternativa do Método Iterativo de Gradiente Hidráulico no Procedimento de Calibra o dos Parâmetros Hidrodinâmicos do Sistema Aq ifero**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 9, n. 2, pp. 31-37.
- SILVA, A. C. A. (2006). **Calibra o automática de rugosidades de tubula es em sistemas de distribui o de água com aplica o de algoritmos genéticos**. Disserta o (Mestrado em Engenharia Civil:  rea de concentra o em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 176 p.
- SOARES, A. K.; CHEUNG, P. B.; REIS, L. F. R.; SANDIM, M. P. (2004). **Avalia o das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 9, n. 4, pp. 312-321.
- SOLOMATINE, D. P.; DIBIKE, Y. B.; KUKURIC, N. (1999). **Automatic calibration of groundwater models using global optimization techniques**. Hydrological Sciences Journal. v. 44, n. 6, pp. 879-894.
- TSUTIYA, M. T. (2006). **Abastecimento de água**. 3. ed., São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- WALSKI, T. M. (1983). **Technique for Calibrating Network Models**. Journal of Water Resources Planning and Management. v. 109, n. 4, pp. 360-372.
- WOLKMER, M. F. S.; PIMMEL, N. F. (2013). **Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental**. Sequência: Estudos Juridicos e Politicos. v. 34, n. 67, pp. 165-198.

SOBRE O ORGANIZADOR

JOÃO DALLAMUTA Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ácidos Graxos 138, 139, 143, 146, 147
Águas Pluviais 25, 26, 27, 28, 31, 33, 38, 39, 40, 43, 45, 55, 76
Algoritmo de Roteamento 120, 123, 126, 127
Algoritmo de Utilização de Regeneradores 120
Análise de Redes Sociais 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 103, 104
Arquitetura 55, 123, 128, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 136
Aspectos Botânicos 170, 171

B

Biocombustível 161, 162, 164, 165
Biodiesel 3, 13, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169
Biomassa 3, 8, 13, 161

C

Calibração 46, 48, 49, 50, 52, 53, 54
Caraúbas 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44
Cluster Comercial 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103
Concatenação 128, 129, 135
Conservação de Energia Elétrica 15, 16, 20, 23, 24
Controle de Posição 106, 110, 112, 113, 117, 118, 119

D

Degradação de Estruturas 68
Demanda Energética 1, 2, 7, 8, 9, 10, 12
Desenvolvimento Urbano Sustentável 55
Destilado de Desodorização 138
Drenagem Urbana 25, 37, 38, 40, 43, 44

E

Economia de Energia 15, 22
Eficiência Luminosa 15, 16, 17, 18
Energia Alternativa 161
Equilíbrio Sólido-Líquido 138, 140, 141, 144
Equipamento de Litografia Óptica 106, 108, 110, 111, 112, 118
Escoamentos 25, 27, 29, 30, 31, 33, 56, 62

F

Fator de Atrito 46, 49, 50, 52

Filtro Óptico 128, 129, 130, 132

Fotocatálise 80, 81, 82, 89, 149, 150, 151, 160

G

Gestão de Águas Urbanas 36, 38, 44

L

Lixívia Ácida 80, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 159

M

Mesa Cartesiana XY 106

Microgravação 106

MIGHA 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Moagem de Alta Energia 80, 81, 82, 83, 86, 89, 91, 149, 150, 151, 154, 159, 160

Modelagem Termodinâmica 138

N

Nanopartículas 81, 92, 149, 150, 160

Nanopós 81, 149, 150, 151, 152, 153

O

Óleos Essenciais 170, 171

P

Patologias 68, 69

Penalidade Física 128, 129

Propriedades Medicinais 170

Q

Qualidade de Transmissão 120, 121, 128, 129

R

Rede Óptica Elástica 120, 127, 128, 136

Rede Óptica Elástica Translúcida 120, 127, 136

Remoção de Contaminantes 25, 33

Requalificação Ambiental 55, 57, 61, 65

Resiliência a Inundações 55, 57, 60, 62, 65

Roraima 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14

S

Saneamento Básico 36, 37, 43, 44

Solubilidade 32, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 148

T

Teatros Públicos 68

TiO₂ 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160

Tratamento de Efluentes 25, 26, 33, 82, 151

Troca de Informações 93, 96, 98, 101, 103

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-682-9

