

# Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade 2

Luis Miguel Schiebelbein  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**Luis Miguel Schiebelbein**

(Organizador)

# **Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade 2**

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

G393 Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade 2 / Organizador Luis Miguel Schiebelbein. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.  
– (Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade; v.2)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-025-4  
DOI 10.22533/at.ed.254190901

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Schiebelbein, Luis Miguel. II. Título. III. Série.

CDD 343.81

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

2018

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.

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

## APRESENTAÇÃO

Na continuidade do Volume I, a obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade” aborda uma série de artigos e resultados de pesquisa, em seu Volume II, contemplando em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos científicos e tecnológicos para as áreas em questão.

Estrategicamente agrupados nas grandes áreas temáticas de Qualidade da Água, Recursos Hídricos no Abastecimento, Utilização Agrícola dos Recursos Hídricos & Sustentabilidade, traz à tona informações de extrema relevância para a área dos Recursos Hídricos, assim como da Sustentabilidade.

Os capítulos buscam de maneira complementar, abordar as diferentes áreas além de concentrar informações envolvendo não só os resultados aplicados, mas também as metodologias propostas para cada tipo de estudo realizado.

Pela grande diversidade de locais e instituições envolvidas, na realização das pesquisas ora publicadas, apresenta uma grande abrangência de condições e permite, dessa forma, que se conheça um pouco mais do que se tem de mais recente nas diferentes áreas de abordagem.

A todos os pesquisadores envolvidos, autores dos capítulos inclusos neste Volume II, e, pela qualidade e relevância de suas pesquisas e de seus resultados, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Complementarmente, espera-se que esta obra possa ser de grande valia para aqueles que buscam ampliar seus conhecimentos nessa magnífica área da Gestão de Recursos Hídricos, associada à Sustentabilidade. Que este seja não só um material de apoio, mas um material base para o estímulo a novas pesquisas e a conquista de resultados inovadores.

Luis Miguel Schiebelbein

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA POLÍTICA DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE CANÁPOLIS-MG	
<i>Roberta Christina Amancio</i>	
<i>Hérica Leonel de Paula Ramos Oliveira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2541909011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
AVALIAÇÃO DA EUTROFIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS AÇUDE DA MACELA E JACARECICA ITABAIANA-SE DO ATRAVÉS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS-IQAR	
<i>Maria Caroline Silva Mendonça</i>	
<i>Helenice Leite Garcia</i>	
<i>Valdelice Leite Barreto</i>	
<i>Carlos Alexandre Borges Garcia</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2541909012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO POÇÃO DA RIBEIRA USANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	
<i>Carlos Eduardo Oliveira Santos</i>	
<i>Lucas Cruz Fonseca</i>	
<i>José do Patrocinio Hora Alves</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2541909013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>31</b>
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS LANÇADAS POR BACIAS DE DETENÇÃO EM CORPOS HÍDRICOS NO DISTRITO FEDERAL, DF – BRASIL.	
<i>Carolinne Isabella Dias Gomes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2541909014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>40</b>
AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE EFLUENTES DE AGROINDÚSTRIAS DA REGIÃO CELEIRO DO RS	
<i>Marieli da Silva Marques</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2541909015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>47</b>
COMPARAÇÃO DE ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DE ESTADO TRÓFICO EM RESERVATÓRIO UTILIZADO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO DURANTE PERÍODO DE SECA, SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
<i>Leandro Gomes Viana</i>	
<i>Patrícia Silva Cruz</i>	
<i>Dayany Aguiar Oliveira</i>	
<i>Ranielle Daiana dos Santos Silva</i>	
<i>José Etham de Lucena Barbosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2541909016</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 55**

UTILIZAÇÃO DA CAFEÍNA COMO INDICADOR DE CONTAMINAÇÃO POR ESGOTO DOMESTICO NO AÇUDE BODOCONGÓ EM CAMPINA GRANDE, PB

*Alvânia Barros De Queiróz*  
*Neyliane Costa De Souza*  
*Márcia Ramos Luiz*  
*Geralda Gilvania Cavalcante*  
*Lígia Maria Ribeiro Lima*

**DOI 10.22533/at.ed.2541909017**

**CAPÍTULO 8 ..... 66**

UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO – IQAR PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS ALGODOEIRO E GLÓRIA

*Anairam Piedade de Souza Melo*  
*Helenice Leite Garcia*  
*Maria Caroline Silva Mendonça*  
*Valdelice Leite Barreto*  
*Carlos Alexandre Borges Garcia*

**DOI 10.22533/at.ed.2541909018**

**CAPÍTULO 9 ..... 77**

ANÁLISE DA ESCASSEZ HÍDRICA NO PAÍS NO PERÍODO 2012-2016 E DAS AÇÕES DE GESTÃO EM ÁREAS CRÍTICAS

*Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares*  
*Alexandre Lima de Figueiredo Teixeira*  
*Teresa Luísa Lima de Carvalho*  
*Laura Tillmann Viana*

**DOI 10.22533/at.ed.2541909019 .**

**CAPÍTULO 10 ..... 92**

DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: OTIMIZAÇÃO EVOLUTIVA CONSIDERANDO CUSTOS DE MANUTENÇÃO

*Marcos Rodrigues Pinnto*  
*Marco Aurélio Holanda de Castro*  
*João Marcelo Costa Barbosa*  
*Josér Valmir Farias Maia Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090110**

**CAPÍTULO 11 ..... 100**

CONSIDERAÇÕES E REFLEXÕES SOBRE O QUADRO DE CRISE NO ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE – MG: O CASO DA BACIA DO ALTO RIO DAS VELHAS

*Bernardo Ribeiro Filizzola*  
*Cristiano Pena Magalhães Marques*  
*Rodrigo Silva Lemos*  
*Antônio Pereira Magalhães Junior Guilherme Eduardo Macedo Cota*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090111**

**CAPÍTULO 12 ..... 111**

SÍNTESE DE SISTEMAS DE TRATAMENTO FINAL DE EFLUENTES INDUSTRIAIS NA SELEÇÃO DE CENÁRIOS DE REÚSO DE ÁGUA

*Reinaldo Coelho Mirre*  
*Mariana de Souza dos Santos*  
*Dalal Jaber Suliman Abdullah Audeh*

*André Luiz Hemerly Costa Fernando Luiz*

*Pellegrini Pessoa*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090112**

**CAPÍTULO 13..... 120**

FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS EM MANANCIAS DE ABASTECIMENTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

*Patrícia Silva Cruz*

*Leandro Gomes Viana*

*Dayany Aguiar Oliveira*

*Ranielle Daiana dos Santos Silva*

*José Etham de Lucena Barbosa*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090113**

**CAPÍTULO 14..... 128**

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

*Gilson Bárbara*

*Marcelo José Romagnoli*

*Dagmar Aparecida de Marco Ferro*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090114**

**CAPÍTULO 15..... 131**

DIAGNÓSTICO DAS COMUNIDADES RURAIS DIFUSAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO

*Eduardo Jorge de Oliveira Motta*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090115**

**CAPÍTULO 16..... 141**

DIAGNÓSTICO SOCIOECONÔMICO E FORMULAÇÃO DE PROJETOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA PARA A REGIÃO RURAL DA CIDADE DE BELÉM – PA

*Roberta Andrade Ribeiro*

*Ana Carla Bezerra Santos*

*Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes*

*Maria Ludetana Araújo*

*Antônio de Noronha Tavares*

*Rubens Takeji Aoki Araujo Martins*

*Gustavo Neves Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090116**

**CAPÍTULO 17 ..... 150**

ANÁLISE DE CENÁRIOS COM REDUÇÃO DA DEMANDA DA ORIZICULTURA NA BACIA DO RIO SANTA MARIA COM APLICAÇÃO DO MODELO CRUZ

*Christhian Santana Cunha*

*Rafael Cabral Cruz*

*Tatiani Coletto*

*Vinicius Ferreira Dulac*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090117**

**CAPÍTULO 18..... 161**

IDENTIFICAÇÃO DOS ARRANJOS PRODUTIVOS LOCAIS NA PESCA E AQUICULTURA NO PARÁ APLICANDO O ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO NORMALIZADO

*Elias Fernandes de Medeiros Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.25419090118**

<b>CAPÍTULO 19 .....</b>	<b>167</b>
ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA DO MILHETO IRRIGADO COM ÁGUA CINZA TRATADA	
<i>Mychelle Karla Teixeira de Oliveira</i>	
<i>Rafael Oliveira Batista</i>	
<i>Francisco de Assis de Oliveira</i>	
<i>Allana Rayra Holanda Sotero</i>	
<i>Wellyda Keorle Barros de Lavôr</i>	
<i>Ricardo André Rodrigues Filho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25419090119</b>	
<b>CAPÍTULO 20 .....</b>	<b>174</b>
DESENVOLVIMENTO DO MILHETO CV. CEARÁ IRRIGADO COM ÁGUA CINZA TRATADA	
<i>Ricardo André Rodrigues Filho</i>	
<i>Mychelle Karla Teixeira de Oliveira</i>	
<i>Rafael Oliveira Batista</i>	
<i>Francisco de Assis de Oliveira</i>	
<i>Allana Rayra Holanda Sotero</i>	
<i>Wellyda Keorle Barros de Lavôr</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25419090120</b>	
<b>CAPÍTULO 21 .....</b>	<b>181</b>
AVALIAÇÃO DA TAXA DE DECRÉSCIMO DE UMIDADE PARA DIFERENTES AMOSTRAS DE ÁGUA, AREIA E CAVACO DE MADEIRA	
<i>Adelino Carlos Maccarini</i>	
<i>Marcelo Risso Errera</i>	
<i>Marcelo Rodrigues Bessa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.25419090121</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>187</b>



## DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: OTIMIZAÇÃO EVOLUTIVA CONSIDERANDO CUSTOS DE MANUTENÇÃO

**Marcos Rodrigues Pinnto**  
**Marco Aurélio Holanda de Castro**  
**João Marcelo Costa Barbosa**  
**José Valmir Farias Maia Junior**

**RESUMO:** Um sistema de distribuição de água (SDA) tem como principal fator de custo os condutos nela empregados. Portanto, muitas pesquisas sobre o dimensionamento de um SDA considerando o preço de cada conduto já foi desenvolvida. No entanto, poucos estudos levaram em conta os custos de manutenção do sistema ao longo de sua vida útil. Menos ainda podem ser encontrados estudos lidando com o custo de manutenção e de implantação de forma simultânea. Este estudo aplicou um algoritmo evolutivo biobjetivo e multipopulação para resolver o problema de determinar a frente de Pareto que relacione esses dois objetivos conflitantes. Os resultados obtidos pelo algoritmo são comparados com resultados de outro programa de dimensionamento econômico de redes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidráulica Computacional; Algoritmos Evolutivos; Otimização Multiobjetivo.

**ABSTRACT:** since 1980's, the economic sizing of a water distribution network had received focus on the implantation cost. Pipes with diameters more thin have minor price, so in absence of

hydraulics restrictions, this problem will have as solution a network with more thin pipes. Hence solution from these approaches prioritize the more thin pipes since hydraulics restriction were satisfied. But, after a certain age, it would be more cost-effective to replace the pipes than to repair them. Then while incorporating pipe-break rate into optimization leads to slightly larger diameter pipes and elevate implanting cost, in lifetime the repair and replacement of pipes will have its cost decreased, as we shall show in this work. We not only compare the cost with and without maintenance cost but we proceed the simultaneous minimization via a multi-objective evolutionary algorithm.

**KEYWORDS:** Computational Hydraulic; Evolutionary Algorithms; Multi-objective Optimization.

### INTRUDUÇÃO

O dimensionamento econômico de redes de distribuição de água a partir dos anos 1980 tem como principal objetivo a minimização do custo de implantação da rede (PINTO; FIGUEIRA; MARQUES, 2015; SHERALI; SMITH, 1997; ALENCAR-NETO; CASTRO, 2004; CASTRO; COSTA, 2004; GOMES; DIAS, 2007; MAIA-JUNIOR, 2013). As redes obtidas em um dimensionamento que considere

somente o custo de implantação, ausentes as restrições hidráulicas, resultará em uma rede composta pelos condutos de diâmetro mais estreito, pois representam os de menor preço. Isso conduz à conclusão de que, ao considerar apenas o custo de implantação, obtem-se a rede de condutos mais estreitos que atenda às restrições hidráulicas.

No entanto, canos mais estreitos estão relacionados a taxas de quebra mais elevadas (NEELAKANTAN; SURIBABU; LINGIREDDY, 2008) e, portanto, necessitando mais reparos e substituições ao longo da vida útil da rede. Essa maior frequência em reparos e substituições pode elevar o custo de manutenção de forma a comprometer a economia realizada na implantação da rede.

A abordagem proposta neste trabalho inclui os custos de manutenção e de implantação no dimensionamento de uma rede e compara os custos da rede obtida com os respectivos custos quando o dimensionamento é realizado considerando-se apenas custos de implantação. A multiobjetividade envolvendo o projeto de uma RDA consiste em encontrar uma linha de troca aceitável entre os diversos objetivos conflitantes (RAAD; SINSKE; VUUREN, 2010), especialmente os que visam minimizar custo e maximizar outras características como a confiabilidade hidráulica.

A confiabilidade de um sistema de distribuição de água, i.e., a característica de fornecer o serviço para o qual foi planejada (CARRIÓN et al., 2010), depende de mecanismos de degradação e da integridade dos condutos, a qual pode ser influenciada por processos termo-hidráulicos – além de dependerem da confiabilidade dos equipamentos instalados e da fonte de suprimento (RIMKEVICIUS et al., 2012).

Dessa forma, implementar uma rede de custo mínimo desconsiderando a sua confiabilidade pode resultar em custos maiores durante a vida útil da mesma, contabilizados os custos de reparo propriamente ditos e o custo do inconveniente suportado devido à eventual falha no fornecimento (SHERALI; SMITH, 1997).

Uma das dificuldades no processo de otimização de uma RDA é a disponibilidade de um número limitado de diâmetros de condutos no mercado. A combinação de condutos de diversos diâmetros para compor a rede deve atender a restrições hidráulicas para que a mesma seja funcional. Condutos com diâmetros maiores tendem a ser mais caros, sendo portanto preteridos na implantação. No entanto, condutos de diâmetros menores tendem a quebrar com mais frequência e sofrer mais facilmente com o processo de aumento da rugosidade ao longo da vida útil da rede (SHAMIR, 1979).

## **METODOLOGIA**

Considerando o problema como um problema combinatório com restrição, aplicou-se um método heurístico de busca para encontrar uma solução melhor que a vasta maioria de soluções possíveis. O algoritmo MINPGA (Multiple Island Niched-

Pareto Genetic Algorithm) resolveu o problema de otimização com dois objetivos: minimizar o custo de implantação (CI) e minimizar o custo de manutenção (CM).

Funções da biblioteca OOTEN (Oriented Object Toolkit for EPANET) foram utilizadas para: abrir o arquivo INP; capturar o número de condutos na rede em estudo; capturar os comprimentos dos condutos; alterar os diâmetros da rede original; resolver hidráulicamente a rede; capturar as pressões nos nós para verificar a restrição hidráulica de que, exceto ao de um reservatório, a nenhum nó é permitido ter pressão menor que 10 mca.

Os diâmetros disponíveis para os condutos somam em nove e foram associados ao anel algébrico  $\mathbb{Z}_9$  da forma mostrada na tabela 1:

Diâmetro Interno (mm)	54.6	77.2	100	156.4	202.2	252	299.8	394.6	498.4
Elemento de $\mathbb{Z}_9$	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Tabela 1- Diâmetros internos associado ao anel algébrico

O custo de implantação é calculado aplicando-se a equação 1:

$$CI = \sum_{i=1}^n C_{di} L_i \quad 1$$

Na equação equação 1:

- CI → Custo de Implantação do projeto de RDA (R\$);
- n → Número de trechos presentes na RDA;
- $C_{di}$  → Custo associado ao diâmetro no trecho i (R\$/m);
- $L_i$  → Comprimento do i-ésimo trecho (m).

A equação 2

$$CM = \sum_{j=1}^r \left( \frac{1}{(1+i)^j} \sum_{k=1}^t p_r \exp(A \cdot j) I_{(k)} l_{(k)} \right) \quad 2$$

representa o custo de manutenção ao longo da vida útil do projeto, tendo os seguintes parâmetros:

- CM → Custo de Manutenção do projeto de RDA (R\$);
- r → Número de anos de vida útil da rede considerada;
- t → Número de trechos presentes na rede;
- $p_r$  → Taxa de quebra por período (quebra/ano-km);
- $I_{(k)}$  → Custo de implantação por medida de comprimento do trecho k com diâmetro  $d_{(k)}$  (R\$/m);
- $l_{(k)}$  → Comprimento do k-ésimo trecho (m).
- i → Taxa de desconto por ano.
- A → Coeficiente de crescimento da taxa de quebra por ano.

As taxas de quebra utilizadas na função-objetivo CM foram adaptadas da literatura. O coeficiente de crescimento da taxa de quebra é oriundo de Neelacantan et al. (2008), a saber,  $A=0,01$ .

Os números de quebras por ano por quilômetro no início do processo atribuídas a cada conduto de acordo com seu diâmetro e o respectivo preço por unidade comprimento estão dispostas na tabela 2.

Diâmetro Interno (mm)	54.6	77.2	100.0	156.4	202.2	252.0	299.8	394.6	498.4
Taxa de Quebra (quebra/ano-km)	0.25	0.22	0.19	0.16	0.13	0.10	0.07	0.04	0.01
Preço (R\$/m)	17.4	22.49	29.86	50.69	77.74	112.38	152.87	271.33	429.39

Tabela 2- Taxa de quebra por ano-quilômetro

## RESULTADOS

A rede Hanoi é composta por 32 nós, 34 trechos e 3 voltas. Há um reservatório de carga fixa de 100 m no nó 1. O dimensionamento foi efetuado considerando-se nove possibilidades de diâmetros, em vez de seis, como encontrado em geral na literatura. Esse tipo de adaptação não é novidade na literatura (veja por exemplo: SHERALI e SMITH, 1997, p. 124). Os nove diâmetros são os seis comumente vistos na literatura adicionados de mais três extraídos de manuais de fabricantes. A pressão mínima a ser respeitada neste exemplo é de 30 m e a elevação é zero em todos os nós. O material considerado foi o ferro fundido, cujos preços em reais (R\$) por metro (m) de comprimento de acordo com o diâmetro e as respectivas taxas de quebra estão na tabela 3.

Diâmetro Interno (mm)	304.8	406.4	508	609.6	762	1016	1095.6	1217	1292.6
Custo (R\$/m)	261.03	355.32	430.71	892.1	1269.67	2225.68	2681.69	3179.76	3719.89
TaxaQuebra (quebra/ano-km)	0.1	0.07	0.04	0.01	0.007	0.004	0.001	0.0007	0

Tabela 3 - Preços de por metro de comprimento conforme diâmetro (mm)

Fonte: autor.

As taxas de quebra de acordo com diâmetro são hipotéticas, mas seguem a tendência decrescente com o diâmetro dos condutos. Os preços têm por base os fornecidos por fabricantes. A taxa de juros aplicada foi de 4% como nos casos anteriores.

O módulo UFC4 não reconheceu a rede Hanoi para dimensioná-la. Utilizou-se então o LENHSNET acoplado ao EPANET 2.0 BRASIL para dimensionar essa rede sob as mesmas condições do ONEBEAR. Ao contrário do que foi feito no módulo UFC4, o LENHSNET não foi modificado para considerar o custo de manutenção. Assim, tomou-

se o resultado do dimensionamento visando ao custo mínimo de implantação do projeto e calculou-se o custo de manutenção ao longo de vinte anos. Os os comprimentos de cada trecho e demanda por nó estão na tabela 4-a e 4-b.

Trecho	Comprimento (m)	Nó	Demanda por nó	
			m³/h	L/s
1	100	2	890	247.22
2	1350	3	850	236.11
3	900	4	130	36.11
4	1150	5	725	201.39
5	1450	6	1005	279.17
6	450	7	1350	375.00
7	850	8	550	152.78
8	850	9	525	145.83
9	800	10	525	145.83
10	950	11	500	138.89
11	1200	12	560	155.56
12	3500	13	940	261.11
13	800	14	615	170.83
14	500	15	280	77.78
15	550	16	310	86.11
16	2730	17	865	240.28
17	1750	18	1345	373.61
18	800	19	60	16.67
19	400	20	1275	354.17
20	2200	21	930	258.33
21	1500	22	485	134.72
22	500	23	1045	290.28
23	2650	24	820	227.78
24	1230	25	170	47.22
25	1300	26	900	250.00

Tabela 4 – a) Comprimento por trecho (1-25) e demanda por nó - Hanoi

Trecho	Comprimento (m)	Nó	Demanda por nó	
			m³/h	L/s
26	850	27	370	102.78
27	300	28	290	80.56
28	750	29	360	100.00
29	1500	30	360	100.00
30	2000	31	105	29.17
31	1600	32	805	223.61
32	150			
33	860			
34	950			

Tabela 4 – b) Comprimento por trecho (26-34) e demanda por nó - Hanoi

Fonte: autor.

O traçado da rede Hanoi está disposto na Figura 1.

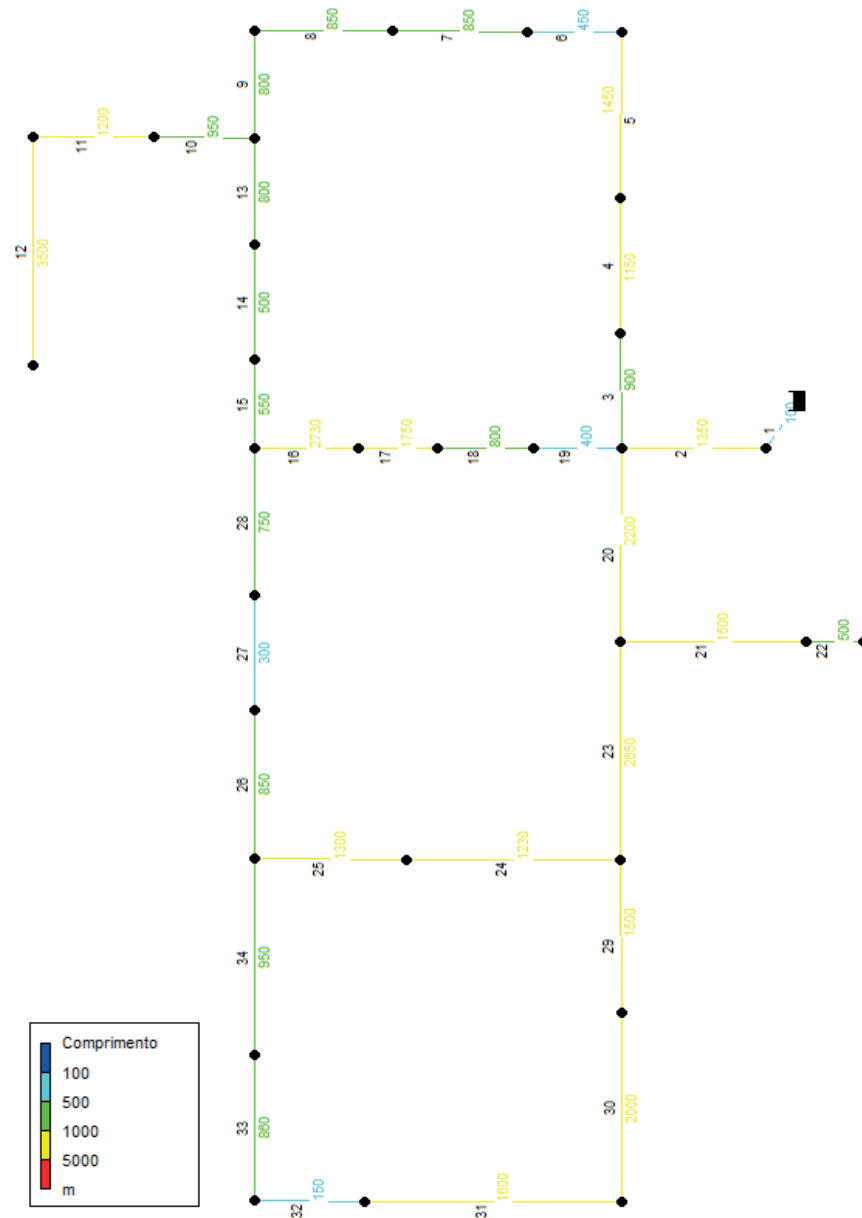


Figura 1 - Rede Hanoi

Fonte: [http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page\\_id=489](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page_id=489)

Os resultados do dimensionamento efetuado pelo LENHSNET e pelo ONEBEAR estão dispostos na tabela 5.

	CI	CM	Total
ONEBEAR	R\$41.462.264,60	R\$486.452.282,98	R\$ 527.914.547,58
LENHSNET	R\$37.817.989,30	R\$750.753.790,99	R\$ 788.571.780,29

Tabela 5 - Resultados para a rede Hanoi

Fonte: autor.

A função-objetivo do LENHSNET não foi adaptada para considerar o custo de manutenção, portanto, seu dimensionamento teve como meta obter o custo mínimo

de implantação de projeto. Com os diâmetros obtidos para compor a rede ótima, foram feitos os cálculos para determinar o custo de manutenção sob as mesmas condições dadas ao ONEBEAR, como taxa de juros e taxa de quebra por ano.

Isso o conduziu a encontrar um CI menor em cerca de 9% do que o encontrado com a rede fornecida pelo ONEBEAR. Esse resultado confirma a expectativa de que, a menos de restrições hidráulicas, o algoritmo tende a encontrar as redes com diâmetros mais estreitos, preterindo os diâmetros mais largos. Em outras palavras, o algoritmo encontrará a rede com os menores diâmetros que satisfaça às restrições hidráulicas presentes.

Por outro lado, ao considerar-se uma vida útil de vinte anos, o CM da rede dada pelo LENHSNET custa 54,33% mais que o CM da rede obtida pelo ONEBEAR.

Isso se dá porque, ao considerar o CM simultaneamente ao CI, o algoritmo MINPGA busca o equilíbrio entre taxas de quebra mais baixas e preços menores de condutos. De acordo com a hipótese assumida – as taxas de quebra diminuem à medida que os diâmetros aumentam – a vantagem buscada pelo algoritmo está no longo prazo, dada uma taxa de juros e o número de anos. Ao desconsiderar o CM, o dimensionamento feito pelo LENHSNET, ou por outro algoritmo, tenderia a obter redes contendo os diâmetros com as maiores taxas de quebra e portanto apresentando desvantagem econômica a longo prazo.

Outra diferença entre resultados obtidos com a abordagem de objetivo único em relação à de objetivo múltiplo é que na primeira, mesmo considerando os custos de manutenção em sua função-objetivo, o algoritmo tende a encontrar os diâmetros satisfazendo restrições hidráulicas, como a pressão mínima, de forma que o custo total seja o menor possível sem buscar um equilíbrio entre os custos de implantação e de manutenção. Essa característica pode levar a soluções que priorizem um dos custos em detrimento do outro.

## CONCLUSÕES

O dimensionamento de redes efetuado considerando-se simultaneamente os custos de implantação e de manutenção, pode representar uma economia no custo total do projeto ao longo de sua vida útil. No caso avaliado, dentro das condições dadas, a economia do projeto dimensionado considerando-se simultaneamente os custos de implantação e de manutenção foi de cerca de 15%.

O problema combinatório com restrição que se apresenta foi resolvido de forma eficiente por uma heurística bio-inspirada. A acoplagem da ferramenta OOTEN ao MINPGA funcionou de forma estável e foi fundamental para a avaliação das redes com respeito a requisitos hidráulicos e o atendimento da demanda.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR-NETO, M.F., CASTRO, M.A.H. “Projeto de Redes de Distribuição de Água por Algoritmo Genético”, in: IV SEREA - Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa (Brasil), 8 a 10 de novembro de 2004.
- BOIX, M., MONTRASTUC, L., PIBOUULEAU L., AZZARO-PANTEL, C., DOMENECH, S. A multiobjective optimization framework for multicontaminant industrial water network design. *Journal of Environmental Management*, vol. 92, pp. 1802-1808, doi:10.1016/j.jenvman.2011.02.016, 2011.
- CARRIÓN, A., SOLANO, H., GAMIZ, M.L., DEBÓN, A. Evaluation of the Reliability of a Water Supply Network from Right-Censored and Left-Truncated Break Data. *Water Resour Manage*, vol. 24, 2010, pp 2917-2935.
- CASTRO, M. A. H de. COSTA, C. T. “Otimização de Redes de Distribuição de Água Usando a Metodologia de Morgan e o EPANET”, in: IV SEREA - Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa (Brasil), 8 a 10 de novembro de 2004.
- DIAS, C.H. e GOMES, F.A.M. Otimização de redes de distribuição de água com estações de bombeamento. *TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional*, 8(3):391- 400, 2007.
- MAIA-JUNIOR, J.V.F. Comparação de métodos de dimensionamento em redes de distribuição de água. 2012, 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- RAAD, D., SINSKE, A., VUUREN, J. Multiobjective Optimization for Water Distribution System Design Using a Hyperheuristic. *Journal of Water Resources Planning and Management*, DOI: : 10.1061/#ASCEWR.1943-5452.0000061, vol. 136, pp. 592-596, 2010.
- RIMKEVICIUS, S.; KALIATKA, A.; VALINCIUS, M.; DUNDULIS, G.; JANULIONIS, R.; GRIBENAS, A.; ZUTAUTAITE, I. Development of approach for reliability assessment of pipeline network system, *Applied Energy*, vol. 94, pp 22-33, June 2012.
- SHAMIR, U., HOWARD, C.D.D. An analytic approach to scheduling pipe replacement. *Journal American Water Works Association*, ed. 74, vol. 03, pp 248-258, 1979.
- SHERALI, H.D., SMITH, E.P. A Global Optimization Approach to a Water Distribution Network Design Problem. *Journal of Global Optimization*, vol. 11, pp. 107–132, 1997.
- NEELAKANTAN, SURIBABU, C.R. & LINGIREDDY, S. Optimisation procedure for pipe-sizing with break-repair and replacement economics. *Water SA* Vol. 34 No. 2 April 2008.
- PINTO, F.S.; FIGUEIRA, J.R.; MARQUES, R.C. A multi-objective approach with soft constraints for water supply and wastewater coverage improvements. *European Journal of Operational Research*, vol. 246, No 2, pp 609-618, November 2015.



## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Luis Miguel Schiebelbein** - Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1997) e mestrado em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2006), Doutorado em Agronomia - Fisiologia, Melhoramento e Manejo de Culturas, pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2017). Atualmente é Professor dos Cursos de Agronomia, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Superior Tecnológico em Radiologia e de Pós-Graduação em Agronegócio e Gestão Empresarial do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). É revisor da Revista de Ciências Agrárias - CESCAGE, Professor Colaborador do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) . Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura de Precisão, Geoprocessamento, Modelagem e Ecofisiologia da Produção Agrícola, Agrometeorologia, Hidrologia, Mecanização, Aplicação em Taxa Variável, Fertilidade do Solo e Qualidade.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-025-4

