

LILIANE LAZZARI ALBERTIN

Técnica de gerenciamento da qualidade hídrica superficial baseada na otimização
multiobjetivo

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Doutor em
Ciências da Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

São Carlos

2008

FOLHA DE JULGAMENTO

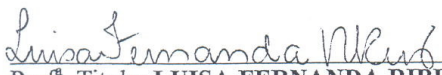
Candidata: Engenheira **LILIANE LAZZARI ALBERTIN**

Tese defendida e julgada em 09/05/2008 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Dr. **FREDERICO FABIO MAUAD (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovada




Prof.ª Titular **LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovada



Prof. Titular **CARLOS ALBERTO MARIOTONI**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

APROVADA



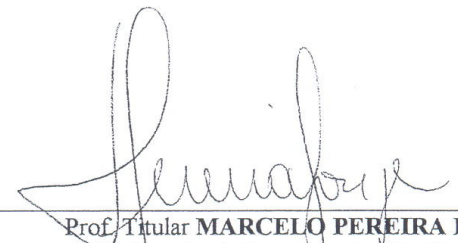
Prof. Associado **ANTONIO MAROZZI RIGHETTO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovada



Prof. Dr. **JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA**
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP-Campus de Ilha Solteira)

Aprovada



Prof. Titular **MARCELO PEREIRA DE SOUZA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Engenharia Ambiental



Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

*À Jéssica Lara e Maria Eduarda,
com muito carinho.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad, pela orientação e confiança sempre depositada, pelos ensinamentos de vida, enfim, pela amizade conquistada ao longo desses 6 anos.

Aos professores, Luisa Fernanda Ribeiro Reis, Fazal Hussain Chaudhry, Evaldo Luis Gaeta Espíndola, Marcelo Pereira de Souza, pelo carinho de sempre e pelo suporte acadêmico.

Ao saudoso amigo Carlos Roberto Ruchiga Corrêa Filho, a quem eu devo boa parte de meus conhecimentos profissionais e por todos os momentos compartilhados.

A todos os que passaram ou ainda estão no Núcleo de Hidrometria, em especial, Carlos, Diego, Felipe, Cesinha, Ivo, James, Wellington, Beto, Miro. Pela alegria do dia a dia, pelas experiências e auxílios trocados, pela amizade. Sei que todos estão tão felizes quanto eu por essa conquista.

Aos colegas Peter Batista Cheung e Fernando Graças Braga da Silva, hoje professores da UFSC e UNIFEI, respectivamente, pelo auxílio na formação da idéia deste trabalho.

Ao Prof. Dr. João Antônio de Vasconcelos, da UFMG, por disponibilizar o algoritmo NSGA.

A todos os funcionários e amigos do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, pela atenção, disposição, paciência e carinho, em especial, Claudete, Mara, Sônia, Nelson, Achilles, Paulo e Clarisse.

A todos os meus familiares, em especial à minha mãe, Maria Gertrudes, sempre presente em todos os momentos de minha vida, dando conforto, apoio, coragem, por ser responsável pela minha formação, pela sua dedicação integral.

Às grandes amigas Julieta Bramorski, Andréa Novelli, Andreza Bortolotti, Ana Lúcia de Albuquerque, Marieli Diniz, por estarem sempre presentes, por compartilharem comigo momentos de alegria e dificuldade, por de uma forma ou outra, terem contribuído no desenvolvimento desse trabalho.

Às amigas Luciana Silva Peixoto, Karina Querne e Melissa Graciosa, hoje distantes fisicamente, mas sempre presentes no coração. Pelo companheirismo e incentivo, pela amizade, pelo grande carinho dispensado durante o dia a dia do meu mestrado e quase todo o doutorado.

A FAPESP pela bolsa de estudos concedida.

E acima de tudo, agradeço a Deus.

RESUMO

ALBERTIN, L. L. **Técnica de gerenciamento da qualidade hídrica superficial baseada na otimização multiobjetivo.** 2008. 193 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Os problemas de gerenciamento da qualidade da água envolvem diversas aspirações dos usuários envolvidos, quer sejam eles os que usam o recurso hídrico para diluição de seus efluentes ou para seu consumo. Portanto, é raro que os modelos matemáticos usados para auxílio nas tomadas de decisões sejam expressos em termos de um único objetivo, como a maximização da eficiência econômica. Para o aproveitamento de um determinado sistema hídrico, deve ser considerada a distribuição equitativa, o uso racional, a maximização da eficiência econômica, a minimização dos impactos ambientais, entre outros. Neste contexto, três modelos de otimização multiobjetivo foram propostos e foram considerados a maximização da carga lançada pelas fontes poluidoras, a melhora qualitativa da água, e a minimização da magnitude das violações dos padrões de qualidade da água. A principal contribuição deste trabalho está na incorporação de uma restrição ao modelo de otimização multiobjetivo. A restrição proposta representa um índice que tem o intuito de distribuir equitativamente a eficiência do tratamento necessária entre as fontes de poluição. Sem a consideração de uma medida de equidade, a tentativa de maximizar a quantidade de efluentes lançados resultaria numa alocação de grandes quantidades de efluentes passíveis de serem lançados pelos usuários localizados mais a montante do rio, enquanto que os usuários à jusante deveriam tratar seus efluentes com um nível máximo de eficiência. O método utilizado para solucionar o problema foi o *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm* e este estudo teve sua aplicação na bacia do rio Atibaia, SP. As soluções apresentadas pela otimização demonstram e comprovam os conflitos existentes e a competição entre os critérios considerados. O algoritmo genético demonstrou ser uma técnica efetiva para solucionar problemas de otimização multiobjetivo em aplicações de gerenciamento da qualidade da água, identificando as variáveis de decisão e a frente Pareto.

Palavras-chave: gerenciamento da qualidade da água, medida de equidade, otimização multiobjetivo, algoritmos genéticos.

ABSTRACT

ALBERTIN, L. L. **A technic of surface water quality management based on the multiobjective optimization.** 2008. 193 f. Thesis (Doctoral) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Problems of water quality management involve many aspirations of the users engaged, those that use water for wastewater dilution or for their consumption. Therefore, it is uncommon that decision-making mathematical models used are expressed in terms of a single objective, like the maximization of economic efficiency. Using a particular water system, one should consider the equitable distribution, the rational use, the maximization of economic efficiency, the minimization of environmental impacts, among others parameters. In this context, three models of multiobjective optimization were proposed and considered to maximize the wastewater discharge by point sources, the qualitative improvement of the water, minimizing the magnitude of the violations of water quality standards. The main contribution of this work was the incorporation of a restriction on the multiobjective optimization model. The proposed restriction is an index that intends to distribute equitably the efficiency of treatment needed between pollution sources. Without considering equity measure, the attempt to maximize waste discharge would result in an allocation of large quantities of waste to the upstream users, while the downstream dischargers would be required to treat their effluents at levels of maximum possible efficiency. The method used to solve the problem was the *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA) and the case study was implemented in the Atibaia river basin, SP. The solutions presented by the optimization show and prove the existing conflicts and competition among the criteria considered. The genetic algorithm has been shown to be an effective technique for solving problems of multiobjective optimization in applications of water quality management, identifying the decision variables in Pareto front.

Keywords: water quality management, equity measure, multiobjective optimization, genetic algorithms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – O processo de gerenciamento da qualidade da água.....	30
Figura 2 – Componentes do balanço de massa em um trecho do rio.....	33
Figura 3 – Concentração de uma substância ao longo do curso do rio a partir de um ponto de lançamento: (a) apenas advecção, (b) advecção e dispersão, (c) apenas dispersão.....	42
Figura 4 – Trecho de rio com n seções homogêneas.....	46
Figura 5 - QUAL2K: esquema de segmentação de trecho para um rio sem tributários....	56
Figura 6 - Esquema de segmentação de um rio com tributários (a). Em (b), representação dos trechos e numeração.....	57
Figura 7 - Balanço de massa em um elemento computacional	58
Figura 8 - Maneira como as fontes ou retiradas não-pontuais são distribuídas no elemento computacional	59
Figura 9 – Forma e parâmetros do canal trapezoidal.....	60
Figura 10 – Classificação dos modelos de otimização multiobjetivo convencionais.....	74
Figura 11 – Espaço variável de decisão.....	77
Figura 12 – Estrutura do modelo.....	95
Figura 13 - Estrutura básica do AG simples	101
Figura 14 – Estrutura geral dos algoritmos genéticos multiobjetivo.....	106
Figura 15 – Soluções do exemplo	109
Figura 16 – Classificação das soluções por frentes de dominação do NSGA	110
Figura 17 - UGRHs do Estado de São Paulo.....	114
Figura 18 - Bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá e suas sub bacias	115
Figura 19 - Precipitações médias mensais, mm, sub bacia do rio Atibaia	123
Figura 20 - Vazão média mensal (m^3/s) do posto Atibaia (62670000).....	125
Figura 21 - Vazão média mensal (m^3/s) do posto Bairro da Ponte (62676000)	125
Figura 22 - Vazão média mensal (m^3/s) do posto Desembargador Furtado (62680000)	126
Figura 23 - Vazão média mensal (m^3/s) do posto Acima de Paulínea (62690000).....	126
Figura 24 - Vazões captadas na bacia do rio Atibaia	127

Figura 25 – Diagrama unifilar do trecho simulado do rio Atibaia.....	138
Figura 26 – Coeficientes de descarga do Posto 62670000 (Atibaia)	139
Figura 27 – Coeficientes de descarga do Posto 62676000 (Bairro da Ponte)	139
Figura 28 – Coeficientes de descarga do Posto 62680000 (Desembargador Furtado) ..	139
Figura 29 – Coeficientes de descarga do Posto 62690000 (Acima de Paulínea)	140
Figura 30 – Representação Boxplot	144
Figura 31 – Boxplot dos dados observados de OD e DBO de cada ponto de monitoramento para os meses de janeiro/fevereiro/março.....	146
Figura 32 – Boxplot dos dados observados de OD e DBO de cada ponto de monitoramento para os meses de abril/maio/junho	147
Figura 33 – Boxplot dos dados observados de OD e DBO de cada ponto de monitoramento para os meses de julho/agosto/setembro.....	148
Figura 34 – Boxplot dos dados observados de OD e DBO de cada ponto de monitoramento para os meses de outubro/novembro/dezembro	149
Figura 35 – Simulação do OD ao longo do rio Atibaia	151
Figura 36 – Simulação da DBO ao longo do rio Atibaia.....	151
Figura 37 – Diferentes populações de soluções produzidas pelo NSGA.....	159
Figura 38 – Comparação de frentes Pareto obtidas pelo NSGA.....	160
Figura 39 – Relação de compromisso entre as duas funções objetivo – Modelo 1.....	161
Figura 40 – Simulação do OD, considerando o aumento da eficiência do tratamento de efluentes	163
Figura 41 - Simulação da DBO, considerando o aumento da eficiência do tratamento – Modelo 1	164
Figura 42 – Relação de compromisso entre as duas funções objetivo – Modelo 2.....	165
Figura 43 - Simulação da DBO, considerando o aumento da eficiência do tratamento – Modelo 2	166
Figura 44 – Soluções selecionadas na frente Pareto – Modelo 2.....	168
Figura 45 – Espaço decisão: soluções pertencentes às regiões factível e infactível	177
Figura 46 – Relação de compromisso entre as duas funções objetivo – Modelo 3.....	178
Figura 47 - Soluções selecionadas na frente Pareto – Modelo 3	179
Figura 48 - Simulação da DBO, considerando o aumento da eficiência do tratamento – Modelo 3	182

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grupos de poluentes encontrados em esgoto doméstico	47
Tabela 2 – Diferenças entre QUAL2E e QUAL2K.....	55
Tabela 3 – Modificação do balanço de massa para DBO no QUAL2K, comparado com o QUAL2E.....	65
Tabela 4 - Modificação do balanço de massa para OD no QUAL2K, comparado com o QUAL2E.....	66
Tabela 5 - Equações incorporadas ao modelo QUAL2K para previsão do coeficiente de reaeração, k_2 , (dia^{-1}) a 20°C	68
Tabela 6 – Soluções geradas aleatoriamente para o exemplo da eq. (120).....	109
Tabela 7 - Áreas das sub bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.....	115
Tabela 8 - Municípios que compõem cada sub bacia	117
Tabela 9 - Dados de população dos municípios pertencentes à UGRHI-5	118
Tabela 10 - Evolução da população dos municípios pertencentes à UGRHI-5	119
Tabela 11 - Precipitações médias mensais ¹ , mm, da bacia do rio Atibaia	122
Tabela 12 - Vazões para a bacia do rio Atibaia	123
Tabela 13 - Estações fluviométricas selecionadas	124
Tabela 14 - Vazão média mensal (m^3/s) dos postos fluviométricos do rio Atibaia	124
Tabela 15 - Relação dos pontos de monitoramento da CETESB.....	128
Tabela 16 - Lançamento de efluentes, em m^3/s	129
Tabela 17 - Carga orgânica doméstica gerada nos municípios da bacia do rio Atibaia..	129
Tabela 18 - Principais indústrias poluidoras da bacia do rio Atibaia	130
Tabela 19 – Divisão em trechos do rio Atibaia.....	132
Tabela 20 – Pontos de captação, lançamento e tributários de cada trecho	133
Tabela 21 – Captações e lançamentos no rio Atibaia para calibração do modelo QUAL 2K	136
Tabela 22 – Relação das estações fluviométricas utilizadas para cada trecho e determinação das constantes empíricas.....	140
Tabela 23 – Ordem de grandeza da taxa de degradação da matéria orgânica, a 20°C ..	141
Tabela 24 – Equações para o parâmetro de reaeração k_2 , em dia^{-1}	141

Tabela 25 – Vazão média trimestral, em m ³ /s, considerada para calibração do modelo QUAL2K.....	142
Tabela 26 – Velocidade média, em m/s, do rio Atibaia.....	143
Tabela 27 – Profundidade média, em m, do rio Atibaia.....	143
Tabela 28 – Valores de k ₁ a 20°C, dia ⁻¹	150
Tabela 29 – Intervalos numéricos dos parâmetros dos AGs.....	157
Tabela 30 – Combinação dos parâmetros dos AGs usadas nas simulações.....	158
Tabela 31 – Soluções de compromisso e variáveis de decisão – Modelo 1.....	162
Tabela 32 – Soluções de compromisso e variáveis de decisão – Modelo 2.....	166
Tabela 33 – Magnitude das violações no padrão de DBO, em mg/l.....	167
Tabela 34 – Avaliação da função objetivo utilizando a função penalidade.....	171
Tabela 35 – Soluções de compromisso e variáveis de decisão – Modelo 3.....	179

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

