

SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO NO PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS URBANAS

Loide Angelini Sobrinha¹; João Luiz Boccia Brandão²

Resumo

No Brasil, as fontes de poluição pontuais e difusas não são adequadamente controladas. Embora se reconheça que estas são as principais responsáveis pela degradação da qualidade da água, ainda faltam estudos e ferramentas para sua regulamentação. Considerando a necessidade de se controlar essas fontes para auxiliar no manejo efetivo dos recursos hídricos, o trabalho objetiva propor um Sistema de Suporte à Decisão para subsidiar o processo de tomada de decisão quanto às alternativas de desenvolvimento urbano de forma a controlar as questões quali-quantitativas dos recursos hídricos. O sistema será validado utilizando como estudo de caso a Bacia do Córrego do Mineirinho em São Carlos - SP. Como resultado, espera-se que o sistema genérico auxilie no planejamento urbano de bacias, cuja características se assemelhem as da bacia em estudo.

Palavras-Chave – bacias urbanas, uso e ocupação do solo, qualidade da água.

A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR URBAN WATER RESOURCES PLANNING

Abstract

In Brazil, pollution from discrete and non-point sources are not properly controlled. Although it is recognized that those sources are mainly responsible for poor water quality, there is a lack of studies and tools for management and regulations. Considering the need for controlling those sources in order to effectively manage water resources, the aim of this work is to propose a Decision Support System (DSS) to aid the process of decision making regarding alternatives to urban development that mitigate the quantitative and qualitative impacts on water resources. The system will be developed taking as a case study the Mineirinho water basin located in the municipality of São Carlos, state of São Paulo. As a result, it is expected that the generic system will help the urban planning procedures for water basins, whose characteristics are similar to the one in study.

Keywords – urban watersheds, land use, water quality.

INTRODUÇÃO

A alteração das superfícies vegetais e o iminente processo de impermeabilização são consequências do desenvolvimento urbano que provoca mudanças no padrão de uso e ocupação do solo. Essas mudanças acarretam grande impacto sobre o ciclo hidrológico da bacia, com o consequente aumento do volume escoado sobre a superfície, a diminuição da recarga do lençol freático e da evapotranspiração.

O escoamento superficial nas áreas urbanas com essas características carrega o material solto e solúvel, que representa cargas poluentes significativas quando estas encontram os corpos d'água (Porto, 1995). Essas cargas, que podem ser pontuais ou difusas, caracterizam um problema que resulta no comprometimento da qualidade das águas superficiais.

¹ Escola de Engenharia de São Carlos; loideangelini@gmail.com

² Escola de Engenharia de São Carlos; jlb@sc.usp.br

A poluição de origem difusa é aquela gerada pelo escoamento superficial da água em zonas urbanas e rurais oriundas de atividades que depositam poluentes de forma dispersa sobre as áreas de contribuição da bacia. Já a poluição pontual é aquela possível de ser localizada e determinada. No caso, pode-se citar: as descargas industriais, os esgotos domésticos, efluentes de aterros sanitários entre outros (Tucci e Mendes, 2006).

Nos EUA, os esforços no controle da poluição urbana se voltavam principalmente às fontes de poluição pontuais. Em 1972, foi decretada a Lei Água Limpa (*Clean Water Act*), uma legislação federal que estabelece a estrutura básica para regular as descargas de poluentes nas águas dos Estados Unidos e que regulamenta os padrões de qualidade das águas de superfície. Desde 1972 a EPA - *Environmental Protection Agency* já havia investido 44,6 bilhões de dólares em tecnologias de tratamento de esgoto. Visto que não bastava apenas controlar a poluição pontual, pois mesmo com grandes investimentos em tecnologias não se atingia a qualidade desejada aos ambientes, o *Clean Water Act* alterou 1987 *ações água limpa* e autorizou um adicional de 18 bilhões de dólares ao programa Fundo Rotativo do Estado (*State Revolving Fund*) para construções de subvenções e controle da poluição difusa (EPA, 2011).

No Brasil essas fontes ainda não são adequadamente controladas, e tratando-se de cargas difusas, o dilema se intensifica visto que a temática sequer é mencionada na Política Nacional do Meio Ambiente. Com relação ao desenvolvimento científico na área, ainda há poucos registros de pesquisas que procuram aprofundar o conhecimento acerca da geração dessas cargas e o impacto delas na qualidade da água. Algumas obras tratam do assunto como: Poletto (2003), Silva (2003), Ceretta (2004), Brites e Gastaldini (2005), Grilli e Betine (2010).

Na busca de desenvolver ferramentas que auxiliem os planejadores das áreas de recursos hídricos, as pesquisas desenvolvidas até o momento têm procurado, principalmente através do desenvolvimento de modelos matemáticos, contribuir para ampliar o conhecimento sobre os impactos das atividades humanas sobre a água. Nesse sentido, têm sido desenvolvido diversos Sistemas de Suporte à Decisão na área de recursos hídricos, cada qual com as suas características. O sistema de suporte a decisão (SSD) é uma ferramenta genérica de auxílio à tomada de decisão que vem sendo aplicada com sucesso no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Contudo, até o momento não existe uma metodologia generalizada para a construção de SSDs que garantam a priori boas soluções para o gerenciamento desse recurso (Azevedo e Porto, 2002).

Sistema de Suporte a Decisão

De acordo com Azevedo e Porto (2002) o sistema de suporte a decisão é uma metodologia de auxílio à tomada de decisão que surgiu nas duas últimas décadas e vem sendo aplicada com sucesso no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Esta é baseada na intensa utilização de base de dados e modelos matemáticos que propiciem um diálogo entre o usuário e o computador.

As informações importantes sobre os problemas são reunidas na base de dados que além de fornecer informações, serve para suprir os dados ao processamento dos modelos e armazenar resultados finais e intermediários das análises realizadas. A base de dados é uma componente central para o conceito de SSD, pois deve apresentar alta flexibilidade de forma que o usuário possa acrescentar, excluir ou alterar dados facilmente. Já a base dos modelos deve fornecer recursos para as análises, estes utilizam representação matemática do problema e empregam algoritmos para gerar informações e dar suporte à tomada de decisão. O diálogo entre o usuário e o computador, ou seja,

interface usuário/sistema deve ser amigável o suficiente para que não apresente barreiras ao seu uso interativo (Braga *et al.*, 1998).

Em sistemas de aproveitamento dos recursos hídricos, fornecer quantidades adequadas de água com a qualidade apropriada tem se tornado um dos maiores desafios para engenheiros, técnicos e planejadores, tendo em vista que na prática há uma grande dificuldade em integrar o gerenciamento quali-quantitativo das águas (Azevedo *et al.*, 1998).

Alguns trabalhos acerca da criação de SSDs para gerenciar pequenas bacias foram desenvolvidos. Ono (2008) criou um SSD capaz de integrar informações sobre a água, processar modelos matemáticos para diversos cenários e gerar resultados através de imagens e tabelas, este foi aplicado na bacia do rio Cabuçu de Baixo localizada na zona norte de São Paulo. Neste trabalho, o modelo utilizado foi o URBSSD que consiste em uma ferramenta de controle de cheias urbanas que integra os dados quali-quantitativos e modelos (hidrológico e hidráulico) para gerar cenários e auxiliar na avaliação e no processo de tomada de decisão. Porém, o modelo apresentado não é genérico tendo de ser adaptado para diferentes bacias urbanas.

Rodrigues (2005) propôs um SSD para gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água e aplicou na bacia do rio Jundiá no estado de São Paulo. O SSD utilizado, denominado SSD RB, integra um modelo de outorga e cobrança pelo uso da água com um modelo de qualidade da água e gera o *volume outorgado* como variável de decisão. A autora apresenta em sua pesquisa cinco trabalhos desenvolvidos acerca de SSDs para outorga dos recursos hídricos, porém todos eles criam sistemas ou simplesmente os aplicam em bacias específicas não servindo de modelo genérico para a gestão integrada dos recursos hídricos. Conforme esclarecem Azevedo *et al.*, (2003) “O SSD deve ser capaz de se moldar aos diferentes problemas, de modo a ampliar o seu poder de auxílio à decisão na análise da outorga”.

Em 2007, Rodrigues desenvolveu um modelo (ALOC Server) para auxiliar na gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água. Este, apesar de não visar o desenvolvimento de um SSD chegou próximo ao objetivo de estabelecer um modelo genérico para gestão das águas urbanas.

Braga *et al.* (1998) desenvolveram um SSD para o gerenciamento da outorga do direito de uso da bacia do rio Piracicaba no estado de São Paulo. O SSD contempla um sistema especialista VP-EXPERT que prevê assistência na preparação de dados e interface com diferentes programas, uma base de dados (*dBase III Plus*), um modelo matemático e um SIG (Sistema de Informações Geográficas). Os autores citam que o SSD descrito está implantado na bacia do rio Corumbataí e incorpora todos os aspectos da legislação existente permitindo analisar em tempo real a viabilidade da autorização de captação e lançamentos de efluentes na bacia.

Um sistema de suporte a decisão acerca dos recursos hídricos vem sendo desenvolvido pelo grupo GOTA - Grupo de Otimização Total da Água, este objetiva estabelecer ou gerar índices e indicadores socioeconômicos, ambientais e operacionais. O sistema denominado RIOSS contempla três módulos principais (Interface do usuário, Base de dados, e Base de modelos), cuja interface do usuário foi desenvolvida em ambiente JAVA e entrará na internet com a interface e a base de dados. Para testar a base dos modelos do SSD e mostrar sua importância no processo de decisão, Mota *et al.* (2011) utilizaram como estudo de caso o açude Epiácio Pessoa situado na cidade de Boqueirão no estado da Paraíba.

Outros trabalhos desenvolveram SSDs para áreas de estudos específicas, ou seja, bacias e reservatórios, sendo estes: Azevedo *et al.* (1998), Garcia (2011), e Rajasekaram e Nandalal (2005). Em suma, a maioria dos trabalhos pesquisados para formulação deste item visa o desenvolvimento de sistemas de suporte a decisão e modelos para auxiliar na concessão de outorga dos usos dos recursos hídricos ou para gerar índices ambientais. Nenhum trabalho acerca do desenvolvimento de um SSD genérico para avaliação do impacto de urbanização nos recursos hídricos de bacias urbanas foi encontrado.

Metodologia

Para aplicação do Sistema de Suporte a Decisão será utilizado como estudo de caso a bacia do córrego do Mineirinho em São Carlos – SP, portanto serão utilizadas imagens de satélites, para a classificação do uso e ocupação do solo e serão levantados parâmetros quali-quantitativos da bacia, e com uso de modelos hidrológicos e de um SIG serão gerados mapas temáticos de cenários atual e futuros do uso e ocupação do solo para análise do impacto de urbanização. O processo é apresentado sinteticamente na Figura 1.

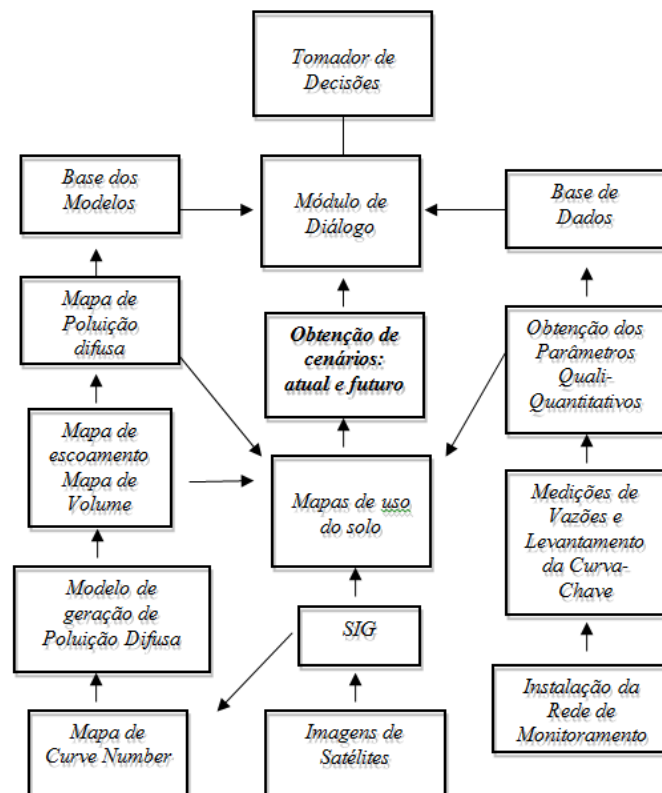


Figura 1 - Metodologia do Sistema de Suporte a Decisão proposta

A classificação do uso e ocupação do solo se dará através de mapas do IBGE e imagens de satélites gratuitas disponíveis pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e coletadas pelo sistema CBERS (*China-Brasil Earth Resources Satellite*) e/ou outras imagens de satélites de livre acesso. Com o uso do SIG esses mapas serão produzidos com valores do parâmetro CN (*Curve Number*), e esses parâmetros estimados tanto para a situação atual como para cenários alternativos de uso e ocupação do solo. Além disso, a classificação do uso e ocupação do solo será

a principal fonte de entrada de dados dos modelos de avaliação do potencial de geração de poluição de origem difusa. Com relação aos modelos, serão utilizados o SWMM e/ou o L-THIA, em princípio.

Para levantamento de dados quali-quantitativos está sendo implantada uma rede de monitoramento hidrológico. Até o momento foram implantados em alguns pontos da cidade de São Carlos - SP pluviógrafos e limnógrafos. As sondas de qualidade estão em fase de calibração em laboratório e testes em campo. Serão também adquiridos coletores automáticos sequencias de amostras de água. Com os equipamentos serão feitas também campanhas de medições de vazão para estabelecimento de curvas chave nos postos fluviométricos, com base em sondas ADCP montada em flutuador e outra fixa ao leito do curso d'água. Alguns equipamentos são apresentados na Figura 2.



Figura 2: Equipamentos da rede de monitoramento hidrológica em São Carlos - SP

Os parâmetros qualitativos obtidos por meio da sonda de qualidade que serão analisados são: oxigênio dissolvido, pH, turbidez e condutividade elétrica. A partir da análise das amostras coletadas com o amostrador automático sequencial, serão determinados os polutogramas para os seguintes parâmetros: OD, DBO, metais pesados, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas, sedimentos, etc.

Dessa forma, serão levantados os hidrogramas e respectivos polutogramas de cheia. Os valores de CN e dos tempos de concentração das águas na bacia serão os produtos principais para obtenção de hidrogramas de cheia que será baseado no método do Hidrograma Unitário Sintético do SCS. Dessa forma, através de modelagem matemática será possível verificar o impacto da urbanização nos hidrogramas e polutogramas produzidos em pontos estratégicos da bacia.

Localização Bacia do Córrego do Mineirinho

A bacia do Córrego do Mineirinho, afluente do rio Monjolinho, localiza-se no município de São Carlos – SP. Possui uma área de aproximadamente 5,85 km² e perímetro de 10,81 km, o percurso total do córrego aproximado é de 4 km, e uma diferença entre as cotas da bacia de 81 m (Aprígio, 2009). A localização da bacia do córrego do Mineirinho é apresentada na Figura 2.

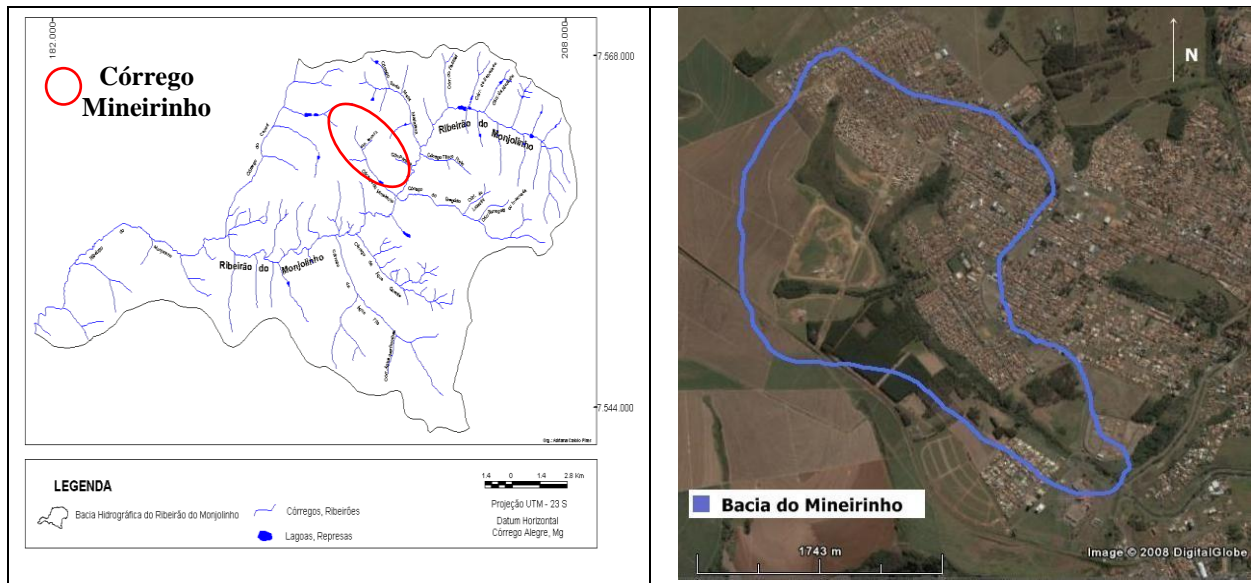


Figura 2 - Bacia do Córrego do Mineirinho em São Carlos – SP - Benini *et al.* (2004); Tarpani e Brandão (2009)

A bacia possui quatro nascentes, duas delas localizam-se no bairro residencial Santa Angelina, sendo uma delas sua nascente principal, e outra que forma outros afluentes. As outras duas estão localizadas dentro do Campus II da USP, estas formam outros afluentes (Benini *et al.*, 2003).

De acordo com Tarpani e Brandão (2009) o uso e ocupação do solo da bacia em 2007-2008 esta dividido da seguinte maneira: 40% de área urbanizada; 15% da área com cultura de cana-de-açúcar e Pinus; 20% da área composta por campos e/ou pastagens; 15% composta por solo exposto; e 10% de matas ciliares que se encontram beirando os córregos e nascentes (florestas Paludosas).

Os solos são caracterizados por interflúvios com latossolo vermelho amarelo, profundo e distrófico, e solos hidromórficos dos tipos gleissolo e organossolo, saturados permanente ou intermitentemente com lençol freático próximo a superfície (Benini, 2005).

RESULTADOS

O comportamento hidrológico na sua totalidade deverá ser explicado em função da classificação do uso e ocupação do solo, da intensidade pluviométrica e dos parâmetros qualitativos observados. Espera-se levantar e sistematizar as causas e efeitos dos principais problemas detectados durante as fases de projeto e de sua execução. Além destes resultados espera-se:

- ✓ Obter os hidrogramas e polutogramas de cheia;
- ✓ Avaliar a representatividade da aplicação do método *Soil Conservation Service* na obtenção dos hidrogramas de cheia baseados nos *Curve Numbers*;
- ✓ Avaliar a representatividade dos modelos de avaliação do potencial de geração de poluição de difusa;
- ✓ Verificar o impacto da urbanização sobre os hidrogramas e polutogramas de cheia;
- ✓ Estabelecer parâmetros genéricos que possam ser utilizados em municípios com as mesmas características de São Carlos;
- ✓ Fornecer subsídios ao planejamento urbano da bacia.
- ✓ Desenvolver um SSD genérico para uso na gestão do uso e ocupação do solo em bacias urbanas ou em processo de urbanização

Todos os resultados poderão ser comparados com experimentos realizados por outros pesquisadores contribuindo com a área de pesquisa na qual esta proposta de insere.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa está sendo desenvolvida no âmbito da agência financiadora CAPES e dos Projetos MCT/FINEP/Ação Transversal - Saneamento Ambiental e Habitação - 7/2009 e MAPLU (2011).

REFERÊNCIAS

- APRÍGIO, P. O. Avaliação preliminar dos impactos do desenvolvimento de uma bacia hidrográfica sobre cargas difusas de poluição pela aplicação do modelo LTHIA (Long-Term Hydrologic Impact Assessment) na Bacia do Córrego do Mineirinho – São Carlos/SP. 2009. 153 p. Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, MONICA F. A.; PORTO, R. L. L. (1998). Sistema de apoio à decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade de água: metodologia e estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, São Paulo, v. 3, pp. 21-52.
- BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. C. (2003). Recursos hídricos e planejamento urbano e regional. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal - IGCE-UNESP. pp. 113-127.
- BRAGA, B.; BARBOSA, P. S. F.; NAKAYMA, P. T. (1998) Sistemas de suporte a decisão em recursos hídricos. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.3 pp. 75-95.
- BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M.; MARTIOLI, C.; TONISSI, F. (2003). Cenários ambientais visando à mitigação de enchentes decorrentes da implantação do Campus II da USP, São Carlos, SP. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba, PR. *Desafios à Gestão da Água no Limiar do Século XXI*. Porto Alegre: ABRH. v. 1. pp. 75-75.
- BENINI, R. M. Cenários de ocupação urbana e seus impactos no ciclo hidrológico na bacia do Córrego do Mineirinho. (2005). Dissertação de Mestrado (Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 122 f.
- BRITES, A. P.; GASTALDINI, M. C. (2005). Avaliação da carga difusa da drenagem pluvial urbana na bacia hidrográfica Cancela. In: 23º Associação Brasileira De Engenharia Sanitária, Campo Grande: ABES, pp.1-8.

- CERETTA, M. C. Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena - município de Santa Maria - RS. (2004). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.
- EPA. (2011). EPA Announces Guidance on State Revolving Funds for Sewage Treatment. Disponível em: <http://www.epa.gov/aboutepa/history/topics/cwa/02.html>. Acesso em 23 set. 2011.
- GARCIA, J. I. B. (2011). Sistema de suporte a decisão para lançamentos de efluentes. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- GRILLI, M.; BETTINE, S. C. (2010) Estimativa da poluição difusa na bacia do córrego da fazenda Santa Cândida. In: Anais do XV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas - 26 e 27 de outubro.
- MOTA, J. C.; CURY, W. F.; ALMEIDA, M. M.; ALENCAR, V. C. (2011). Desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 6, pp. 201-215.
- ONO, S. (2008). Sistema de suporte a decisão para gestão de água urbana – URBSSD. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 148 f.
- POLETO, C. (2003). Monitoramento e avaliação da qualidade da água de uma microbacia hidrográfica no município de Ilha Solteira - SP. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Faculdade De Engenharia De Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP, 161 f..
- PORTO, M. F. A. (1995). Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.) Drenagem Urbana. 1ª Ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, pp. 387-428.
- PORTO, R. L. L. AZEVEDO, L. G. T. (2002). Sistemas de suporte a decisão aplicados a problemas de recursos hídricos. In: Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. PORTO, R. L. L. (Org.). 2ª Ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, pp. 43-95.
- RAJASEKARAM, V.; NANDALAL, K. D. W. (2005). Decision support system for reservoir water management conflict resolution. Journal of Water Resources Planning and Management. vol. 131, n. 6.
- RODRIGUES, R. B. (2005). SSD RB – Sistema de suporte a decisão proposto para a gestão qualitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 155 f.
- RODRIGUES, R. B. (2007). ALOC Server - Sistema de alocação de carga e de vazão de diluição para os processos de outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e no 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, São Paulo.
- SILVA, A. L. (2003). A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do Ribeirão da Estiva, SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- TARPANI, R. R. Z.; BRANDÃO, J. L. B. (2009). Análise ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Mineirinho São Carlos/SP. In: VI Congresso de Meio Ambiente da Associação de Universidades Grupo de Montevideu - AUGM, 2009, São Carlos: UFSCar/AUGM.