

MODELO DECISÓRIO PARA A OUTORGA DE DIREITO AO USO DA ÁGUA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Angela R. G. Ferraz

agferraz@joinnet.com.br

Benedito P. F. Braga JR.

Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária

RESUMO

Com o objetivo de compatibilizar a oferta e a demanda hídrica e a utilização racional da água, este trabalho contribui para o desenvolvimento da metodologia utilizada no estabelecimento da Outorga de Direito ao Uso da Água em bacias hidrográficas no Estado de São Paulo. A partir da definição e utilização dos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD), formado pelas estruturas de um Modelo Matemático, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e um Sistema Especialista, é proposto um Modelo Decisório específico para dar suporte ao gerenciamento e planejamento integrado dos recursos hídricos, no que se refere as metas de outorga do uso da água. A área de estudo é formada pela bacia hidrográfica do Rio Corumbataí e trecho do Rio Piracicaba, localizada na região leste do Estado de São Paulo, e considerada relevante para a avaliação da metodologia.

INTRODUÇÃO

A idéia de que a água seja um recurso renovável, tem sido substituída pela percepção, cada vez mais generalizada, que o modelo atual de desenvolvimento da economia, a degradação do meio ambiente e as políticas associadas ao recurso água a nível mundial, tem aproximado a sua disponibilidade de uso ao limite imposto pela natureza.

Os instrumentos básicos já preconizados por algumas legislações estaduais, seguindo orientação da legislação federal, efetivam o gerenciamento integrado dos recursos hídricos através da outorga de

direito de uso da água e da sua cobrança (Brasil, 1988; São Paulo, 1994; ABRH, 1997).

A importância do instrumento da outorga de direito ao uso da água para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos, baseado em uma adequada administração da oferta das águas e compatibilização dos diversos usos setoriais é fundamental, tendo em vista que atualmente ocorrem alguns casos de concessões e autorizações incompatíveis entre si ou, em conjunto, superiores às disponibilidades hídricas existentes.

Juntamente com os aspectos legais e de gestão dos recursos hídricos, existe a necessidade de se analisarem as solicitações de outorga sob os aspectos técnicos que a envolvem. A integração destes aspectos pode ser viabilizada por ferramentas que possibilitem avaliações pontuais e globais dos impactos decorrentes dos processos de desenvolvimento econômico e social de uma bacia hidrográfica, auxiliando a análise das variáveis que interferem na tomada de decisão, seja no sentido de reorientação, seja de restrição quanto às atividades que requerem o uso intensivo da água, ou que sejam poluidoras em potencial. E ainda assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (Lei n.º 9.433/97, Cap.II).

O objetivo deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento da metodologia utilizada pelos órgãos gestores dos recursos hídricos no estabelecimento da outorga de direito ao uso da água. É proposto um modelo decisório, baseado no conceito de *Sistemas de Suporte à Decisão (SSD)*. Estes sistemas, por sua vez, são derivados de estruturas

computacionais associadas a um Modelo Matemático de simulação dos processos hidrológicos e de qualidade da água além de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e um Sistema Especialista.

Utiliza-se a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial e geográfica, para a análise integrada do impacto de cada solicitação de outorga, de modo a facilitar a localização, o mapeamento e a simulação de áreas críticas de disponibilidade e degradação dos corpos d'água. Os usos da água analisados são referentes ao abastecimento urbano, industrial e à irrigação, em função das quantidades de água requeridas e dos impactos causados pela qualidade de seus efluentes.

A OUTORGA DE DIREITO AO USO DA ÁGUA

O instituto da outorga é uma prática formal estabelecida desde o Código de Águas de 1934. A Constituição Federal de 1988 (Art.21, inc.XIX) e a Constituição do Estado de São Paulo de 1989 (Título VI, Capítulo IV, Seção II - dos Recursos Hídricos) atribuem "status Constitucional" aos recursos hídricos. A partir destes dispositivos alguns Estados incluem em suas legislações, juntamente com a cobrança pelo uso da água, a outorga como sendo um dos instrumentos básicos para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos (Lei Federal n.º 9.433/97; Lei Estadual n.º 7.663/91).

A outorga do direito ao uso da água ("bem de domínio público") é *um beneplácito*, um consentimento aos vários interesses públicos, individuais e coletivos, cujo estabelecimento cabe àqueles que detêm o respectivo domínio (União ou Estados), para utilização de específica quantidade de água, em determinada localização, para específica finalidade. Precisa estar baseada no direito, protegida pelo sistema legal que a torne de cumprimento obrigatório e ainda estabelecer critérios técnicos para a divisão de um recurso entre interesses muitas vezes competitivos (Ferraz, 1996).

O Artigo 210, inciso IV, da Constituição Paulista de 1989 "condiciona a aprovação prévia por organismos estaduais de controle ambiental e de gestão de recursos hídricos, na forma da lei, dos atos de outorga de direitos que possam influir na qualidade ou quantidade das águas superficiais".

O DAEE, órgão responsável pela política da água no Estado de São Paulo, estabeleceu normas que orientam as derivações de água para as diversas finalidades de uso (Portaria DAEE n.º 39 e n.º 40/86). São previstos três tipos de outorga:

- "*concessão administrativa*" por prazo máximo de 10 anos, em todos os casos de utilidade pública;
- "*autorização administrativa*" por prazo máximo de 5 anos, quando não se verificar utilidade pública;
- "*permissão administrativa*", por prazo máximo de 2 anos, para captações ou lançamentos insignificantes em caso de interesse privado.

Diretrizes e critérios para estabelecimento da outorga

É imprescindível o estabelecimento da outorga por legitimar as utilizações dos recursos hídricos que, na sua ausência, assumem a característica de clandestinas, e, conseqüentemente, impedem o desenvolvimento sustentável e a utilização racional da "água". A outorga deve ser orientada para maximizar o bem-estar social e administrar os conflitos de interesse evitando que determinado usuário realize investimentos contando com uma disponibilidade de água que, na verdade, não exista, ou esteja comprometida com outros projetos ou usuários.

Faz-se necessário o estabelecimento de critérios e diretrizes com regras claras e objetivas para a repartição da água entre os diversos usuários como por exemplo:

- a hierarquização de prioridades dos vários usos, condicionada às características de ocupação e do

desenvolvimento sócio-econômico de cada bacia hidrográfica e ao enquadramento dos corpos de água em classes;

- deve ser orientada por planos integrados de recursos hídricos, ambientais e de uso do solo a nível da bacia hidrográfica;
- a quantidade e qualidade são características indissociáveis da água e vão condicionar sua utilização.

SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO - SSD

“Um sistema de suporte à decisão é um sistema interativo que proporciona ao usuário acesso fácil a modelos decisórios e dados a fim de dar apoio a atividades de tomada de decisões semi-estruturadas ou não-estruturadas.” (Johnson, 1986). Os ambientes decisórios não-estruturados são aqueles que não se pode dele fazer uma descrição analítica completa.

SSD é um sistema que proporciona suporte analítico e computacional em situações onde é necessário integrar experiência e discernimento dos responsáveis pelas decisões (Sprague, 1989).

A mais apropriada configuração de um SSD é mostrada na Figura 1.

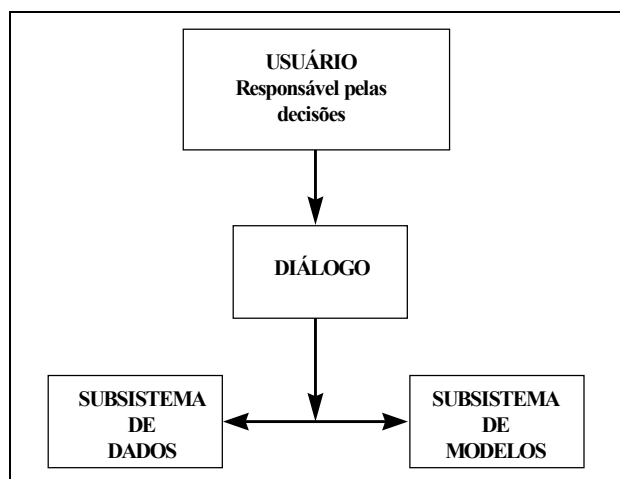


Figura 1. Paradigma DDM (fonte: Sprague, 1989).

O usuário é o responsável pelas decisões, o diálogo (D) é a interface entre o

usuário e o sistema; os dados (D) servem de suporte ao sistema; e os modelos (M) proporcionam os recursos para as análises (Ferraz, 1996).

Sistemas de Suporte à Decisão utilizando Sistemas Especialistas e Sistemas de Informações Geográficas

A completa aplicação no desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos se deve ao fato da integração dos SIGs e dos sistemas especialistas entre si e em conjunto (Ferraz, 1996).

Evans et al. (1992) descrevem a combinação entre Os sistemas especialistas e os SIGs possibilitando a realização de novas tarefas e abrindo caminho para a análise de complexos sistemas, nunca antes possível. Denominam esta integração de “Sistema Especialista de Informações Geográficas”, que combina argumentos baseados em regras com representação e análise de dados espaciais.

McKinney; Maidment (1993) descrevem a possibilidade do uso da integração das tecnologias de um Sistema Especialista de Informações Geográficas como uma nova ferramenta de planejamento dos sistemas de recursos hídricos. Fazem um estudo de previsão de demanda de água futura e sua distribuição geográfica. O planejamento requer tomada de decisão regional que é combinada com a técnica geográfica e os fatores institucionais.

Uma das mais importantes referências do estado do conhecimento para este trabalho foi desenvolvido por Simonovic (1993), quando apresentou um protótipo de SSD, o qual auxiliou a determinação do melhor planejamento e política de operação para um sistema de controle de enchentes. Ele integra as tecnologias do SIG e do sistema especialista, banco de dados e técnicas de modelos matemáticos como estruturas de suporte à decisão. Auxilia interativamente os dados de entrada do modelo e produz uma interpretação visual dos dados.

Descrição do SSD proposto

A finalidade de se propor um modelo de outorga baseado no conceito de sistemas de suporte à decisão, está no interesse em aplicar novas ferramentas de tecnologia de informação e sugerir métodos para o estudo, identificação e avaliação dos potenciais usos e usuários da água (Ferraz, 1996).

Fazendo parte do modelo decisório proposto de estabelecimento de outorga de direito ao uso da água no Estado de São Paulo, apresenta-se uma arquitetura do SSD, conforme mostrado na Figura 2.

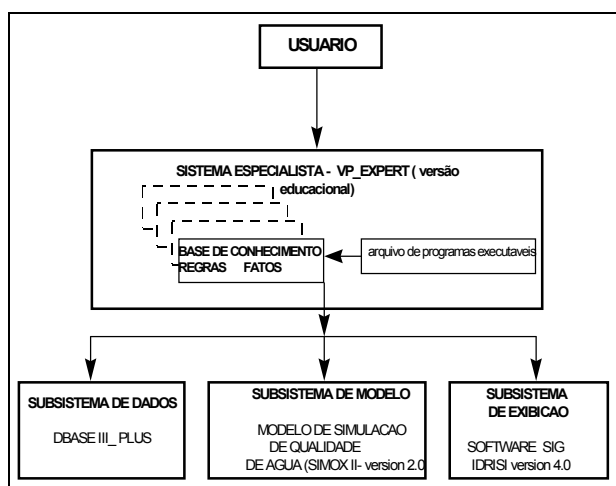


Figura 2. Arquitetura de um SSD para o gerenciamento da outorga do uso da água (fonte: Ferraz, 1997).

Sistemas Especialistas

Desde o início da década de 80, *Sistemas Especialistas* têm sido identificados como os mais eficientes caminhos para reconhecer e difundir conhecimentos escassos, codificando a experiência relevante de um especialista nas mais diversas áreas.

Uma definição apropriada para os sistemas especialistas no campo dos recursos hídricos é dada por Simonovic (1993): “Um sistema especialista de recursos hídricos é uma aplicação computacional que auxilia na solução de complexos problemas de recursos hídricos pela incorporação de conhecimento multidisciplinar, princípios de sistemas de análise, experiência, intuição e julgamento.”

Para o desenvolvimento de sistemas especialistas, é interessante a utilização de linguagens computacionais especiais, a fim de codificar o conhecimento sob a forma de símbolos, como Pascal, Fortran, C, Lisp, etc. e das linguagens lógicas, baseadas em regras, como o Prolog e outras.

Os sistemas especialistas geralmente são formados por três componentes principais, a base de conhecimento, o mecanismo de inferência e a interface com o usuário, e um módulo acessório de explicação (Figura 3).

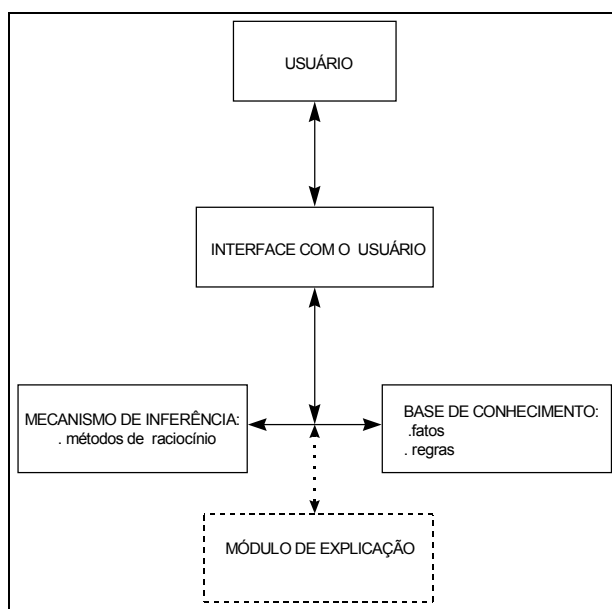


Figura 3. Arquitetura de um sistema especialista (fonte: Ferraz, 1996).

Atualmente surgiram programas voltados à construção de sistemas especialistas denominados “shells” (VPEXPERT, M.4, NEXPERT OBJECT, etc.). Estes programas constituem um sistema semipronto, fornecem uma linguagem baseada em regras, com o mecanismo de inferência, a interface com o usuário e, geralmente, facilidades explanatórias. Auxiliam o usuário que concentra sua atenção na construção da base de conhecimento dos sistemas, a qual deve ser implantada de acordo com a finalidade do sistema a ser produzido.

O programa “shell” VP-Expert, versão educacional a ser utilizado no modelo proposto é uma ferramenta para o

desenvolvimento de sistemas especialistas em microcomputadores, compatíveis com IBM-PC e o sistema operacional MS-DOS (Ferraz, 1996; Simonovic, 1992).

É o sistema gerenciador do SSD, baseado em regras de coordenação, prevê assistência na preparação dos dados e interface com diferentes programas executáveis. Os aspectos institucionais e as metas de outorga são parte do sistema gerenciador no processo de decisão, envolvendo investigação e exame das regulamentações, regras e leis relevantes para a implementação do instrumento de outorga.

Sistema de Informação Geográfica - SIG

Em sentido amplo, *Sistema de Informação Geográfica* é uma tecnologia de informação para manipulação de dados espaciais (Geoprocessamento). Inclui a tecnologia de "hardware", "software", técnicas de geocodificação, procedimentos de entrada e saída de dados, e de pessoas que desenvolvem aplicações nas mais diversas áreas e as usam também como sistemas de apoio à decisão. Sua principal característica reside na possibilidade de reunir e integrar, em um mesmo referencial geográfico, diferentes informações sobre a área de estudo.

Aronoff (1989) define SIG como "um sistema computacional de tratamento de dados espaciais e não espaciais (atributos), que possui as funções de organizar, processar, analisar, manipular e mostrar informações e no qual a localização geográfica é uma característica básica".

As áreas de aplicação que utilizam-se das tecnologias de geoprocessamento são inúmeras tendo em comum o interesse por entes de expressão espacial, sua localização, distribuição espacial de seus atributos (Ferraz, 1996).

Segundo Alves (1990), as operações de manipulação das informações e dados necessários a aplicação de um SIG, requerem a utilização de técnicas especiais para a organização dos dados, principalmente para permitir a definição de sua natureza espacial,

sendo que, em uma abordagem simplificada, podem ser classificadas em:

- representações vetoriais, têm em comum o fato de que os domínios espaciais são representados por conjuntos de polígonos, pontos, ou linhas, adequadamente referenciados em pares de coordenadas em cada um dos pontos;
- representações "raster", têm em comum o fato de que os domínios espaciais são representados por um conjunto de células, providas de códigos de localização, geralmente quadradas, sobre as quais incidem os pontos, linhas e/ ou áreas.

O mais evidente e, talvez, o mais competitivo mercado de software, hoje em dia é o de SIG (ARC/INFO, GRASS, ERDAS, EPPL7, pMAP, SPANS, IDRISI, ILWIS, etc.). Determinaram a escolha do SIG (Idrisi, versão 4.0) a ser utilizado neste estudo, as seguintes características: sistema de representação "raster" e/ou vetor-"raster"; disponibilidade (educacional e baixo custo); trabalho em ambiente PC; função analítica; capacidade de operações entre os planos de informação.

Este módulo de exibição pertence ao subsistema de dados, é acessado também pelo sistema gerenciador para análise e manipulação das informações espaciais e é representado pelo "software Idrisi", versão 4.0 (Eastman, 1992; Ferraz, 1996).

Banco de dados

No centro de qualquer sistema de gerenciamento de informação há um banco de dados. Qualquer agrupamento de informação relacionada, com um único item, representa um banco de dados. Dados representam as informações (atributos) que entram no sistema e formam o banco de dados, onde são organizados e armazenados em uma tabela de linhas e colunas.

O módulo do banco de dados é representado por um gerenciador de banco de dados dBASE IIIplus (ORACLE,

ACCESS, etc.), é o módulo que manipula o cadastro dos usuários e armazena as informações do sistema, renovando-os e modificando-os a cada solicitação ou renovação de outorga.

Modelo matemático

Os modelos têm um grande potencial como ferramenta para avaliação de impactos sobre o meio líquido, resultantes das atividades humanas no meio ambiente.

A simulação dos processos hidrológicos e de qualidade da água, onde equações diferenciais e relações empíricas são utilizadas para representação de vários aspectos quantitativos e qualitativos do ciclo hidrológico, é a técnica mais largamente utilizada na prática, e, apesar de não ser otimizante, proporciona meios para o tratamento detalhado e conseqüentemente a avaliação, com maior precisão, do comportamento dos sistemas (Braga, 1987).

Orlob (1992) argumenta que a mais significativa mudança no estado da arte da modelagem nos últimos anos foi sua integração com a decisão, principalmente pela enorme aceleração das capacidades computacionais.

Os modelos matemáticos de simulação da qualidade e quantidade de água (QUAL 2E, SIMOX, MODSIM, etc.) representam este módulo, o qual é acessado pelo sistema gerenciador para produzir a simulação dos parâmetros de qualidade e quantidade de água a serem comparados com os padrões determinados pela legislação vigente.

Para avaliar se os padrões desejados de qualidade e quantidade são coerentes com a classificação dos corpos d'água, é usado um modelo matemático de simulação da qualidade da água denominado Simox II, 2ª versão, onde é descrita a relação entre a carga orgânica lançada e o déficit máximo de oxigênio que ocorre em um ponto a jusante do lançamento e o balanço hídrico (Ferraz, 1996).

Estrutura do modelo Simox II

O modelo Simox foi desenvolvido pelo Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS-OPS) para simular OD em rios e canais em regime permanente. Já foi aplicado a diversas bacias hidrográficas brasileiras, tendo sofrido algumas modificações (MME/DNAEE/DCRH).

É um modelo determinístico de simulação da qualidade da água, que utiliza as equações de Streeter-Phelps para oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a Lei de Chick para bactérias. As variáveis simuladas são OD, incluindo demanda bentônica e produção de oxigênio por algas; DBO carbonácea e nitrogenada; bactérias e substâncias conservativas. Neste estudo só foram simulados o OD e a DBO dos lançamentos de efluentes urbanos e industriais.

O modelo Simox II tem a capacidade de simular qualquer sistema fluvial em estrutura de rede, sendo, portanto, um modelo de qualidade de água aplicável somente a corpos lóticos (rios e canais). Sua aplicabilidade está restrita a sistemas unidimensionais, desprezando, assim, os efeitos transversais (Hermann; Ferreira, 1990).

O balanço hídrico é feito pelo próprio modelo, a partir da informação, fornecida pelo usuário, de todas as entradas e saídas de água do sistema. A rede hidrográfica é dividida em trechos com características hidráulicas e geométricas uniformes, formando uma estrutura em "árvore" que permite ao modelo ir acumulando as diversas contribuições, de montante para jusante. As vazões podem entrar ou sair do sistema de forma pontual, ou distribuída ao longo do trecho. No primeiro caso, trata-se de vazões de cabeceira, se o nó tiver outros trechos a montante dele, e de vazões afluentes, para nós internos. A vazão incremental é adicionada uniformemente ao longo do trecho correspondente. Cada vazão de entrada tem associada uma concentração de cada um dos parâmetros modelados, sendo estes os dados a serem fornecidos pelo usuário. O modelo simula, a cada intervalo, o balanço de massa no ponto de entrada e

projeta, usando as equações correspondentes, as concentrações dos parâmetros até o fim do trecho.

Levantamento dos dados

Os dados necessários ao presente trabalho foram coletados em diversas instituições, como DAEE, CETESB, CETESB - Regional Piracicaba, Companhia Energética do Estado de São Paulo - CESP, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Secretaria do Meio Ambiente - SMA.

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba, foi eleita através do Decreto Estadual n.º 28.289, de 09/06/1988, como modelo básico de gerenciamento para o Plano Estadual de Recursos Hídricos.

A área escolhida para o desenvolvimento deste trabalho envolve a bacia hidrográfica do rio Corumbataí e trecho da bacia do rio Piracicaba, compreendida entre os postos de monitoramento de qualidade da água operados pela CETESB em Piracicaba (PI.2215) e Artemis (PI.2800). Possui uma área de drenagem de aproximadamente 2000 km², formada principalmente pelos afluentes ribeirão Claro, ribeirão Passa Cinco e outros menores. A área de estudo está localizada numa das regiões de maior crescimento econômico do país. Esse crescimento, fruto da política de desenvolvimento da década de 70, deu origem a diversos problemas, como por exemplo o município de Piracicaba, que passou a constituir um dos pólos de atração de diversas atividades altamente consumidoras e degradadoras de recursos hídricos (Ferraz, 1996).

Cadastro de usuários

Utilizaram-se os cadastros de usuários urbanos fornecidos pelo DAEE atualizados até o ano de 1990; para as indústrias foram considerados os dados do relatório de

“Diagnóstico da Poluição Ambiental” de 1992 (CETESB, 1993) e relativos aos dados da CETESB regional Piracicaba; e para a irrigação o cadastro (DAEE, 1991).

Procedeu-se ao levantamento de todos os usuários potenciais, ou seja, aqueles que se utilizam da água como fonte de captação e lançamento urbano, industrial, e para irrigação. Todos os registros foram compilados, devendo-se fazer as seguintes observações (Ferraz, 1996):

1. foram consideradas como dado efetivo as cargas poluidoras remanescentes, porque quando da solicitação ou atualização da outorga do direito ao uso da água para atividades industriais, o usuário já deverá fazer constar em seu processo o projeto de sistema de tratamento de seus despejos industriais, conforme Decreto Lei n.º 8.468/76, Art.18. No caso de abastecimento urbano também foi levada em conta a carga poluidora remanescente dos sistemas de tratamento de esgotos, e, daqueles que não a possuem, foi considerada a carga poluidora potencial;
2. foram objeto de atenção aquelas indústrias que não apresentam descarte de resíduos líquidos nos corpos d'água, quer pela eficiência dos tratamentos, quer por não possuírem carga poluidora remanescente total, uma vez que o efluente gerado é tratado e recirculado;
3. só foram aproveitados os dados de carga poluidora dos lançamentos urbanos, cujas informações constam no relatório da CETESB (1992);
4. os dados utilizados foram aferidos, pois se observaram incoerências entre os mesmos nas diversas instituições. Para se considerar todos os pontos de usuários da bacia, deverá ser feito um levantamento e monitoramento mais confiável;
5. não foram consideradas captações subterrâneas (poços), nem captações futuras dos diversos usuários.

Dados de entrada do modelo SIMOX II

Para a aplicação do modelo Simox II na área de estudo, faz-se necessária a preparação prévia dos dados de entrada, tais como as características hidráulicas e geométricas dos cursos d'água, sua divisão em segmentos, definição das vazões de referência, das vazões afluentes e efluentes e os parâmetros de qualidade da água requeridos (Ferraz, 1996).

Para obtenção completa e eficiente desses dados, seriam necessários levantamentos batimétricos em várias seções dos rios e uma campanha de monitoramento de tempo de trânsito e qualidade da água acompanhando o comportamento da massa de água com o objetivo de fornecer subsídios para uma adequada calibração do modelo.

Tendo em vista a impossibilidade de adquirir tais informações atualizadas, e por não ser objetivo deste trabalho dar enfoque à calibração do modelo de qualidade da água em si, foram adotados dados e informações disponíveis em estudos realizados anteriormente (TECNOSAN, 1986; TEIXEIRA, 1988; CESP, 1992; DAEE, 1992; CETESB, 1992/1993).

Segmentação dos trechos

Na segmentação do sistema foram utilizados os seguintes critérios (Ferraz, 1996):

1. o modelo Simox permite até um número máximo de 50 confluências, 100 trechos e 4 lançamentos por nó;
2. serão início de segmento as confluências com os principais tributários dos rios Corumbataí e Piracicaba, e o posto de monitoramento da CETESB-CR2500;
3. cada segmento deverá ter características físicas e hidráulicas uniformes, não deverá ocorrer nenhuma mudança significativa na seção, declividade ou velocidade;
4. qualquer mudança na carga distribuída ou nos parâmetros das reações indica

a necessidade de estabelecer novo trecho.

Com relação à facilidade de aplicação do modelo, o início da segmentação dos trechos do rio Piracicaba será o posto de monitoramento da CETESB-PI 2215, na margem esquerda do rio Piracicaba. A segmentação possui ainda um outro início correspondente à cabeceira do rio Corumbataí. No total, os elementos dos trechos foram agrupados em 11 segmentos, sendo 9 correspondentes ao rio Corumbataí e 2 ao rio Piracicaba, começando o segundo no nó de confluência com a foz do rio Corumbataí e finalizando em outro posto de monitoramento da CETESB-PI 2800, em Artemis, no município de Piracicaba.

Características hidráulicas do sistema

As características hidráulicas dos trechos necessárias ao modelo Simox são (Ferraz, 1996):

- altitude média dos trechos;
- comprimento em km dos trechos;
- temperatura média da água do trecho adotado, como 20°C;
- coeficientes das relações de velocidade e profundidade com vazão (AVEL, BVEL, CPROF, DPROF) para cada trecho (TECNOSAN, 1986).

Balanço hídrico

Para a montagem da configuração das vazões afluente e efluente de cada trecho do sistema, serão formuladas as seguintes hipóteses (Ferraz, 1996):

1. a disponibilidade hídrica das cabeceiras e dos afluentes (QCAB, QAFL) é adotada como a vazão mínima de referência ou vazão crítica, $Q_{7,10}$, vazão mínima anual média de sete dias consecutivos e dez anos de período de retorno, conforme estudo elaborado pelo DAEE (1992) sobre as vazões mínimas de referência na bacia

do rio Piracicaba. A adoção de uma vazão de referência, seja $Q_{7,10}$, $Q_{\text{médio}}$, $Q_{95\%}$, ou vazões de eventos críticos, condiciona a avaliação da qualidade dos corpos d'água;

2. não serão analisadas as transferências de água que ocorrem intra-bacia e para bacias vizinhas (QDISP) e as vazões incrementais devidas às cargas difusas (QINC);
3. vazões urbanas, industriais e de irrigação captadas (QCAPT) e lançadas (QDES), disponíveis no cadastro de captação e lançamento urbanos, industriais e no cadastro de irrigantes;
4. a parcela que retorna aos rios, de vazão utilizada na irrigação, será considerada como 20% da vazão de captação. Pela classificação sistemática dos usos da água recomendada por Barth (1987), o uso consuntivo da irrigação é alto, chegando a 90% do seu consumo.

Determinação das concentrações dos componentes químicos e estimativa dos coeficientes de reação

Cargas de DBO. As cargas poluidoras de origem doméstica remanescentes relativas a cada município pertencente à área de estudo foram obtidas no "Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Estado de São Paulo - jan/1993 - Relatório CETESB".

As cargas poluidoras de origem industrial remanescentes foram obtidas através de levantamento de dados da CETESB - Regional Piracicaba.

Não foram consideradas as cargas poluidoras difusas devidas à irrigação.

Dados de DBO (mg/l). O potencial poluidor de cada vazão afluente e de cabeceira está associado a um nível de DBO e de OD, dependendo da ocupação e uso do solo (TECNOSAN, 1986).

Concentração de OD (mg/l). Os níveis de oxigênio dissolvido das vazões afluentes e de cabeceira serão estimados a partir dos valores de saturação, em função das características de ocupação e uso do solo dos trechos (Ferraz, 1996).

Estimativa dos Coeficientes de Reação.

Os coeficientes de reação necessários à avaliação do balanço de oxigênio são: K_a = taxa de reaeração, que indica a reposição de oxigênio através da atmosfera; K_d = taxa de desoxigenação, que mede o consumo de oxigênio dissolvido, devido à oxidação da matéria orgânica.

Os valores adotados para K_a e K_d para os trechos são os resultantes do estudo da TECNOSAN (1986).

Comentários sobre o modelo Simox II

A aplicação do modelo Simox II se restringe às condições para as quais o modelo decisório foi estruturado. Utilizaram-se como referências dados calibrados de outros estudos como citados anteriormente. A verificação dos dois parâmetros considerados relevantes para este estudo, DBO e OD, foi feita também através da comparação entre as concentrações simuladas e aquelas observadas no ano de 1992 nos postos de monitoramento da CETESB e das vazões mínimas mensais correspondentes ao ano de 1992 dos postos de monitoramento da quantidade de água da CESP e do DAEE (Ferraz, 1996).

CONCEPÇÃO GERAL DO MODELO PROPOSTO

O processo de geração do modelo proposto inclui um inventário da área de estudo e dos usuários da água pertencentes a ela, como descrito a seguir e mostrado na Figura 4.

A primeira fase do modelo consistiu no levantamento dos usuários potenciais (setores urbano, industrial e agrícola) e na preparação e coleta dos dados referentes às características geográficas e físicas da bacia hidrográfica.

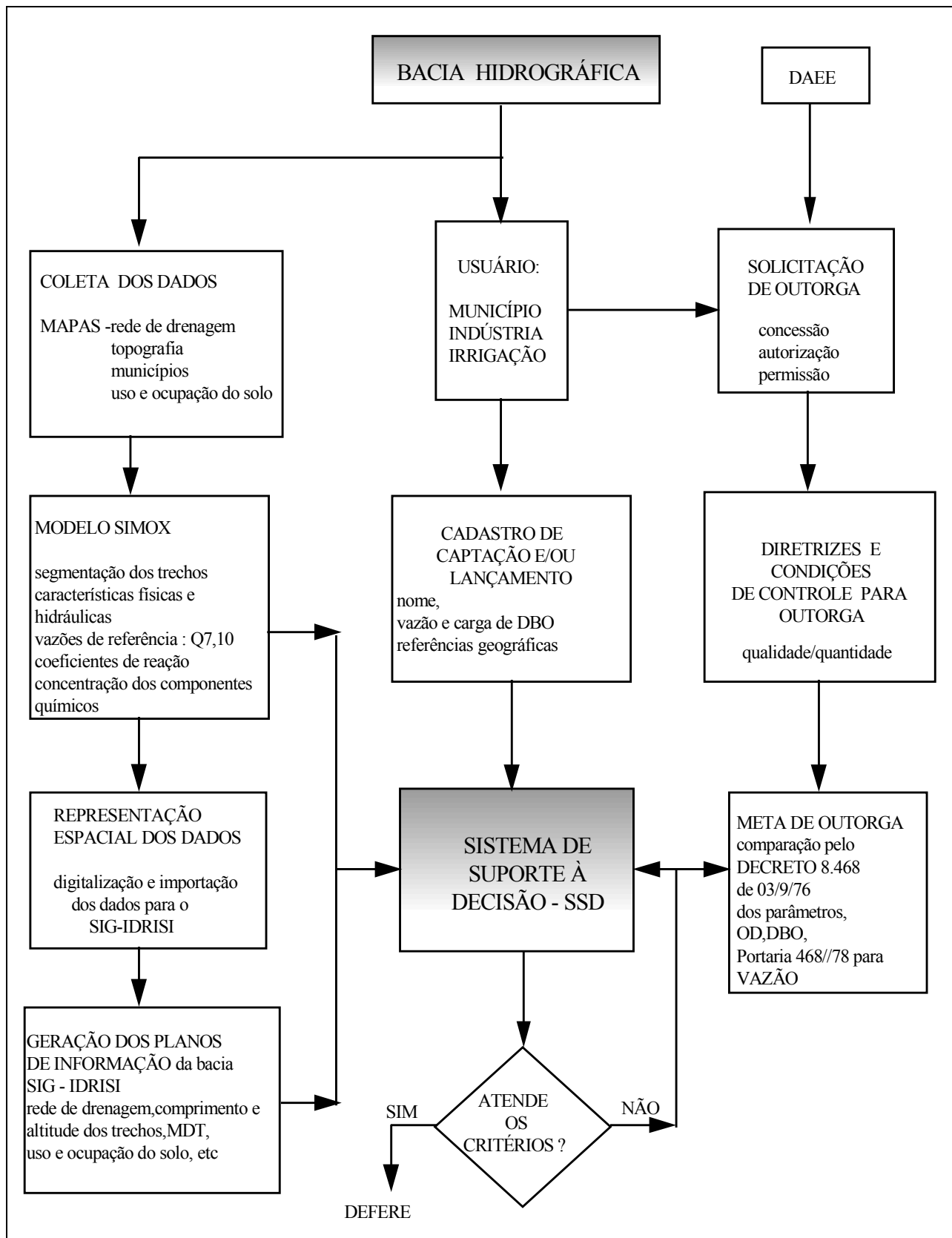


Figura 4. Fluxograma do modelo proposto (fonte: Ferraz, A. R. G. 1996).

A simulação do modelo é obtida com as informações fornecidas pelo usuário quando da solicitação de outorga de direito ao uso da água para as diversas finalidades requisitadas perante ao DAEE.

Todas as informações convergem para dentro do SSD, que são incorporadas à base de conhecimento do sistema. Após cada simulação obtém-se a meta de outorga que é a fixação dos níveis de qualidade, bem como de disponibilidade de água, que deverão seguir orientação conforme os índices, padrões e normas previstos na legislação.

RESULTADOS

O SSD abrange todos os aspectos legais existentes e permite uma análise viável em tempo-real das solicitações feitas para as derivações e lançamentos de água na bacia em estudo, e é atualmente utilizado em caráter experimental para o gerenciamento de aproximadamente 100 indústrias, 30 municípios e 50 irrigantes.

Para se chegar aos resultados da metodologia adotada foram cumpridas as seguintes etapas (Ferraz, 1996):

- definição da área de estudo;
- cadastro de usuários onde procedeu-se ao levantamento e compilação de todos os usuários potenciais, ou seja, aqueles que se utilizam da água como fonte de captação e lançamento urbano, industrial, e para irrigação;
- escolha dos “softwares” a serem utilizados como representativos das estruturas computacionais;
- preparação prévia dos dados de entrada do modelo Simox, tais como as características hidráulicas e geométricas dos cursos d’água, sua divisão em segmentos, definição das vazões de referência, das vazões afluentes e efluentes e os parâmetros de qualidade da água requeridos;
- definição da escala de trabalho e digitalização dos mapas base (carta topográfica do IBGE, 1980; carta de

uso e ocupação do solo, IGC, 1986, esc: 1:250.000);

- importação dos dados para o SIG-Ildrisi;
- geração dos planos de informação que permitem visualizar todos os usuários da bacia hidrográfica, rede de drenagem com seus respectivos mananciais de captação e lançamentos, modelo digital de terreno, uso e ocupação do solo;
- espacialização de atributos referentes a cada plano de informação; sobreposição entre planos de informação resultando em dados do modelo Simox (ex.: altitude média e extensão dos trechos);
- os valores de OD, DBO e VAZÃO simulados para cada trecho foram espacializados formando mais um plano de informação;
- o Ildrisi possui uma interface com o dBase III plus onde foram armazenados os atributos de cada ponto, polígono ou linha. Os atributos foram adquiridos a partir das informações contidas na base de conhecimento do sistema especialista e resultaram em um cadastro permanente de usuários urbanos, industriais e irrigantes;
- construção da base de conhecimento do programa VP-Expert através de uma linguagem fundamentada em regras e uma base de informação que mantém interface com os arquivos do banco de dados e com os programas executáveis (Simonovic, 1992, Ferraz, 1996).

Os resultados aqui apresentados não devem ser tomados como números absolutos, mas sim como um primeiro subsídio ao controle dos recursos hídricos através da outorga de direito de uso da água na área de estudo.

A seguir, apresenta-se o resultado em tela da simulação do modelo decisório para um usuário com finalidade de uso da água para abastecer sua indústria. Este requereu junto ao DAEE, uma solicitação

de outorga. O resultado obtido após o dialogo inicial entre o usuário e o sistema é ilustrado resumidamente na Figura 5.

Usuário: INDÚSTRIA e possui as seguintes variáveis: nome: Acebrás Acetatos do Brasil Ltda. atividade: química município: Piracicaba captação: rio_Corumbataí QCAPT: 0.0093 m3/s CAPCOORE: 225060 CAPCOORN: 7489700 IDCAPT: 36 lançamento: rio_Corumbataí QDESC: 0.0092 m3/s DBOkgdia: 0,140 LANCOORE: 225090 LANCOORN: 7489800 IDLAN: 50

Figura 5. Resultado simplificado da simulação do modelo decisório após o dialogo inicial entre o usuário e o sistema.

Após a simulação dos parâmetros de OD, DBO e VAZÃO e a sua posterior verificação com a legislação pertinente obteve-se o *deferimento* da outorga. Com o resultado da simulação do exemplo acima descrito observou-se que após a implantação da industria houve um aumento gradativo do OD, da DBO e da vazão. Quando consideramos que antes da implantação de qualquer usuário na bacia as condições qualitativas e quantitativas do rio Corumbataí eram mais favoráveis, sugere-se que sejam revertidas as tendências futuras, por meio de medidas de caráter corretivo e/ou preventivo, com alteração de projeção de demandas de água e de cargas poluidoras e reorientação da localização espacial das atividades econômicas (Ferraz, 1996).

A classificação atual dos corpos d'água do Estado de São Paulo está em conformidade com o enquadramento realizado em 1977 (Decreto n.º 10.755), a partir do Decreto n.º 8.468/76 (Lei n.º 997/76). O cenário de vazão simulado é a vazão mínima

anual de 7 dias consecutivos com 10 anos de período de retorno ($Q_{7,10}$) (Portaria DAEE n.º 39/86; Lei n.º 9034/94, Art.13).

Se os parâmetros não atenderem as exigências e a outorga for indeferida deverão ser feitas recomendações quanto ao uso e ocupação do solo e sobre as interferências causadas pela situação atual dos corpos de água. Os dados de entrada devem ser revistos para uma nova simulação, até que se alcance a condição ideal de deferimento.

CONCLUSÕES

Algumas conclusões e considerações específicas podem ser extraídas do processo de desenvolvimento do modelo proposto:

- a incorporação dos sistemas de apoio à decisão no Modelo Decisório trouxe benefícios, em virtude da capacidade de reunir conhecimento de informações para uma bacia hidrográfica os quais serão fundamentais aos decisores na comparação, análise e julgamento das alternativas para o uso racional e sustentável dos recursos hídricos no contexto da bacia;
- a união entre as estruturas computacionais apresentadas, ou seja, os sistemas especialistas, os SIGs e os modelos matemáticos como estruturas de representação dos SSDs, vem trazer um novo rumo às soluções de problemas no âmbito dos recursos naturais;
- através dos resultados obtidos evidencia-se a importância da aquisição e manutenção de dados, e sua disponibilidade é limite para os estudos realizados sobre o meio físico e os recursos naturais;
- revisão da metodologia utilizada na fixação de valores de referência de quantidade e qualidade de água;
- qualquer tipo de modelo matemático de simulação dos parâmetros de qualidade e quantidade poderá ser incorporado ao sistema. E por meio de campanhas de amostragem e

monitoramento e fatores de incertezas, os resultados poderão ser calibrados e confirmados;

- para valorizar o potencial de informações que os recursos sugeridos podem fornecer, devem ser incluídos todos os outros usuários da água;
- este trabalho apresenta mais uma contribuição metodológica e incentivo a pesquisas futuras em direção aos possíveis impactos dos modelos de decisão e as modificações destas decisões no ambiente decisório;
- é importante ressaltar, que embora se utilizem dados físicos e cadastrais reais, os exemplos são hipotéticos e os resultados devem ser considerados como de caráter puramente acadêmico e não como recomendações para permissões e autorizações de outorga dos usuários envolvidos.

REFERÊNCIAS

- ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Lei Federal n. 9.433 de 08 de janeiro de 1997, SP, ABRH, 1997.
- ALVES, D. S. Sistemas de informação geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Anais. São Paulo, EPUSP, 1990. p.66-78.
- ANDREW, F.; MARR, P. G. Geographic information systems as a tool in water use data management. *Water Resources Bulletin*, v. 28, n. 2, p. 331-36, Apr. 1992.
- ARONOFF, S. Geographic information systems: a management perception. Ottawa, WDL, 1989.
- AZEVEDO, L. G. T.; FONTANE, D. G.; PORTO, R. L. L. Sistemas especialistas para calibração de um modelo chuva-vazão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9. /SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, 5., Rio de Janeiro, 1991. Anais. Rio de Janeiro, ABRH/APRH, 1991. v. 1, p.316-25.
- BARTH, F. T.; POMPEU, C. T. Fundamentos para gestão de recursos hídricos. In: BARTH, F. T. et al. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo, Nobel/ABRH, 1987. p.1-91. (Coleção ABRH de recursos hídricos)
- BRAGA JR., B. P. F. Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos. In: BARTH, F. T. et al. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo, Nobel/ABRH, 1987. p.427-518. (Coleção ABRH de recursos hídricos)
- BRASIL. MME/DNAEE. Código de águas: leis subseqüentes. Rio de Janeiro, 1972.
- _____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Carta topográfica. Folha SE-23YA-Campinas, 1980. Escala 1:250.000. 1 mapa.
- _____. Leis, Decretos, etc. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. São Paulo, Atlas, 1988.
- _____. Legislação federal: controle da poluição ambiental. São Paulo, CETESB, 1995. (Série Documentos).
- _____.MME/DNAEE/DCRH/CRH Manual do usuário - Simox2 - versão II. s.n.t.
- CONEJO, J. G. L. Critérios de outorga de usos da água. In: CURSO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS, São Paulo, FCTH/DAEE, 1993.
- EASTMAN, J. IDRISI: version 4.0 - technical reference and user's guide. Worcester, Clark University, 1992.
- EVANS, T. A.; DJOKIC, D.; MAIDMENT, D. R.; Development and application of an expert geographic information system. In: GIS in hydraulics, hydrology and water resources, a one-week course presented at CEHPAR, Curitiba, UFPR, v.2, p.310-334, nov.1992.
- FERRAZ, A. R. G. Modelo decisório para a outorga de direito ao uso da água no Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996. 187p.
- FERRAZ, A. R. G. Decision-making model for granting the right to the use of water resources in the State of São Paulo, Poster Presentation, IX World Water Congress, IWRA, Montreal, Canada, sept.1997.
- HERMANN, R., FERREIRA, S. S. Modelagem matemática da qualidade da água: modelo Simox: teoria e prática. São Paulo, EPUSP/PHD, 1990.
- JOHNSON, L. E. Water resource management decision support systems. *Journal of Water Resource Planning and Management*, v.112, n. 3, p.308-25, July. 1986.
- JONES, E. dBASEIII PLUS: guia do usuário. Trad. de Denise T. de Souza. São Paulo, McGraw-Hill, 1987.
- LEIPNIK, M. R.; KEMP, K. K.; LOAICIGA, H. A. Implementation of GIS for water resources

- planning and management. *Journal of Water Resource Planning and Management*, v.119, n.2, p.184-205, Mar/Apr, 1993.
- MAIDMENT, D. R. GIS and hydrologic modelling. In: *GIS in hydraulics, hydrology and water resources: a one-week course presented at CEHPAR, Curitiba, UFPR, v.1, p.59-112, nov.1992.*
- McKINNEY, D. C.; MAIDMENT, D. R. Expert geographic information system for Texas water planning. *Journal of Water Resource Planning and Management*, v.119, n.2, p.170-183, Mar/Apr, 1993.
- ORLOB, G. T. Water quality modeling for decision making. *Journal of Water Resource Planning and Management*, v.118, n. 3, p.295-307, May/June. 1992.
- POMPEU, C. T.; BARTH, F. T. Fundamentos para gestão de recursos hídricos. In: BARTH, F. T. et al. *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo, Nobel/ABRH., 1987. p.1-91. (Coleção ABRH de recursos hídricos).
- RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO*, 1., São Paulo, 1990. *Anais*. São Paulo, EPUSP, 1990, p.1-26.
- SÃO PAULO. Legislação estadual: controle de poluição ambiental. São Paulo, CETESB, 1994. (Série Documentos).
- _____. CETESB. Diagnóstico da poluição ambiental no interior do Estado de São Paulo 1992. São Paulo. CETESB. janeiro, 1993.
- _____. CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 1992. São Paulo. CETESB, 1992.
- _____. DAEE. Cadastro de usuários - captações e lançamentos urbanos e industriais. Assessoria de Recursos Hídricos. São Paulo, 1991.
- _____. DAEE. Cadastro de irrigantes - unidade de gerenciamento de recursos hídricos: bacia do rio Piracicaba, 1993. São Paulo, DAEE, 1993.
- _____. Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica/DAEE/CRH. Plano estadual de recursos hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo - síntese. São Paulo, 1990.
- _____. Secretaria do Meio Ambiente. Estabelecimento de metas ambientais e reenquadramento dos corpos d'água: bacia do rio Piracicaba. São Paulo, 1994.
- SIMONOVIC, S. P. Flood control management by integrating GIS with expert systems: Winnipeg city case study. In: *HYDRO GIS'93: APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN HYDROLOGY AND WATER RESOURCES*, Viena, 1993. Viena., IAH, 1993. p. 61-72.
- SIMONOVIC, S. P. Sistemas especialistas com aplicações à engenharia. In: *Curso realizado na FCTH/DAEE*. São Paulo. 1992.
- SPRAGUE JR., R. H. DSS em contexto. In: SPRAGUE, R. H., WATSON, H. J. *Sistemas de apoio à decisão: colocando a teoria em prática*. Trad. Ana Beatriz G. R. Silva. Rio de Janeiro, Campus, 1989. p.43-54.
- TECNOSAN ENGENHARIA S. A. Plano global dos recursos hídricos da bacia do rio Piracicaba, estudo da qualidade da água - relatório final, v.6, São Paulo, 1986.
- TEIXEIRA, J. Filho. Estudos de modelos matemáticos de qualidade de água e aplicação do modelo Qual-I na bacia do rio Piracicaba. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988. 224p.
- TOMLINSON, R. F. Geographic information systems- a new frontier. In: PEUQUET, D. J.; MARBLE, D. F., ed. *Introductory readings in geographic information systems*. London, Taylor & Francis, 1990. p. 18-29.
- VLACHOS, E.; FONTANE, D. Decision support systems for water resource. In: *GULF WATER CONFERENCE*, Dubai, 1990., s.n.t.
- WALSH, M. R. Toward spatial decision support systems in water resources. *Journal of Water Resource Planning and Management*, v.119, n.2, p.158-69, Mar/Apr, 1993.
- WURBS, R. A.; WALLS, W. B. Water rights modeling and analysis. *Journal of Water Resource Planning and Management*, v.115, n.4, p.416-30, July, 1989.

***A Decision-Making Model for Granting
the Right to the Use of Water Resources
in the State of São Paulo***

ABSTRACT

The common belief that water is a renewable resource is changing with the perception that economic development, environmental degradation and the policies associated with the water resource has brought its availability close to the limits imposed by nature. The objective of this work is to contribute to enhance methodologies used to grant rights over the use of water in São Paulo State's rivers through Decision Support Systems (DSS) by the integration of Mathematical Models, Geographic Information System (GIS) and Expert Systems (ES) tools. It is proposed a specific decision model to give support to management and integrated planning of water resource, in reference to the grant of water use aims. As a test case, these tools were applied to the Corumbataí and part of the Piracicaba rivers basin, located in the Eastern region of the São Paulo State.