

## Análise Multicritério como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos: O Caso das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

Raquel de Souza Pompermayer

r974163@dac.unicamp.br

Durval Rodrigues de Paula Júnior, Oscar de Moraes Cordeiro Netto

Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP/FEAGRI

ANA - Agência Nacional de Águas

durval@agr.unicamp.br; oscar@ana.gov.br

Recebido: 09/11/04 - revisado: 11/04/06 - aprovado: 11/06/07

---

### RESUMO

Este trabalho propõe o uso de indicadores de sustentabilidade ambiental, associado à técnicas de análise multicritério, como instrumento de auxílio à gestão de recursos hídricos. Tais indicadores foram selecionados a partir de uma estrutura conceitual denominada Pressão-Estado-Resposta. O objetivo do trabalho é avaliar a aplicabilidade desses instrumentos em unidades de gerenciamento de recursos hídricos, tomando como referência a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 5 do Estado de São Paulo. Com base num diagnóstico da área de estudo e na estrutura conceitual mencionada, foram selecionados vinte indicadores de sustentabilidade. Realizou-se, então, uma classificação das sub-bacias que integram a área de estudo por ordem de preferência e/ou necessidade em relação a categorias de intervenção pré-estabelecidas. A proposta de indicadores selecionada e o método multicritério utilizado (ELECTRE III) demonstraram-se bastante adequados ao caso estudado. Os resultados obtidos indicam que o grau de preferência por determinada intervenção varia significativamente entre bacias e pode ser uma informação importante na implementação de um plano de ação ou programa de investimento.

**Palavras-chave:** Indicadores de sustentabilidade, análise multicritério, gestão de recursos hídricos, bacia hidrográfica.

---

### INTRODUÇÃO

Muito se sabe a respeito de ações potenciais de conservação dos recursos naturais, principalmente, daqueles em crescente escassez. No entanto, pouco se tem feito no sentido de evitar, num futuro próximo, sérios problemas diante das limitações desses recursos, particularmente os de natureza hídrica. Sendo assim, todo e qualquer esforço direcionado à recuperação, conservação e preservação dos recursos hídricos deve ser avaliado, para dar continuidade ao desenvolvimento econômico de forma sustentável, assegurando o bem-estar da humanidade.

Várias são as ferramentas e métodos utilizados no planejamento e gestão de recursos hídricos, como instrumentos de suporte à tomada de decisão, orientadas para a gestão contínua e integrada e o uso racional desses recursos. Vários são, também, os atores e agentes que, de uma forma ou de outra, estão envolvidos nessa questão e que atuam no pro-

cesso de decisão, uma vez que a utilização de recursos hídricos envolve interesses múltiplos e, às vezes, conflitantes.

Nesse contexto, procurou-se direcionar o trabalho à investigação de ferramentas de auxílio à tomada de decisão em planejamento e gestão dos recursos hídricos, no âmbito da conservação ambiental. Propõe-se, assim, a formulação de um procedimento multicritério como instrumento de auxílio à tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, a partir da utilização de indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos e da análise multicritério e da simulação de sua aplicação em uma bacia hidrográfica. Os indicadores de sustentabilidade foram definidos a partir de uma proposta de indicadores desenvolvida por Magalhães Junior et al. (2003). É importante mencionar que a referida proposta foi formulada com base na estrutura conceitual de indicadores, denominada *Pressão-Estado-Resposta* (PER).

Para a simulação do uso do procedimento formulado, definiu-se como objeto de estudo a Uni-

dade de Gerenciamento de Recurso Hídricos nº 5 – UGRH 5, no Estado de São Paulo. A UGRHI 5 compreende as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. No caso estudado, o procedimento multicritério tende a facilitar a tomada de decisão na implementação de programas de investimentos para a proteção, recuperação e uso racional de recursos hídricos em bacias hidrográficas, uma vez que ele permite a indicação do grau de necessidade e/ou preferência de uma bacia hidrográfica por determinada categoria de intervenção.

## O ESTADO- DA- ARTE

Os indicadores assim como a análise multicritério podem auxiliar o processo de tomada de decisão, uma vez que buscam sintetizar os dados e as informações complexas e multidimensionais. No processo de tomada de decisão multicritério o decisor procura ordenar elementos de um conjunto de alternativas do “melhor” ao “pior”, ou simplesmente escolher o melhor elemento. Para isso, o decisor identifica vários pontos de vista, dimensões ou critérios que lhe parecem pertinentes. Quando um indicador é construído, definem-se algumas dimensões. Assim, cada objeto é igualmente caracterizado pelo desempenho sobre cada dimensão e um valor final do indicador é calculado. Em seguida, o valor calculado é utilizado para organizar o conjunto de elementos.

Nesse contexto, Marchant et al. (2003) analisaram indicadores distintos, verificando se os mesmos desempenham corretamente suas funções. Ou seja, se eles refletem satisfatoriamente a realidade para qual estão designados ou, ainda, se eles podem servir de ferramenta de auxílio à tomada de decisão. Os autores citados mostraram que essa questão é bastante complexa, pois os indicadores analisados apresentaram algumas fragilidades, como por exemplo, pouca ou muita compensação. Ou seja, desvantagens numa dimensão podem ser compensadas por vantagens em outras dimensões, ao passo que desvantagens extremas não podem ser compensadas pelo bom desempenho em outras dimensões. Também se constatou a incapacidade de se considerar a dependência entre dimensões. Isso se deve particularmente ao fato dos mesmos serem construídos de maneira arbitrária, sem levar em conta as preferências dos usuários.

Os autores também compararam o uso de indicadores, como ferramentas de auxílio a decisão, com a análise multicritério. Segundo eles, existe

uma analogia entre essas duas ferramentas: são capazes de agregar a informação multidimensional com relação a um conjunto de propósitos. Porém, existe uma diferença fundamental: os indicadores são frequentemente construídos sem que exista um problema de decisão bem definido e um decisor em particular e, principalmente, na ausência de preferências.

Segundo a OECD (1993), um indicador deve ser teoricamente bem fundamentado, baseado em consenso e padrões internacionais em relação à sua validade. No caso dos indicadores ambientais, é importante mencionar que não existe uma única estrutura capaz de construir indicadores para quaisquer propósitos, uma vez que a mesma pode sofrer mudanças no tempo. Tais mudanças advêm do aumento do conhecimento científico, dos problemas ambientais e dos valores sociais envolvidos. Assim, existem várias estruturas a partir das quais os indicadores são formulados, organizados e selecionados.

Nesse contexto, contempla-se a estrutura conceitual de indicadores de meio ambiente denominada Pressão-Estado-Resposta (PER). Esse modelo, elaborado pela “Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)”, é universalmente reconhecido e utilizado para formulação, organização e seleção de indicadores ambientais.

Rufino (2002) utilizou o modelo analítico Pressão-Estado-Resposta, no âmbito municipal, para o desenvolvimento de um “sistema de indicadores ambientais”, que posteriormente foram agregados em índices de pressão ambiental e de estado do meio ambiente. Por fim, os índices obtidos foram transformados em um índice ambiental sintético, disposto numa escala de rendimento, proporcionando um diagnóstico da qualidade ambiental do município estudado.

Magalhães Junior et al. (2003) adotou a estrutura Pressão-Estado-Resposta para formulação e avaliação de uma proposta de indicadores de gestão do uso de recursos hídricos, por meio de um painel de especialistas (Técnica Delphi). Os indicadores foram desenvolvidos como ferramentas de apoio à tomada de decisão no âmbito dos comitês de gerenciamento de bacias hidrográficas.

Recentemente, Chaves e Alipaz (2007) desenvolveram um indicador agregado, denominado Watershed Sustainability Index (WSI), com a finalidade de integrar aspectos hidrológicos, ambientais e sociais e políticas de gestão recursos hídricos. O WSI utiliza a função Pressão-Estado-Resposta para incorporar as relações de causa e efeito e considerar as respostas políticas, que podem afetar a sustentabilidade da bacia hidrográfica.

À tomada de decisão em gestão de recursos hídricos é um processo complexo, uma vez que envolve um grande número de decisores e múltiplos critérios de seleção de alternativas, além da subjetividade e da imprecisão inerentes. A literatura indica que as técnicas multicritério de auxílio a decisão permitem a comparação entre alternativas a partir de múltiplos critérios, que expressam os diferentes pontos de vista e, portanto, às preferências do decisor (Vanderpooten, 1990 ; Roy, 1996). O ELECTRE, em suas diferentes versões (I, II, III, IV, IS e TRI), é uma classe de métodos que compara alternativas a partir de sua avaliação em relação a diferentes critérios (Roy, 1996).

Jardim et al. (1999) avaliou a aplicabilidade de algumas técnicas de análise multicritério no âmbito de comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica. Os resultados fornecidos pelos métodos utilizados, entre eles o ELETRE I e II, expressam a importância de se incorporar a subjetividade e a imprecisão do processo de tomada de decisão.

Ainda em relação aos métodos da família ELECTRE, estudos indicam que o modelo ELECTRE III é o mais indicado em casos de incerteza e imprecisão (Cordeiro Netto e Souza, 2000, Leyva-Lopez, 2004). Esse método permite analisar situações onde nem todas as alternativas são comparáveis entre si devido às diferenças de pontos de vista. Desse modo, o método estabelece relações de “indiferença”, “preferência fraca”, “preferência estrita”, permitindo que o agente decisor expresse suas preferências. Tais relações são construídas fixando limites de indiferença, de preferência e de veto e escolhendo os pesos que deverão medir o grau de importância dos vários critérios (maiores descrições do método estão reportadas em Vincke, 1992 ; Roy e Bouyssou, 1993 e Roger et al. (2000).

Aplicações do ELECTRE III incluem a simulação de um processo decisório de escolha de um sítio para construção de barragem de regularização (Cordeiro Netto et al., 1993) e a análise de situações de conflitos na alocação de recursos hídricos (Bella et al., 1996). Raju et al. (2001) aplicou vários métodos multicritério, entre eles o ELECTRE III, para o “ranking” de alternativas estratégicas de irrigação, visando o planejamento sustentável de recursos hídricos. Salminen et al. (1998) estabeleceu comparações entre o ELETRE III e vários outros métodos multicritério, no contexto de problemas ambientais. Aplicações recentes e bem sucedidas do Electre III merecem destaque, como por exemplo, no processo de tomada de decisão quanto à localização de plantas de tratamento de resíduos (Norese, 2006) e na

seleção de alternativas de reuso de água (Generino, 2006).

## METODOLOGIA

Após investigação e análise de ferramentas e métodos de auxílio à gestão de recursos hídricos, desenvolveram-se procedimentos para obtenção de dados e informações sobre a área de estudo, realização de diagnósticos, identificação de ações de intervenção e indicação do grau de preferência de bacias hidrográficas por determinado tipo de intervenção. Os principais procedimentos metodológicos e analíticos adotados estão apresentados nesta seção.

### Formação do Banco de Dados e Diagnóstico

Entre os principais elementos de suporte a um trabalho de planejamento ou gestão está a formação de um banco de dados e informações consistentes sobre o objeto de estudo ou análise. Geralmente, observam-se grandes dificuldades na obtenção de dados atualizados e confiáveis. Para conciliar os dados existentes com a unidade geográfica de estudo, realizou-se um diagnóstico da mesma. O referido diagnóstico está apresentado em Pomper-mayer (2003), fornecendo informações necessárias para a seleção de indicadores de sustentabilidade, mensuração e ponderação dos parâmetros e aplicação ao caso de estudo. As informações geradas foram as seguintes:

- a) *Áreas de drenagem das bacias hidrográficas, áreas cultivadas com culturas irrigadas e áreas com cobertura vegetal natural e reflorestamento: A obtenção dessas informações foi realizada com base no Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 5, 1999 (CETEC, 2000) e no Plano de Bacias Hidrográficas 2000-2003 (CBH-PCJ, 2001).*
- b) *Populações total e urbana e populações atendidas por serviços de abastecimento público de água, coleta e tratamento de esgotos: As informações sobre populações urbana e total e das populações urbanas atendidas pelos serviços de abastecimento urbano de água, coleta, transporte e tratamento de esgotos foram obtidos com base em estimativas realizadas no âmbito do “Programa de Investimentos para Proteção e Aproveitamento dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá”, referente ao*

- Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição – PQA (SRHSO, 1999).
- c) *Disponibilidade hídrica*: Adotaram-se valores referentes às vazões naturais ( $Q_{7,10}$ ) – vazão mínima com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos e  $Q_{95\%}$  - vazão de 95% da curva de permanência). A obtenção das informações sobre as disponibilidades hídricas teve como referência estudos de regionalização de vazões, realizados no âmbito do Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição – PQA.
- d) *Demanda Hídrica*: A demanda de água para abastecimento urbano foi determinada com base em parâmetros que definem os consumos de água nos sistemas públicos de abastecimento (captação urbana e consumo urbano efetivo de água). Tais parâmetros foram definidos e obtidos a partir de estimativas realizadas no âmbito do Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista (DAEE, 1997). As informações sobre demanda industrial e agrícola foram obtidas a partir do Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 5 e do Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003 (CETEC, 1999; CBH-PCJ, 2001).
- e) *Qualidade das águas*: A caracterização da qualidade hídrica foi realizada com base nos seguintes índices e parâmetros: índice de qualidade das águas (IQA), percentual de extensões de cursos de água em desacordo com o enquadramento vigente e carga orgânica remanescente em termos de  $DBO_5$  (Demanda Bioquímica de Oxigênio). A obtenção das informações sobre tais parâmetros teve como referencial o Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2001), o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 5 (CETEC, 1999) e o Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003 (CBH-PCJ, 2001).

### Seleção de uma Proposta de Indicadores

Os indicadores foram selecionados a partir das informações obtidas com o diagnóstico da área de estudo e de uma proposta de indicadores de gestão de recursos hídricos, formulada por Magalhães Junior. et al.. A proposta de indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos foi

aplicada à área de estudo, fornecendo um diagnóstico das bacias hidrográficas estudadas.

### Definição de Categorias de Ações de Intervenção

As categorias de intervenção para proteção, conservação e uso racional de seus recursos hídricos foram definidas a partir do “Plano de Ação” do Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição – PQA, 1997 (SRHSO, 1999).

### Aplicação do Método Multicritério

A classificação das ações por grau de importância ou prioridade foi obtida por meio do ELEC-TRE III. Para a aplicação desse modelo definiram-se os seguintes procedimentos:

- a) *Construção da “matriz de performances”*: A matriz de performances resume as informações relativas a um conjunto de ações  $A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  avaliadas em relação a uma família de critérios  $F=\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  (Yu, 1992). É a partir dela que se realiza um procedimento de agregação multicritério, o qual estabelece relações de desclassificação entre ações. Essa matriz pode compor um quadro que contenha eventualmente outras informações, como os pesos dos critérios, os limiares  $p$  (preferência),  $q$  (indiferença) e  $v$  (veto) e o sentido de preferência. A Figura 1 ilustra a matriz de avaliação das ações em relação aos critérios ( $g_1(a_1), g_2(a_2), \dots, g_n(a_n)$ ).

	$g_1$	...	...	$g_i$	...	...	$g_n$
$a_1$	$g_1(a_1)$	...	...	$g_i(a_1)$	...	...	$g_n(a_1)$
...	...	...	...	...	...	...	...
$a_i$	$g_1(a_i)$	...	...	$g_i(a_i)$	...	...	$g_n(a_i)$
...	...	...	...	...	...	...	...
$a_m$	$g_1(a_m)$	...	...	$g_i(a_m)$	...	...	$g_n(a_m)$

Figura 1 - Matriz de performances das ações.  
Adaptado de Yu, 1992.

- b) *Atribuição de pesos e valores aos parâmetros  $p$ ,  $q$  e  $v$* : Para a atribuição de importância relativa aos indicadores, adotou-se uma escala de pesos de 0 a 1. Dessa forma, para cada categoria de intervenção, os pesos foram atribuídos de forma arbitrária e orientada, de modo que a somatória de todos os pesos fosse igual a 1. Ou seja, realizou-se uma

ponderação relativa dos parâmetros, que pode ser representada da seguinte maneira:

$$\sum_{j=1}^N p_j = 1$$

$p_j$  = peso relativo ao parâmetro  $j$ ;  
 $N$  = número de parâmetros.

O peso relativo para cada indicador na categoria analisada foi atribuído levando-se em conta os índices e parâmetros avaliados. Desse modo, a ponderação foi realizada segundo a importância relativa de cada índice e/ou parâmetro na categoria de ação avaliada.

O modelo ELECTRE III requer, também, a definição dos parâmetros  $p$ ,  $q$  e  $v$  para expressar as incertezas inerentes aos critérios avaliados. A atribuição de valores reais aos parâmetros  $p$ ,  $q$  e  $v$  é uma questão delicada, em virtude do elevado grau de subjetividade inerente. Nesse caso, a fixação dos limiares  $p$ ,  $q$  e  $v$  foi realizada com base em recomendações, por meio de referenciais teóricos.

Segundo Martin e Bruen (1998), existe uma grande subjetividade envolvida na determinação desses parâmetros, que normalmente são expressos em termos de erros e/ou incertezas associadas aos valores de cada critério submetido a julgamento. Os autores sugerem que, para uma aproximação mais realística dos valores de  $p$ ,  $q$  e  $v$ , erros e incertezas inerentes aos critérios e o bom senso devem ser considerados.

Roy (1992) *apud* Yu (1992) considera que a atribuição de valores para esses limiares deve ser realizada pelo decisor, estando mais apoiada sobre considerações de bom senso do que na busca de um valor “exato” e/ou aproximado.

- c) *Simulação com o ELECTRE III*: Após elaboração da matriz de performances, ponderação dos indicadores e fixação dos limiares  $p$ ,  $q$  e  $v$ , realizou-se a simulação com o modelo multicritério ELECTRE III. Definiu-se, assim, a classificação de cada bacia hidrográfica por determinado tipo de ação de intervenção.

## APLICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

Realizou-se uma aplicação da metodologia formulada, que teve como resultado uma classificação das bacias hidrográficas que compõem a área de

estudo, segundo a necessidade de cada uma delas em relação à determinada ação de intervenção. Apresentam-se, na seqüência, as etapas desenvolvidas para a aplicação à área de estudo.

### Definição da Área de Estudo

O objeto de estudo é a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 5 – UGRHI 5 que corresponde às bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. A UGRHI 5 está localizada na região leste do Estado de São Paulo, desde a divisa com Minas Gerais até o reservatório da Usina de Barra Bonita, no Rio Tietê, com uma área de drenagem de aproximadamente 14.040 km<sup>2</sup>. A área de estudo foi subdividida em sete sub-bacias hidrográficas, visando uma análise compartimentada dos seguintes aspectos: urbanização, demografia, uso e ocupação da terra, disponibilidade hídrica, usos e demandas hídricas, atendimento urbano por sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, qualidade da água e fontes de poluição (domésticas e industriais). Para isso, adotou-se a sub-divisão definida no Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 5 (CETEC, 1999) e no Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003 (CBH-PCJ, 2001). Definiram-se, assim, as seguintes sub-bacias hidrográficas: Rio Atibaia (ATI); Rio Camanducaia (CAM); Rio Jaguari (JAG); Rio Corumbataí (COR); Rio Piracicaba (PIR); Rio Capivari (CAP) e Rio Jundiá (JUN).

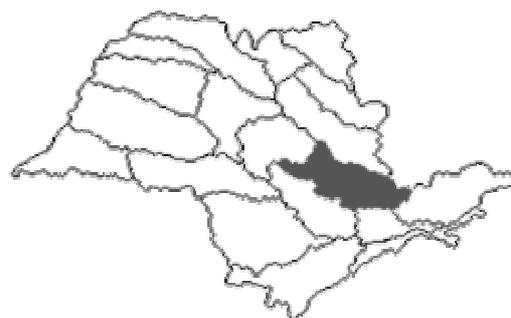


Figura 2 - Localização da UGRHI 5 no Estado de São Paulo.

A Figura 2 mostra a localização da UGRHI 5 no Estado de São Paulo.

### Seleção da Proposta de Indicadores

A seleção dos indicadores foi realizada com base em uma proposta de indicadores formulada por Magalhães Junior et al. (2003), no banco de dados e informações geradas e na estrutura *Pressão-Estado-Resposta*. Na Tabela 1, em anexo, está resumido os vinte indicadores selecionados. Para cada indicador, descrevem-se os parâmetros que o constitui, assim como sua respectiva unidade.

### Determinação dos Indicadores

Essa etapa corresponde à quantificação dos indicadores definidos, para que tenham validade no contexto das bacias hidrográficas estudadas. Os índices ou parâmetros determinados para cada indicador estão apresentados na Tabela 1, em anexo. Essa tabela traz uma avaliação do desempenho das sete sub-bacias a partir dos vinte indicadores adotados. Nela estão contidas as informações resultantes da avaliação de cada sub-bacia em relação a cada indicador. Ela traz também uma avaliação em nível global para fins comparativos.

Tabela 2 - Categorias de ações pré-estabelecidas.

Categoria	Ação de Intervenção
I	Coleta, transporte e tratamento de esgotos
II	Racionalização do uso da água
III	Controle de fontes poluidoras e tratamento de efluentes industriais
IV	Reflorestamento e reconstituição da vegetação ciliar e de áreas degradadas
V	Produção e distribuição de água potável para abastecimento urbano
VI	Educação Ambiental em relação ao uso de recursos hídricos

Fonte: SRHSO, 1999.

### Identificação das Categorias de Ações de Intervenção

As categorias de ações de intervenção foram definidas a partir de um programa de investimentos para proteção e aproveitamento racional dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas em estudo. Este programa existente, no âmbito do Projeto de Quali-

dade das Águas e Controle da Poluição (PQA), define várias ações de intervenção. A Tabela 2 apresenta as categorias previamente estabelecidas, nas quais as sub-bacias são classificadas em ordem de preferência.

### Simulação com o ELECTRE III

A tomada de decisão envolvendo a aplicação de programas de investimentos para a conservação, proteção e a recuperação da qualidade de recursos hídricos, embora seja uma tarefa relativamente comum, ainda é bastante complexa. Isso porque os impactos da implementação de programas de investimentos são mensurados em dimensões distintas (benefícios e possíveis inconvenientes), além de envolverem diferentes interesses.

Considerou-se, assim, uma metodologia capaz de posicionar as bacias avaliadas, umas em relação às outras, isto é, estabelecer uma ordenação preferencial. Para tanto, utilizou-se o ELECTRE III, que teve sua escolha influenciada por características particulares não encontradas em nenhum outro método multicritério. Dentre elas, a capacidade de incorporar as imprecisões e incertezas do processo decisório inerente. Desse modo, definiram-se os limiares de preferência (p), indiferença (q) e veto (v) para cada um dos indicadores selecionados, para expressar as imprecisões e incertezas associadas aos dados e informações, sobre os quais se fundamenta o processo de avaliação. Esses parâmetros permitem a integração de dados e informações pouco confiáveis e/ou precisos. A princípio, optou-se por atribuir arbitrariamente valores a esses limiares. Atribuíram-se também pesos aos indicadores, de forma arbitrária e orientada, para cada categoria de intervenção avaliada.

Na Tabela 3, em anexo, estão resumidos os valores atribuídos a esses limiares, assim como os pesos relativos dos indicadores para cada categoria de intervenção.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método utilizado gerou uma “classificação final”, indicando a posição das sub-bacias de acordo com sua preferência por determinada ação. As posições das sete sub-bacias para as seis intervenções estão indicadas na Tabela 4.

**Tabela 3 - Valores de referência para os limiares de preferência (p), indiferença (q) e veto (v) e pesos relativos.**

INDICADOR	p	q	v	PESOS ATRIBUÍDOS					
				I	II	III	IV	V	VI
Índice de cobertura vegetal natural	0,04	0,02	0,13	0	0	0	0,22	0	0,15
Índice de eflorestamento	0,36	0,18	1,09	0	0	0	0,10	0	0,10
Vazão mínima específica $Q_{7,10}$	1,16	0,58	3,48	0	0	0,06	0,06	0	0,08
Vazão mínima específica $Q_{95\%}$	1,65	0,83	4,96	0	0	0,06	0,06	0	0,05
Índice de irrigação	0,21	0,11	0,64	0	0,10	0	0	0	0,05
Densidade demográfica	216	108	649	0,10	0,10	0,08	0,07	0,09	0,09
Índice de urbanização	0,08	0,04	0,25	0,12	0,10	0,08	0,08	0,15	0,10
Índice de consumo efetivo de água per capita	11,60	5,80	34,80	0,07	0,15	0	0	0,10	0,07
Índice de captação urbana de água em relação à $Q_{7,10}$	0,34	0,17	1,01	0,09	0,15	0,10	0,15	0,10	0,08
Índice de captação urbana de água em relação à $Q_{95\%}$	0,22	0,11	0,67	0,08	0,08	0	0,06	0,05	0,04
Índice de captação industrial de água em relação à $Q_{7,10}$	0,29	0,14	0,86	0	0,15	0,10	0,10	0	0,09
Índice de captação industrial de água em relação à $Q_{95\%}$	0,20	0,10	0,59	0	0,08	0	0,06	0	0,02
Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à $Q_{7,10}$	0,07	0,04	0,22	0	0,06	0	0,02	0	0,06
Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à $Q_{95\%}$	0,06	0,03	0,17	0	0,03	0	0,02	0	0,02
Índice de atendimento urbano por coleta de esgotos	0,05	0,03	0,16	0,09	0	0	0	0	0
Índice de atendimento urbano por tratamento de esgotos	0,13	0,06	0,38	0,15	0	0	0	0	0
Índice de qualidade das águas superficiais	18,40	9,20	55,20	0,10	0	0,10	0	0,12	0
Carga orgânica remanescente urbana	25.925	12.963	77.776	0,10	0	0	0	0,15	0
Carga orgânica remanescente industrial	4.887	2.443	14.660	0	0	0,22	0	0,09	0
Percentual da extensão do rio em desacordo com o enquadramento	26	13	78	0,10	0	0,20	0	0,15	0

**Tabela 4 - Classificação final das sub-bacias por categorias de intervenção.**

Categoria de Intervenção	CLASSIFICAÇÃO FINAL						
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
I	PIR	CAP;JUN	ATI	COR; JAG	CAM		
II	JUN	CAP	ATI	PIR	JAG	COR	CAM
III	PIR	JUN	CAP	ATI	COR; JAG	CAM	
IV	PIR	CAP	JAG; JUN	ATI	COR	CAM	
V	JUN	PIR; CAP	COR; ATI	JAG	CAM		
VI	PIR; CAP	JUN	JAG	ATI; COR	CAM		

Segundo os resultados para Categoria I, a sub-bacia do Rio Piracicaba revelou-se como a de maior necessidade por tal intervenção. Essa sub-bacia encontra-se em situação privilegiada quanto ao tratamento de seus esgotos urbanos (cerca de 13%, em 2000) comparada as dos rios Capivari (2%), Corumbataí (11%), Jaguari (2%) e Camanducaia (6%). Entretanto, os elevados níveis de cargas poluidoras remanescentes domésticas (18.944 ton.DBO/ano), comparados com os das demais sub-bacias, comprometem a qualidade de suas águas. Ressalte-se, ainda, que a elevada demanda urbana por água (66% de  $Q_{7,10}$  e 47% de  $Q_{95\%}$ ) é também um agravante da qualidade hídrica na sub-bacia. A sub-bacia do Jundiáí, embora apresente índice de tratamento de esgoto doméstico superior às demais (34%), teve sua classificação determinada pelos seguintes fatores: elevada carga orgânica remanescente (65.839 ton.DBO/ano); baixo índice de qualidade das águas (qualidade imprópria); elevadas pressões das demandas (89% da disponibilidade hídrica  $Q_{7,10}$ ) para abastecimento público; elevada densidade demográfica e urbanização (636 hab./km<sup>2</sup> e 96%, respectivamente).

Na Categoria II, as sub-bacias dos rios Jundiáí, Capivari e Atibaia, estão classificadas na primeira, segunda e terceira posição, respectivamente. Nessas sub-bacias, estão as maiores pressões das demandas urbana (89%, 53% e 33% de  $Q_{7,10}$  e 59%, 36% e 24% de  $Q_{95\%}$ , respectivamente), industrial (47%, 51% e 71% da  $Q_{7,10}$ , e 32%, 31% e 51% da  $Q_{95\%}$ , respectivamente) e de irrigação (15%, 26% e 17% da  $Q_{7,10}$ , e 10%, 17% e 12% da  $Q_{95\%}$ , respectivamente). Essa classificação é resultado também da contribuição dos seguintes indicadores: “índice de consumo efetivo de água *per capita*” (108, 103 e 97 m<sup>3</sup>/hab.ano, respectivamente), “índice de irrigação” (46%, 64% e 57%, respectivamente), “índice de urbanização” (96%, 95% e 94%, respectivamente) e “densidade demográfica” (636, 339 e 310 hab./km<sup>2</sup>, respectivamente). Na quarta e quinta posições encontram-se as sub-bacias dos rios Piracicaba e Jaguari, respectivamente. As sub-bacias dos rios Corumbataí e Camanducaia foram classificadas na sexta e sétima posição, respectivamente.

Na categoria III, que corresponde à intervenção “controle de fontes poluidoras e tratamento de efluentes industriais”, destaca-se a sub-bacia do Rio Piracicaba como a de maior prioridade (primeira posição). Essa posição é coerente com os elevados níveis de carga orgânica remanescente industrial (12.450 ton.DBO/ano) em relação às demais, particularmente as dos rios Jundiáí (3.248 ton.DBO/ano) e Capivari (234 ton.DBO/ano), que

estão na segunda e na terceira posição, respectivamente.

Para a Categoria IV, a sub-bacia do Rio Piracicaba destaca-se na primeira posição, o que é coerente com suas características (por exemplo, “índice de reflorestamento” – 22%, “índice de cobertura vegetal natural” – 4% e vazões mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  – 1,46 e 2,37 l/s.km<sup>2</sup>, respectivamente). A sub-bacia do Rio Capivari apresenta-se classificada na segunda posição, enquanto as dos rios Jaguari e Jundiáí encontram-se empatadas na terceira posição, o que é coerente também com as características específicas dessas sub-bacias. As sub-bacias dos rios Atibaia, Corumbataí e Camanducaia situam-se na quarta, quinta e sexta posição, revelando-se como as de menor necessidade por tal intervenção.

Com relação à Categoria V, os resultados indicam a sub-bacia do Jundiáí como a de prioridade máxima nessa categoria. As sub-bacias dos rios Piracicaba e Capivari encontram-se empatadas na segunda posição, enquanto as dos rios Corumbataí e Atibaia estão empatadas na terceira posição. As sub-bacias dos rios Jaguari e Camanducaia posicionam-se na quarta e quinta posição, respectivamente. Verifica-se, assim, que essa classificação pode ser julgada satisfatória, uma vez que ela foi feita considerando-se vários aspectos simultaneamente. Entre eles estão os altos índices de urbanização (Corumbataí, Jundiáí, Capivari e Piracicaba), os baixos índices de qualidade das águas (Piracicaba, Capivari e Jundiáí), as elevadas cargas poluidoras remanescentes urbanas (Jundiáí, Piracicaba e Atibaia) e o elevado percentual de extensões de rios em desacordo com o enquadramento, além das elevadas pressões das demandas (Piracicaba, Capivari e Jundiáí).

Os resultados indicam, por fim, que na Categoria VI, encontram-se empatadas na primeira posição as sub-bacias dos rios Piracicaba e Capivari, revelando-se como as de maior prioridade por tal intervenção. Na quarta posição encontram-se empatadas as sub-bacias dos rios Atibaia e Corumbataí, enquanto a sub-bacia do Camanducaia ocupa a quinta posição, indicando menor prioridade por tal intervenção.

De modo geral, a avaliação das sete sub-bacias a partir dos vinte indicadores selecionados forneceu resultados coerentes. Em todas as categorias avaliadas as sub-bacias de maior criticidade quanto à utilização dos recursos hídricos ocuparam posições que indicam suas maiores ou menores necessidades em relação a determinados tipos de intervenções.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia utilizada para a seleção dos indicadores de sustentabilidade possibilitou a definição de uma proposta de indicadores compatível com os dados e informações disponíveis, fornecendo classificação satisfatória das sub-bacias, segundo suas prioridades por determinados tipos de intervenções.

Em relação à análise multicritério, observou-se a adequação da técnica utilizada à abordagem proposta e a importância dos resultados obtidos. A partir dos índices e valores determinados, dos pesos atribuídos a cada parâmetro e de um conjunto de ações pré-estabelecidas, foi possível indicar a necessidade ou a preferência relativa de cada bacia por determinada ação de intervenção.

De modo geral, os resultados foram bastante satisfatórios e coerentes com a realidade das sub-bacias avaliadas, notadamente nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, que foram classificadas como prioritárias em praticamente todas as categorias de intervenção consideradas. A coerência dos resultados pode ser reforçada com a classificação gerada para as bacias dos rios Jaguari e Camanducaia. No caso da Bacia do Rio Camanducaia, sua classificação indicou-a como a de menor necessidade de intervenção, o que é consistente com as características dessa bacia.

Por outro lado, observou-se que, para a maioria das categorias avaliadas, existem sub-bacias que têm igual preferência e/ou necessidade de determinado tipo de ação. Esses casos poderiam ser mais bem avaliados com uma ponderação “precisa” dos indicadores.

Por fim, os resultados obtidos sugerem a necessidade de maiores investigações. Seguem-se, assim, algumas recomendações que poderão contribuir para um aperfeiçoamento deste estudo:

- Submeter os indicadores pré-selecionados a um grupo de especialistas do setor de recursos hídricos, para que os parâmetros possam ser mais bem avaliados e ajustados;
- Discutir os resultados da simulação com decisores para que os parâmetros e respectivas ponderações possam ser devidamente ajustados às reais características e interesses inerentes à bacia hidrográfica em questão;
- Aplicar a metodologia proposta em outras áreas de estudo, para avaliar sua aplicabili-

dade em diferentes contextos ambientais, socioeconômicos e político-institucionais.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

## REFERÊNCIAS

- BELLA A. ; DUCKSTEIN, L. ; SZIDAROVSKY, F. (1996) “A multicriterion analysis of the water allocation conflict in the upper Rio Grande Basin”. North-Holland, Applied Mathematics and Computation n. 77, p.246-263. Elsevier Science Inc, New York.
- CBH-PCJ (2001) “Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003”. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá <<http://w.w.w.comitepcj.sp.gov.br>>, 01/03/2002.
- CETEC (1999) “Relatório de Situação dos Recursos Hídricos nas Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá”. Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação. <<http://w.w.w.comitepcj.sp.gov.br>>, 13/09/2001.
- CETESB (2001) “Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo” - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 230p. <<http://w.w.w.cetesb.sp.gov.br>> 21/06/2001.
- CHAVES, H. M. L. ; ALIPAZ, S. (2007) “An integrated indicator base don basin hydrology, environment, life and policy: the Watershed Sustainability Index”. Water Resources Management <<http://springerlink.meta.press.com>> 16/05/2007.
- CORDEIRO NETTO, O. M.; PARENT, E. ; DUCKSTEIN, L. (1993) “Métodos Multicritério Aplicados ao Planejamento de Recursos Hídricos: o Caso da Escolha de um Sítio de Barragem de Regularização no Sudoeste da França”. In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Gramado. Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. v. 1. p. 337-346.
- CORDEIRO NETTO, O. M.; SOUZA, M. A. A. (2000) “Análise tecnológica multiobjetivo de alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios”. In: Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. Coletânea de Artigos Técnicos do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB2), Brasília, vol. 1, p. 205-220.

- DAEE (1997) "Plano integrado de aproveitamento e controle dos recursos hídricos das bacias Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista" - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, São Paulo, 214p.
- GENERINO, R. C. M. (2006) "Contribuição da abordagem multicritério na seleção de alternativas de reúso de água: Aplicação em um caso de irrigação agrícola e paisagística no Distrito Federal" Tese de Doutorado, USP, 181p.
- JARDIM, S. B. ; LANNA, A. E. L. (2003) "Aplicabilidade de Algumas Técnicas de Análise Multiobjetivo ao Processo Decisório no Âmbito dos Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, vol. 8, n. 4.
- LEYVA-LOPEZ, J. C. (2005) "Multicriteria decision aid application to a student selection problem" Pesquisa Operacional, v.5, n.1, p. 45-68.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. ; CORDEIRO NETTO, O. M. ; NASCIMENTO, N. O. (2003) "Os Indicadores como Instrumentos de Gestão da Água no Atual Contexto Legal-Institucional do Brasil: Resultados de um Painel de Especialistas". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 00-10.
- MARCHANT T. ; BOUYSSOU D. ; PERNY P. (2003) "Les indicateurs en perspective". Technical Report TR/SMG/2003-09, SMG, Université Libre de Bruxelles.
- MARTIN, R.; BRUEN, M. (1998) "Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within electre". European Journal of Operational Research, vol. 107, n. 3, p. 542-551.
- NORESE, M. F. (2006) "ELECTRE III as a support for participatory decision-making on the localization of waste-treatment plant". Land Use Policy, v.23, p. 76-85.
- OECD (1993) "OECD core set of indicators for environmental performance reviews" <<http://www.oecd.org>>, 07/02/2002.
- POMPERMAYER, R. S. (2003) "Aplicação da análise multicritério em gestão de recursos hídricos: simulação para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá" Dissertação de Mestrado, FEAGRI-UNICAMP, 134p.
- RAJU S. ; DUCKSTEIN, L. ; ARONDEL C. (2001) "Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: a case study in Spain". Water Resources Management, v.14, p.435-456.
- ROGERS, M. ; BRUEN, M. ; MAYSTRE, L. Y. (2000) "ELECTRE and decision support methods and applications in engineering and infrastructure investment". Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- ROY, B (1992) "Decision-science or decision-aid science" Caderno do LAMSADE - Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la decision, n. 97, Université de Paris-Dauphine, Paris.
- ROY B. ; BOUYSSOU D. (1993) "Aide multicritère à la décision : méthodes et cas". Economica, Paris.
- ROY, B. (1996) "Multicriteria methodology for decision aiding." Kluwer.
- RUFINO, R. C. (2002) "Avaliação da Qualidade Ambiental do Município de Tubarão (SC) através do Uso de Indicadores Ambientais" Dissertação de Mestrado, UFSC, 123p.
- SALMINEN P. ; HOKKANEN J. ; LAHDELMA, R. (1998) "Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems". European Journal of Operational Research, v. 104, p. 485-496.
- SRHSO (1999) "Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição" - Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo - Relatório do Programa de Investimentos para Proteção e Aproveitamento dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, CD-Rom.
- VANDERPOOTEN, D. (1990) "The construction of prescriptions in outranking methods". In: Reading in Multiple Criteria Decision Aid, Springer Verlag, Berlin, p. 184-215.
- VINCKE, P. (1992) "Multicriteria Decision-Aid". Wiley, Chichester.
- YU, W. (1992) "ELECTRE TRI: Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation" Documento do LAMSADE - Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la decision. Université de Paris-Dauphine, Paris.

**Multicriteria Analysis Applied to Water Resources Management: Application in the river basins of Piracicaba, Capivari and Jundiá**

**ABSTRACT**

*This study suggests the use of environment sustainability indicators linked to multicriteria analysis. These indicators have been chosen from a framework called Pressure-State-Response. This framework is scientifically recognized and used in the formulation, organization and selection of environmental sustainability indicators. The study aims at evaluating the applicability of these instruments in the Piracicaba, Capivari and Jundiá river basins which are located in the State of São Paulo. Twenty indicators were chosen from a diagnosis of the region studied and the aforementioned framework. Then the rivers basins that lie in the study area were ranked by order of preference and/or need depending on the previously chosen types of intervention. The indicators proposed and the multicriteria model*

*(ELECTRE III) proved suitable for the case studied. The results obtained suggest that preference for a given intervention varies significantly among basins and may be important information to implement an action plan or investment program.*

*Key-words: Sustainability indicators, multicriteria analysis, water resources management, river basin.*