

JOSÉ GALIZIA TUNDISI

Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos

**JOSÉ GALIZIA
TUNDISI** é presidente e
pesquisador do Instituto
Internacional de Ecologia
(São Carlos) e professor
convidado do Instituto de
Estudos Avançados da
USP (São Carlos).

INTRODUÇÃO

a quantidade e a qualidade das águas doces continentais no planeta sempre foram essenciais para manter os ciclos de vida, a biodiversidade dos organismos e a sobrevivência da espécie humana. Quantidade de água disponível e qualidade adequada têm componentes que são fundamentais para a economia regional, continental e mundial; água de boa qualidade (isto é, sem contaminantes ou organismos que podem parasitar o homem e outros organismos) é fundamental para manter a sustentabilidade e a saúde humanas, e em última análise a qualidade de vida de populações urbanas e rurais (Tundisi, 2003).

Apesar de ser essencial à vida humana e à economia de todas as regiões do planeta há permanentes ameaças ao ciclo hidrológico e à quantidade e qualidade de água. Essas ameaças decorrem devido ao uso excessivo da água para várias atividades humanas. Tais usos excessivos incluem águas superficiais e subterrâneas, que são reservas importantes e substanciais de água em algumas regiões do planeta. A solução para todos os problemas referentes à água está centrada atualmente no desenvolvimento de sistemas adequados de gestão e de procura permanente de inovações tecnológicas, e na adoção de medidas estruturais e não-estruturais para a gestão integrada e preditiva das águas.

Neste trabalho, discutem-se os problemas relacionados com os impactos na quantidade e qualidade de água e os principais avanços recentes referentes à organização institucional e à legislação no Brasil e no exterior, e apresentam-se idéias e realizações de projetos de longo alcance com repercussão futura na gestão das águas.

IMPACTOS NO CICLO HIDROLÓGICO E NA QUALIDADE DA ÁGUA

O ciclo hidrológico apresenta componentes bem conhecidos, especialmente no que se refere aos volumes de água nos vários

compartimentos sólidos, líquidos e gasosos, nas águas superficiais e nas águas subterrâneas. Esse ciclo compõe-se de *precipitação, evaporação, transpiração, infiltração, percolação e drenagem*. A velocidade de deslocamento e transformação de cada um dos componentes desse ciclo variou nas diferentes eras geológicas. Além disso, a distribuição da água no planeta Terra não é homogênea. O suprimento de água renovável por continente é mostrado na Tabela 1.

Embora o ciclo hidrológico seja único para todo o planeta, o volume de cada um de seus componentes varia nas diferentes regiões do planeta e por bacia hidrográfica (Pielou, 1998). Fluxos subterrâneos de água também variam, dependendo do tipo e velocidade da recarga, o que interfere na descarga dos rios.

Os impactos das atividades humanas no ciclo hidrológico e na qualidade das águas decorrem de um grande conjunto de atividades humanas, resultados dos usos múltiplos.

Como o consumo de água nas várias atividades humanas varia muito, dependendo da concentração da população,

economia regional e atividades agrícolas e industriais, os impactos não são iguais e apresentam diferentes proporções sobre cada componente do ciclo hidrológico e sobre a qualidade da água.

Todas as atividades humanas no planeta Terra consomem atualmente um volume de aproximadamente 6.000 km³/ano com tendência para aumento. Esse aumento do consumo global e sua possível redução dependem do gerenciamento e da inovação tecnológica disponível para aperfeiçoar os mecanismos de gestão. Os usos múltiplos da água dos quais decorrem inúmeros impactos são os seguintes:

- água para produção agrícola – irrigação e outras atividades para produção de alimentos;
- água para abastecimento público;
- produção de hidroeletricidade;
- recreação;
- turismo;
- pesca;
- aquacultura;
- transporte e navegação;
- mineração;
- usos estéticos – recreação, paisagem.

TABELA 1
Distribuição do suprimento renovável de água por região do planeta

Região	Média anual Drenagem (km ³) ^a	Porcentagem da drenagem global	Porcentagem da população global (%)	Porcentagem estável
África	4.225	11	11	45
Ásia	9.865	26	58	30
Europa	2.129	5	10	43
América do Norte ^a	5.960	15	8	40
América do Sul	10.380	27	6	38
Oceania	1.965	5	1	25
União Soviética	4.350	11	6	30
Total mundial	38.874	100	100	36 ^b

Fonte: adaptado de L'Vovich, 1979.

TABELA 2

Usos múltiplos da água por região do planeta (km³) – 1995

Região	Irrigação	Indústria	Doméstico/ municipal
África	127,7	7,3	10,2
Ásia	1.388,8	147,0	98,0
Austrália – Oceania	5,7	0,3	10,7
Europa	141,1	250,4	63,7
Américas do Norte e Central	248,1	235,5	54,8
América do Sul	62,7	24,4	19,1
Total mundial	2.024,1	684,9	256,5
Porcentagem do total mundial	68,3	23,1	8,6

Fonte: Raven et al., 1998.

Esses usos variam regionalmente e diferem em cada país, sendo também impulsionados pelas economias de países ou economias locais. Os usos múltiplos da água nos diferentes continentes são descritos na Tabela 2.

Como se pode observar, o uso da água na agricultura predomina em todos os continentes, seguindo-se o uso industrial e o uso para abastecimento público. Dezesesseis por cento das terras agrícolas do planeta são irrigadas com águas superficiais ou subterrâneas. Esses usos múltiplos são diversificados no Brasil devido ao diferente desenvolvimento das regiões: por exemplo, no Sudeste predomina a concentração dos usos para a produção de hidroeletricidade, irrigação e uso industrial. Em outras regiões, a água é utilizada intensivamente para mineração; em outras ainda, como a Amazônia, a água é utilizada intensivamente para navegação e produção de alimentos (pesca).

O conjunto de usos da água, concentrados no suporte às diferentes atividades humanas, constitui, sem dúvida, uma ampla gama de “serviços” que vão desde a geração de hidroeletricidade ao suprimento de alimentos, à navegação, transporte e

recreação. Outros “serviços” não tão claramente contabilizados, mas importantes, são a regulação de ciclos e a reserva de água para abastecimento público.

Todos esses usos múltiplos da água produzem impactos complexos e com efeitos diretos e indiretos na economia, na saúde humana, no abastecimento público e na qualidade de vida das populações humanas e na biodiversidade, comprometendo também a qualidade dos “serviços” aquáticos superficiais e subterrâneos. Esses impactos são atualmente bem conhecidos e aqui é apresentada uma síntese.

O desenvolvimento econômico e a complexidade da organização das sociedades humanas produziram inúmeras alterações no ciclo hidrológico e na qualidade da água. A diversificação cultural também afeta os recursos hídricos de várias maneiras, inclusive pelo uso da água para atividades religiosas.

Ao longo da história da humanidade, os ciclos hidrológicos e a distribuição quantitativa do armazenamento de água superficial e subterrânea foram se alterando. As interferências humanas no ciclo hidrológico são:

- construção de reservatórios para diversos fins;
- construção de canais e transposição de águas entre bacias hidrográficas;
- uso excessivo de águas subterrâneas e depleção de aquíferos;
- desmatamento que interfere na recarga de aquíferos;
- aumento da erosão e assoreamento de rios, lagos, áreas alagadas;
- remoção de áreas alagadas, o que interfere nos sistemas de regulação de drenagem;
- aumento do transporte de água para abastecimento público.

As atividades humanas que causam impactos na qualidade das águas são:

- atividades industriais;
- urbanização e despejos de águas residuárias não tratadas;
- atividades agrícolas;
- remoção de biomassa de rios, lagos, represas;
- navegação;
- recreação;
- turismo;
- introdução de espécies exóticas;
- remoção de espécies de importância nos ciclos e redes alimentares em rios, lagos e represas;
- remoção da cobertura vegetal;
- mineração;
- construção de diques e canais;
- construção de represas;
- drenagem de áreas alagadas;
- despejo de poluentes no ar;
- padrão geral do consumo humano;
- despejos de resíduos sólidos, industriais e domésticos em áreas urbanas (Turner et al., 1990; Tundisi, 2003).

Além de contaminar e degradar a qualidade das águas superficiais, essas atividades deterioram águas subterrâneas. A lista da consequência dessas várias ações na qualidade das águas superficiais e subterrâneas é muito grande. Aqui se apresenta uma síntese dos principais problemas gerados. Os efeitos na qualidade das águas podem ser diretos e indiretos.

Eutrofização: resultado do despejo de águas residuárias de esgotos não tratados, efluentes industriais e agrícolas. Atinge águas superficiais e subterrâneas. Uma das consequências é o florescimento excessivo de cianobactérias com cepas tóxicas.

Contaminação: por metais pesados, substâncias orgânicas (hidrocarbonatos, pesticidas e herbicidas).

Aumento do material em suspensão: diminuição da transparência da água, impactos na biota aquática e nos ciclos biogeoquímicos.

Acidificação: resultado de despejos agrícolas ou industriais que afetam a poluição do ar e das águas superficiais e subterrâneas.

Aumento da incidência e dispersão de doenças de veiculação hídrica: deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas causa aumento dos vetores de doenças de veiculação hídrica.

A contaminação e o aumento das substâncias tóxicas na água e de vetores de doenças de veiculação hídrica estão diretamente relacionados com o saneamento básico e condições inadequadas de tratamento das águas contaminadas por vários processos. Um dos problemas mais sérios, atualmente, é o da toxicidade dos ambientes aquáticos e das massas de água e também das inúmeras substâncias orgânicas (inclusive disruptores endócrinos) dissolvidas na água e que causam inúmeros impactos diretos ou indiretos na saúde humana.

As estatísticas relacionadas só com as deficiências sanitárias resultantes de saneamento inexistente ou deficiente são:

- continente africano – 608.000 mortes/ano;
- sudeste da Ásia – 699.000 mortes/ano;
- países africanos (norte da África e Oriente Médio) – 270.000 mortes/ano.

O número total de mortos por malária a cada ano é de 1.300.000 pessoas.

Qual o custo dos impactos no ciclo da água e na qualidade da água?

As estimativas sobre os valores dos “serviços” proporcionados por todos os

ecossistemas aquáticos do planeta variam entre 2 e 3 trilhões de dólares anualmente. Esse é o valor dos serviços de abastecimento público, dos processos de manutenção e renovação dos ciclos e da biodiversidade.

Os impactos que deterioram o ciclo da água e os “serviços” proporcionados pelas águas podem ser estimados pela indisponibilidade desses “serviços” ao homem e à biosfera, pelo número de mortos por ano em decorrência da degradação da qualidade da água e pela perda de horas de trabalho causada anualmente devido à ausência de trabalho em consequência de doenças de veiculação hídrica (324 milhões de horas de trabalho perdidas por ano em todos os países). Além disso, certos tipos de deterioração são irreversíveis, tornando impossível o uso da água ou do ecossistema aquático pelo homem.

Pode-se também estimar o custo dos impactos avaliando o custo da recuperação dos sistemas aquáticos superficiais e subterrâneos. Por exemplo, *quais seriam os custos para reduzir e remover a eutrofização de represas na Região Metropolitana de São Paulo?*

Os custos dos impactos podem também ser analisados levando-se em conta os custos da produção de água potável pelos sistemas de tratamento. À medida que ocorre a deterioração dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, aumentam os custos do tratamento devido à necessidade de investimento tecnológico para produzir água potável (Tundisi, 2005).

AVANÇOS NA GESTÃO DAS ÁGUAS

A capacidade de gerenciar os inúmeros conflitos resultantes da intensificação das atividades humanas e a degradação dos recursos hídricos é uma preocupação constante de pesquisadores, administradores, gerentes e tomadores de decisão.

A situação crítica dos recursos hídricos em muitas regiões do planeta levou a discussão a fóruns regionais, nacionais e internacionais. Nos últimos dez anos

ocorreram inúmeros avanços nas propostas, ações e organização para a gestão das águas. Há um reconhecimento mundial de que a integração entre pesquisa e gerenciamento é um dos avanços importantes que deve ser estimulado para melhorar a gestão e ampliar a otimização dos usos múltiplos (Frederick, 1993).

Um dos principais avanços conceituais foi o da mudança de paradigma quanto à gestão; essa mudança processou-se nos últimos dez anos do século XX e ainda se encontra em fase de transição. Ela consiste em passar o gerenciamento de um sistema *setorial, local* e de *resposta* a crises e impactos, para um sistema *integrado, preditivo* e no âmbito de *ecossistema* (bacia hidrográfica).

Organização institucional e legislação no Brasil

Nos últimos dez anos, a concepção de que a bacia hidrográfica é a unidade mais apropriada para o gerenciamento consolidou-se de forma a ser adotada por muitos países e regiões. A bacia hidrográfica possibilita integrar ações de pesquisa e gerenciamento em uma unidade física bem estabelecida e que pode agregar atividades multi e interdisciplinares (Nakamura & Nakajima, 2002; Tundisi et al., 2003a, b). A bacia hidrográfica:

- é uma unidade física com fronteiras delimitadas, podendo estender-se por várias escalas espaciais, desde pequenas bacias de 100 a 200 km² até grandes bacias hidrográficas como a Bacia do Prata (3.000.000 km²) (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 1995);
- é um ecossistema hidrológicamente integrado, com componentes e subsistemas interativos;
- oferece oportunidade para o desenvolvimento de parcerias e a resolução de conflitos (Tundisi & Straskraba, 1995);
- permite que a população local participe do processo de decisão (Nakamura & Nakajima, 2000);

- estimula a participação da população e a educação ambiental e sanitária (Tundisi et al., 1997);
- garante visão sistêmica adequada para o treinamento em gerenciamento de recursos hídricos e para o controle da eutrofização (gerentes, tomadores de decisão e técnicos) (Tundisi, 1994a);
- é uma forma racional de organização do banco de dados;
- garante alternativas para o uso dos mananciais e de seus recursos;
- é uma abordagem adequada para proporcionar a elaboração de um banco de dados sobre componentes biogeofísicos, econômicos e sociais;
- promove a integração institucional necessária para o gerenciamento do desenvolvimento sustentável (Unesco, 2003).

Assim, sendo uma unidade física, com limites bem definidos, o manancial garante uma base de integração institucional (Hufschmidt & McCauley, 1986). A abordagem de manancial promove a integração de cientistas, gerentes e tomadores de decisão com o público em geral, permitindo que eles trabalhem juntos em uma unidade física com limites definidos.

Portanto, o conceito de bacia hidrográfica aplicado ao gerenciamento de recursos hídricos estende as barreiras políticas tradicionais (municípios, estados, países) para uma unidade física de gerenciamento e planejamento e desenvolvimento econômico e social (Schiaveti & Camargo, 2002). A falta da visão sistêmica na gestão de recursos hídricos e a incapacidade de incorporar/adaptar o projeto a processos econômicos e sociais atrasam o planejamento e interferem em políticas públicas competentes e saudáveis (Biswas, 1976, 1983). A capacidade de desenvolver um conjunto de indicadores é um aspecto importante do uso dessa unidade de planejamento. A bacia hidrográfica é também um processo descentralizado de conservação e proteção ambiental, sendo um estímulo para a integração da comunidade e a integração institucional. Os indicadores das condições da bacia hidrográfica também podem representar um passo importante

na consolidação da descentralização e do gerenciamento.

O esforço institucional que se realizou no Brasil integra os seguintes tópicos essenciais ao gerenciamento:

- gestão por bacias hidrográficas e implantação dos comitês de bacia;
- cobrança pelos usos da água em alguns estudos e bacias hidrográficas;
- destinação de recursos para a gestão de bacias hidrográficas;
- implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Lei 9.433 de 8/1/1997).

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos deve cumprir os seguintes objetivos:

- coordenar a gestão integrada das águas;
- arbitrar administrativamente os conflitos ligados ao uso da água;
- implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;
- promover a cobrança pelo uso da água.

Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

- o Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
- a Agência Nacional das Águas;
- os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;
- os Comitês de Bacia Hidrográfica;
- os órgãos de governo cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;
- as Agências de Água.

Outra característica importante do sistema é a importância dada à participação pública. Garantiu-se a participação de usuários e da sociedade civil em todos os plenários constituídos pelo sistema, desde

o Conselho Nacional de Recursos Hídricos até os Comitês de Bacia Hidrográfica, como forma de legitimar a decisão e também garantir sua implementação. Nesse sentido, os estados também avançaram rapidamente na criação dos Comitês de Bacia, e o estado do Ceará criou seu primeiro Comitê de Bacia em 1998, num procedimento exemplar de trabalho junto às comunidades de usuários.

Política Nacional Brasileira para os Recursos Hídricos

A Lei Nacional para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos define a Política Nacional de Recursos Hídricos Brasileira e cria o Sistema Nacional para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. A política nacional se baseia em seis princípios:

1. a água é um bem público;
2. a água é um recurso finito e tem valor econômico;
3. quando escassa, o abastecimento humano é prioritário;
4. o gerenciamento deve contemplar usos múltiplos;
5. o manancial representa a unidade territorial para fins gerenciais;
6. o gerenciamento hídrico deve se basear em abordagens participativas que envolvam o governo, os usuários e os cidadãos.

Fonte: Braga et al., 2006.

Avanços tecnológicos na gestão das águas

A implementação de um processo de gestão integrada, preditiva e no âmbito de bacia hidrográfica pressupõe que, além de uma organização institucional e legislação adequadas, seja necessário um suporte tecnológico para promover avanços consolidados e substanciais. Só a legislação e a organização institucional não resolvem o problema com condições de sustentar a gestão.

Esse suporte tecnológico inicia-se com o aperfeiçoamento e a modernização de redes de monitoramento para, por meio destas, montar um banco de dados sobre a oferta e a qualidade da água. Variabilidade espacial da oferta de águas atmosféricas superficiais e subterrâneas deve ser determinada através de redes adequadas de monitoramento (Braga et al., 2006). Segundo esses autores, as informações básicas necessárias ao gerenciamento preditivo, integrado e no âmbito de bacias hidrográficas são:

- *características físicas dos sistemas hídricos*: relevo, hidrologia, solo, cobertura vegetal, obras hidráulicas, ações autróficas;
- *comportamento hidroclimatológico*: séries históricas de pluviometria, outras variáveis climáticas, sedimentometria e qualidade da água;
- *dados socioeconômicos*: produção agrícola e produção industrial, demografia, crescimento populacional, economia regional.

Já existem em muitos estados e regiões do Brasil essas informações. Entretanto, é necessário, para aplicar na gestão, *integrar* todo esse conjunto e projetá-lo para o futuro (30, 50, 80 anos) com a finalidade de elaborar cenários e implantar sistemas de predição que possam orientar futuras ações. Esse processo de integração já existe no Brasil, ainda que insuficiente em certas regiões. Ele dá ao sistema capacidade de gestão e avaliação de futuros impactos baseados em cenários. Por exemplo, para determinadas bacias hidrográficas do interior do estado de São Paulo, há uma previsão de uma possível diminuição de 30% na disponibilidade hídrica (com aumento aproximado de 2°C de temperatura) (E. Salati, informação pessoal).

Qual o impacto dessa diminuição da oferta no desenvolvimento econômico dessas bacias? Qual o impacto na qualidade da água?

Essas questões, que começam a ser colocadas pelos pesquisadores, devem ser respondidas pelos gestores com programas de ação e de efetiva previsão. A integração

de sistemas de geoprocessamento, com planejamento territorial, e com qualidade e quantidade de água é um avanço tecnológico extremamente oportuno e que já funciona em alguns sistemas de gerenciamento no âmbito federal, estadual e regional.

A implementação de rede de qualidade da água em bacias hidrográficas é um dos avanços fundamentais necessários. Já se reconhece no âmbito administrativo a necessidade dessa implementação, mas este é um avanço que necessita de inovações para seu total desenvolvimento. A Agência Nacional das Águas (ANA) está implementando o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que prevê a interação da agência com todos os estados da federação, possibilitando condições adequadas de gestão no âmbito de bacias hidrográficas. O sistema prevê outorga nos usos da água, com avaliação da quantidade utilizada, vazões, cadastramento de usuários, cobranças e fiscalização dos usos, atualização da informação e integração de bases científicas com bases ambientais (disponível no *site*: (<http://snirh.ana.gov.br>); Braga et al., 2006).

Além desses avanços em implantação há um outro desenvolvimento tecnológico que deve ser considerado: o monitoramento em tempo real, que permite o estabelecimento de uma rede de monitoramento (vazão e qualidade da água) para transmissão de dados a centrais de processamento e informação.

Tal avanço é relevante e já há esforços e resultados. Monitoramento em tempo real dará condições de uma avaliação permanente da *carga poluente*. Por exemplo, possibilitará antecipar impactos devido à previsibilidade do conjunto de dados, atuar em situações emergenciais de risco para controle de acidentes ou enchentes e implementar sistemas de alerta e proteção quanto à qualidade e quantidade de água.

Esse sistema poderá ser extremamente útil em bacias hidrográficas urbanas, por exemplo, como discutido por Mediondo (2005). Sistemas de monitoramento em tempo real permitem analisar tendências e desenvolver cenários de forma mais consistente e avançada.

A implementação de modelos matemáticos para a elaboração de cenários preditivos e de informação avançada é outro desenvolvimento tecnológico em andamento e de grande importância na gestão. Por exemplo, o uso de modelos de qualidade da água, acoplados a modelos de eutrofização e a previsões de florescimentos de cianobactérias, é um dos avanços já efetuados e que permitem reduzir riscos e antecipar impactos (Tundisi, 2005; J. E. M. Tundisi, 2006).

O CENÁRIO INTERNACIONAL

No cenário internacional, um grande movimento de descentralização da gestão das águas está em curso com a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão em muitos países e regiões. Além disso, há esforços para resolver conflitos nas bacias internacionais que dependem de recursos hídricos compartilhados.

Bacias internacionais têm sido objeto de conflitos no uso dos recursos hídricos e inclusive na gestão. Organizações internacionais têm apoiado a implementação de projetos de cooperação nas bacias internacionais para gestão compartilhada das águas.

Exemplos desses esforços são os projetos de gestão compartilhada de bacias hidrográficas entre Índia e Paquistão (Tratado da Água Compartilhada), entre Índia e Nepal (Unep, 2002) e o projeto de desenvolvimento sustentado e proteção para o Aquífero Guarani (Unep, 2002).

Pesquisa relevante, que representou avanços consideráveis para a gestão das águas, inclui projetos para redução da evaporação, extração de águas subterrâneas de grandes profundidades, mecanismos para estímulo à precipitação, recarga artificial de aquíferos, projetos para reúso de água, investimento em projetos de dessalinização, uso direto de águas salobras de estuários (para certas atividades de limpeza, uso limitado em irrigação – para plantas que toleram salinidade).



Um avanço também recente no âmbito internacional e que mostra a preocupação mundial com o problema da água e sua gestão é a implantação das Metas do Milênio (Millenium Development Goals), adotadas por 189 chefes de Estado em 2000 e que incluem, dentro dos oito objetivos do desenvolvimento, acesso a águas de boa qualidade e a saneamento básico. O objetivo é reduzir pela metade a população de pessoas que não têm acesso à água e a saneamento básico, ou seja, melhorar a qualidade de vida, aumentar a expectativa de vida e a saúde humana (1 bilhão e 900 milhões de pessoas até 2015).

Estimativas indicam que, para atingir essa meta, é necessário um investimento anual de 11,3 bilhões de dólares. Segundo a Organização Mundial da Saúde e o Unicef os avanços tecnológicos necessários são: controle da eutrofização; controle dos efluentes industriais; controle da contaminação; controle da erosão e sedimentação no âmbito internacional.

Ainda em relação ao cenário internacional, deve-se destacar os avanços promovidos pela Comunidade Econômica Européia consubstanciados nas seguintes diretrizes para todos os estados membros:

- gerenciamento de bacias hidrográficas;
- restauração e proteção de ecossistemas aquáticos;
- custos da água: implantação do princípio poluidor/pagador em 2010;
- informação e consulta para cada plano de bacia hidrográfica;
- gerenciamento integrado como paradigma;
- medidas específicas contra substâncias perigosas.

Outro projeto internacional que está se consolidando é a implantação de Centros de Pesquisa, Inovação e Capacitação voltados para a elaboração de programas de integração entre pesquisa, gerenciamento e desenvolvimento tecnológico. Capacitação será orientada para a promoção de cursos de gestores de recursos hídricos com uma visão sistêmica, integrada e com capacidade



para gerenciar através da análise de cenários e tendências, portanto, com capacidade de atuar antecipando impactos.

Esse projeto é apoiado pelo InterAcademy Panel (IAP), organização de 96 academias de ciências. Até o presente momento estão sendo implantados seis centros nos seguintes países: África do Sul, Brasil, China, Cazaquistão, Jordânia e Polônia. Para essa implantação, estão sendo realizados seminários com a participação de lideranças das academias de ciências dos vários continentes.

PROPOSTAS E PROJETOS DE LONGO ALCANCE

A Avaliação Ecosistêmica do Milênio desenvolveu-se durante o período de 2000 a 2005 (MEA, 2005) e consistiu em um esforço concentrado de aproximadamente 1.360 cientistas com experiência internacional que avaliaram as condições de funcionamento dos ecossistemas, suas respostas a impactos e elaboraram cenários para o futuro, tendências e respostas.

OMEA consistiu em um esforço concentrado para avaliar serviços de ecossistemas, benefícios desses serviços, ameaças aos ecossistemas e possíveis respostas futuras ao aumento da poluição, mudanças globais e outras causas de impactos. Esse projeto de longo alcance promoveu visões e estratégias efetivas para o futuro e, especificamente quanto aos recursos hídricos, proporcionou uma avaliação do conjunto de recursos hídricos que, segundo o MEA, encontra-se em declínio, tanto em quantidade quanto em qualidade. A solução é melhorar, aperfeiçoar e inovar a gestão para fazer face ao processo já instalado de degradação.

Os serviços de regulação da qualidade da água e de autopurificação encontram-se, segundo o MEA, parcialmente afetados e demandam novos processos de gestão.

CONCLUSÕES

A gestão de recursos hídricos tem apresentado avanços relevantes mundialmente. Embora ainda existam diferentes estágios de desenvolvimento dessa gestão, há um aspecto *pro-positivo* nos sistemas de gestão que deve ser destacado como fundamental para a melhoria do gerenciamento.

A crise da água é, antes de tudo, uma crise de gestão desse recurso natural, mais do que a escassez ou contaminação (Rebouças, Braga & Tundisi, 2006). Para que essa gestão seja mais eficiente e otimize os usos múltiplos da água e sua conservação é fundamental uma integração entre o conhecimento científico adquirido e o gerenciamento.

Além disso, a grande descentralização em curso com a adoção de sistemas de gerenciamento por bacias hidrográficas, integrados com agências regionais e municípios, é outra etapa importante do processo de gestão.

Um dos avanços tecnológicos mais importantes nos últimos dez anos foi a integração de planejamento, planejamento territorial e usos do solo com a gestão de recursos hídricos e a administração por bacias hidrográficas.

A participação dos usuários e das comunidades, que tem sido estimulada através dos Comitês de Bacia, é outro avanço fundamental em ações não-estruturais. Essa participação consolida a gestão e abre novas e promissoras fronteiras de gerenciamento.

A incorporação de inovações tecnológicas na gestão que vai desde o manancial até o usuário em sua casa ou na indústria ou agricultura é outra etapa importante no processo. Nessa questão, a contribuição da universidade e dos institutos de pesquisa, públicos e privados, tem um papel relevante, pois é a fonte permanente de ampliação de conhecimento e de novos avanços tecnológicos.

BIBLIOGRAFIA

- BISWAS, A. K. *Systems Approach to Water Management*. New York, McGraw-Hill, 1976.
- _____. "Major Water Problems Facing the World", in *Water Resources Development*, vol. 1, 1983, pp. 1-14.
- BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. "Monitoramento de Quantidade e Qualidade das Águas", in *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. São Paulo, Escrituras, 2006, pp. 145-60.
- FREDERICK, K. "Balancing Water Demands with Supplies: the Role of Management in a World of Increasing Scarcity", in *The World Bank*, 1993 (paper n. 189).
- HUFSCHMIDT, M. M. & MCCAULEY, D. *Strategies for Integrated Water Resources Management in a River/Lake Basin Context*. Nagoya, Otsu, Unep, UNCRD, ILEC, 1986.
- L'VOVICH, M. I. *World Water Resources and Their Future*. Trad. de Raymond L. Nace Washington, American Geophysical Union, World Population Data Sheet, 1979.
- MEA — Millennium Ecosystem Assessment. *Living Beyond our Means. Natural Assets and Human Well-Being*, 2005.
- MEDIONDO, E. M. "An Overview on Urban Flood Risk Management", in *Revista Minerva*, v. 2, nº 2, 2005, pp. 131-43.
- NAKAMURA, M. & NAKAJIMA, T. (eds.) *Lake Biwa and its Watersheds: a Review of Lake Biwa Research*. Institute, 2002 (LBRI research notes).
- PIELOU, E. C. *Freshwater*. Chicago, The University of Chicago Press, 1998.
- RAVEN, P. H.; BERG, L. R.; JOHNSON, G. B. *Environment*. Saunders College Publishing, 1998.
- REBOUÇAS, BRAGA & TUNDISI. *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. 3ª ed. São Paulo, Escrituras, 2006.
- SCHIAVETTI, A. & CAMARGO, A. F. M. *Conceitos de Bacias Hidrográficas*. Editora da UESC, 2002.
- TUNDISI, J. G. "Regional Approaches to River Basin Management in La Plata: an Overview", in *Environmental and Social Dimensions of Reservoirs, Development and Management in the La Plata River Basin*. Nagoya, UNCRD, 1994, pp. 1-6.
- _____. *Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez*. RIMA, IIE, 2003.
- _____. *As Árvores e a Conta da Água*. Scientific American Brasil, Brasil, 2005.
- _____. *A Qualidade Ambiental e os Impactos sobre a Saúde*. Fiocruz, 2006 (no prelo).
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. "The Lobo-Broa: Ecosystem Research", in J. G. Tundisi; C. E. M. Bicudo; T. Matsumura-Tundisi (eds.). *Limnology in Brazil*. Brazilian Academy of Sciences, Brazilian Limnological Society, 1995, pp. 219-243.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RODRÍGUEZ, S. L. *Gerenciamento e Recuperação das Bacias Hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da Represa Carlos Botelho (Lobo-Broa)*. IIE, IIEGA, PROAQUA, ELEKTRO, 2003.
- TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (eds.). *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Brazilian Academy of Sciences, EESC/USP, CRHEA, 1997.
- TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. "Strategies for Building Partnerships in the Context of River Basin Management: the Role of Ecotechnology and Ecological Engineering", in *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, v. 1, 1995, pp. 31-8.
- TUNDISI, J. E. M. *Indicadores da Qualidade da Bacia Hidrográfica para Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Médio Tocantins (TO)*. Tese de doutorado. São Carlos, UFSCar, 2006.
- TURNER, B. L. et al. *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 Years*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
- UNEP. *Global Environmental Outlook 3, UK and USA, Earthscan*, 2002.
- UNESCO. "Compartilhar a Água e Definir o Interesse Comum", in *Água para Todos: Água para a Vida*. Edições Unesco, 2003, pp. 25-6 (Informe das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos no mundo).