

LIMNOLOGIA E  
GERENCIAMENTO  
INTEGRADO DE  
RECURSOS HÍDRICOS  
avanços conceituais e  
metodológicos

*José Galizia Tundisi*

*No princípio do novo século, uma crise tende a se agravar: Na da escassez de água. Cerca de 80 países com 40% da população experimentam esta escassez, condição que se reflete na produção agrícola, no desenvolvimento urbano e industrial e, em particular, no acesso das pessoas a água potável. Este quadro dramático para o futuro da civilização, das espécies animais e vegetais e, em última análise, do próprio planeta, deve encontrar correspondência, para equacioná-lo, nos esforços empreendidos pelo poder público e pela sociedade, sempre respaldados pela Ciência. E deve produzir repercussões na elaboração de modelos para o gerenciamento dos recursos hídricos, aí incluídas as perspectivas de uso múltiplo e sustentável, os instrumentos legais, a qualificação de pessoal e os métodos e técnicas educacionais relacionados à gestão da água.*

## A situação atual dos recursos hídricos

O planeta Terra é o único dos planetas do sistema solar que possui água nas três fases: gasosa, líquida e sólida. A fase líquida, comumente utilizada, se renova com o ciclo hidrológico que consiste em uma permanente circulação a partir da evaporação das águas superficiais, inclusive dos oceanos, da condensação e da precipitação.

Do total de água doce existente no planeta (2,5%), 69,9% estão sob forma sólida, 29,9% são águas subterrâneas, 0,3% localiza-se em rios e lagos e 0,9% localiza-se em outros reservatórios. Estas águas doces não estão distribuídas uniformemente no planeta, o que agrava o problema do desenvolvimento e tem repercussões econômicas e sociais (tabela 1). Países com grande escassez de água têm limitações enormes para o desenvolvimento agrícola e industrial com agravamento de problemas para a saúde de suas populações.

Tabela 1

Áreas, volumes totais e relativos de água dos principais reservatórios da Terra.

| Reservatório    | Área<br>(10 <sup>3</sup> Km <sup>2</sup> ) | Volume<br>(10 <sup>6</sup> Km <sup>3</sup> ) | % do<br>Volume<br>Total | % do<br>Volume de<br>Água Doce |
|-----------------|--|--|-------------------------|--------------------------------|
| Oceanos         | 361.300                                    | 1.138  | 96,5                    | –                              |
| Subsolo         | 134.800                                    | 23,4   | 1,7                     | –                              |
| Água Doce       | 10,53                                      | 0,76   | 29,9                    | –                              |
| Umidade do solo | 0,016                                      | 0,001  | 0,05                    | –                              |
| Calotas Polares | 16.227                                     | 24,1   | 1,74                    | 68,9                           |
| Antártica       | 13.980                                     | 21,6   | 1,56                    | 61,7                           |
| Groenlândia     | 1.802                                      | 2,3  | 0,17                    | 6,68                           |
| Ártico          | 226  | 0,084  | 0,006                   | 0,24                           |
| Geleiras        | 224  | 0,041  | 0,003                   | 0,12                           |
| Solos Gelados   | 21.000                                     | 0,300  | 0,022                   | 0,86                           |
| Lagos           | 2.059                                      | 0,176  | 0,013                   | 0,26                           |
| Água Doce       | 1.236                                      | 0,091  | 0,007                   | –                              |
| Água Salgada    | 822  | 0,085  | 0,006                   | –                              |
| Pântanos        | 2.683                                      | 0,011  | 0,0008                  | 0,03                           |
| Calha dos Rios  | 14.880                                     | 0,002  | 0,0002                  | 0,006                          |
| Biomassa        | 0,001                                      | 0,0001                                       | 0,003                   | –                              |
| Vapor Atmosfera | 0,013                                      | 0,001  | 0,04                    | –                              |
| Totais          | 510.000                                    | 1.386  | 100                     | –                              |
| Água Doce       | 35,0                                       | 2,53   | 100                     | –                              |

Fonte: SHIKLOMANOV, I., 1998.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SHIKLOMANOV, I. World fresh water resources. In: GLEICK, P. H. (Editor). *Water in Crisis. A guide to the world's fresh water resources*. Pacific Institute for studies in Development, Environment and Security, Stockholm Environmental Institute, 1998. p. 13-24.

O ciclo hidrológico caracteriza-se por uma complexa interação de águas de diferentes origens cada uma delas submetidas a usos variados.

Tanto a quantidade quanto a qualidade da água tem ciclos alterados. Em todos os continentes os recursos hídricos superficiais e subterrâneos deterioram-se rapidamente colocando em risco as fontes de suprimento. As causas desta crise são múltiplas. O aumento da população mundial e a taxa de urbanização têm produzido um aumento no consumo e a rápida deterioração da qualidade da água.

As figuras 1 e 2 mostram o aumento da taxa de utilização da água em várias atividades e o grau de urbanização que ampliou consideravelmente a pressão pelos usos múltiplos dos recursos hídricos.

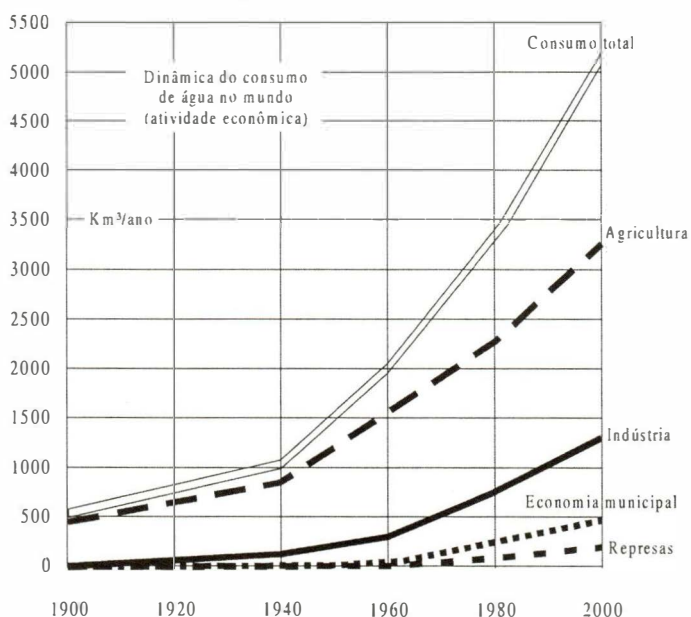


Figura 1

Tendências no consumo global de água, 1900-2000.

Fonte: BISWAS, 1991.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> BISWAS, A. Watershed management. In: THANH, N. C. & BISWAS, A. K. *Environmentally sound water management*. Delhi: Oxford University Press. 1991. p. 155-175.

Os recursos hídricos da superfície do planeta e as águas subterrâneas são permanentemente influenciados por todas as atividades humanas. A água suporta e integra as interações dessas atividades com a indústria, energia, saúde humana, desenvolvimento urbano, agricultura, e ainda com a diversidade e funcionamento dos sistemas biológicos. Da mesma forma que a energia, a água é essencial para o desenvolvimento de todas as atividades humanas.

No início do século XXI, a crise da água começa a se agravar. Cerca de 80 países com 40% da população estão experimentando escassez de água que ameaça a sua agricultura, indústria e a saúde da população.

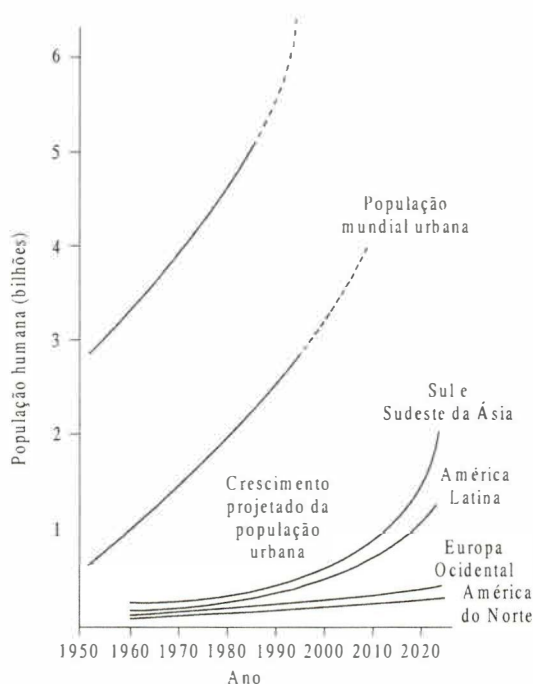


Figura 2

Tendências atuais (linha sólida) e projetadas (linha pontilhada) do número total da população mundial e da população urbana mundial.

Fonte: BARICA, 1992.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> BARICA, J. Ecosystem stability and sustainability: a lesson from algae. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25:307-311, 1992.

Dados recentes do Banco Mundial mostram que 1 bilhão de pessoas não têm acesso a água potável, nos países em desenvolvimento, 1,7 bilhão de pessoas não têm acesso a saneamento básico e 10 milhões de pessoas morrem todos os anos em consequência de doenças de veiculação hídrica.

Água e desenvolvimento econômico estão sempre interligados. A escassez de água pode pôr em risco a produção agrícola, o desenvolvimento industrial; e a contaminação cada vez maior e mais diversificada das águas superficiais e subterrâneas aumenta os custos do tratamento, colocando em risco a saúde da população. A escassez de água e não a escassez de terras para cultivo, deverá ser a limitação principal para a agricultura, no século XXI, na medida em que permite ou não ativar o desenvolvimento e implantação de alta tecnologia de irrigação programada.

Todo este quadro dramático para o futuro, colocando em risco a sobrevivência da espécie humana e das demais espécies que habitam o planeta, tem várias causas que se acumularam em anos de muito desperdício, falta de gerenciamento adequado e abordagens setoriais do gerenciamento das águas.

## As causas da crise

As várias atividades humanas e o acúmulo de usos múltiplos produzem diferentes ameaças e problemas para a disponibilidade de água, conforme mostra o quadro 1.

Portanto, as alterações em qualidade e quantidade de água podem desencadear inúmeros processos com repercussões econômicas, ecológicas e sociais, em uma escala global, regional e local.

Quadro 1  
Atividade humana e seus impactos sobre a disponibilidade de água.

| Atividade Humana  | Impacto nos Ecossistemas Aquáticos   | Valores/Serviços em risco  |
|---|--|--|
| Construção de represas                                      | Alteração do fluxo dos rios, transporte de nutrientes e sedimentos, interferência na migração e reprodução de peixes.                            | Habitats, pesca comercial e esportiva, deltas e suas economias.  |
| Construção de diques e canais                               | Destrução da conexão do rio com as áreas mundáveis.  | Fertilidade natural das várzeas e controles das enchentes.   |
| Alteração do canal natural dos rios                         | Danos ecológicos dos rios. Modificação dos fluxos dos rios.  | Habitats, pesca comercial e esportiva. Produção de hidroeletricidade e transporte.                               |
| Drenagem de áreas alagadas                                  | Eliminação de um componente fundamental dos ecossistemas aquáticos.  | Biodiversidade. Funções naturais de filtragem e reciclagem de nutrientes. Habitats para peixes e aves aquáticas. |
| Desmatamento/ Uso do solo                                   | Mudança de padrões de drenagem, inibição da recarga natural dos aquíferos, aumento da sedimentação.  | Qualidade e quantidade da água, pesca comercial, biodiversidade e controle de enchentes.                         |
| Polição não controlada                                      | Prejuízo da qualidade da água.   | Suprimento de água. Custos de tratamento. Pesca comercial. Biodiversidade. Saúde humana.                         |
| Remoção excessiva de biomassa                               | Diminuição dos recursos vivos e da biodiversidade.   | Pesca comercial e esportiva. Biodiversidade. Ciclos naturais dos organismos.                                     |
| Introdução de espécies exóticas                             | Supressão das espécies nativas. Alteração dos ciclos de nutrientes e ciclos biológicos.  | Habitats, pesca comercial. Biodiversidade natural e estoques genéticos.  |
| Poluentes do ar (chuva ácida) e metais pesados              | Perturbação da composição química de rios e lagos.   | Pesca comercial. Biota aquática. Recreação. Saúde humana. Agricultura.   |
| Mudanças globais no clima                                   | Alteração drástica do volume dos recursos hídricos, dos padrões de distribuição de precipitação e evaporação, riscos de enchente.                | Suprimento de água, transporte, produção de energia elétrica, produção agrícola, pesca.                          |
| Crescimento da população e padrões gerais do consumo humano | Aumento da pressão para construção de hidroelétricas, da poluição da água, da acidificação de lagos e rios. Modificação dos ciclos hidrológicos. | Praticamente todas as atividades econômicas que dependem dos serviços dos ecossistemas aquáticos.                |

Esta crise foi aumentando gradativamente com a evolução tecnológica, o crescimento da população e a urbanização e industrialização. Por exemplo, na segunda metade do século XIX a crise principal estava relacionada com epidemias produzidas pela má qualidade da água; já na segunda metade do século XX, a descarga de esgotos não tratados, a acidificação e descarga de substâncias tóxicas foram causas de crises muito problemáticas e de alto custo na qualidade e quantidade da água.<sup>4</sup> Atualmente os problemas mais agudos são: eutrofização, toxidade das águas, custos excessivos de tratamento, ameaças à saúde humana por deterioração da qualidade e mudanças hidrológicas drásticas em escala global, regional e local.

Portanto, neste princípio de século, os principais desafios referentes à crise da água e todos os problemas por ela gerados são:

- escassez de água;
- disponibilidade de água potável;
- deterioração da qualidade da água;
- falta de percepção de gerentes do meio ambiente e do público em geral sobre a gravidade da crise;
- fragmentação e dispersão no gerenciamento de recursos hídricos;
- falta de percepção do grande público sobre a real crise da água;
- falta de investimentos em preservação e recuperação de mananciais.

Os custos nacionais da degradação de recursos hídricos são pouco conhecidos. Para a China, cálculos recentes indicam que os custos da poluição das águas são cerca de 0,5% do produto nacional bruto desse país.<sup>5</sup>

### **A situação dos recursos hídricos no Brasil.**

O Brasil é um país privilegiado em recursos hídricos continentais e superficiais e, além disso, possui um grande potencial de águas subterrâneas, com reservas estimadas em 112.000 Km<sup>3</sup>. Estas águas, geralmente de boa qualidade, constituem um enorme acervo de recursos naturais que pode ser utilizado. A tendência será de um aumento considerável do uso das águas subterrâneas no futuro. Cerca de 16% das águas doces no planeta estão localizados no território brasileiro. A região com maior abundância de água é a região Norte, principalmente se levarmos em conta a densidade populacional, que é baixa. Mesmo assim, as condições sanitárias (drenagem de esgotos e tratamento de água) são precárias nesta região agravando o problema da saúde humana, com incidência sobre a mortalidade infantil. Na região Sudeste o problema é outro: há água suficiente, mas o crescimento da urbanização e a ampliação do parque industrial, o crescimento populacional e o aumento dos usos múltiplos estão limitando o desen-

<sup>4</sup> STRASKRABA, M. Lake and reservoir management. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 26, 193-209, 1996.

TUNDISI, J. G. Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios. CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, VII, Conferência de Abertura, Instituto Internacional de Ecologia, 1999. 24 p.

<sup>5</sup> ROSEGRANT, M. W. *Water Resources of the 21<sup>st</sup> Century: increasing scarcity, declining quality and implications for action.* UNU/IAS, working paper n. 3, 1996. 52 p.

volvimento, aumentando os custos do tratamento e tornando a água tratada um bem extremamente caro. Os dispêndios em tratamento de água, a despoluição e conservação têm aumentado sistematicamente em todos os municípios da região Sudeste.

Na região Sul, o problema é o mesmo: há escassez de água apesar dos rios de grande porte e vazão (rio Paraná, por exemplo). Essa escassez se deve aos efeitos cumulativos dos processos ambientais e usos múltiplos que são de um amplo espectro: agricultura, indústria, piscicultura, navegação, recreação.

No Nordeste, o problema é de escassez e contaminação por doenças tropicais de veiculação hídrica. O investimento técnico no Nordeste é importante, e algumas soluções têm se mostrado promissoras (reservas de água em pequenos açudes, aumento das áreas alagadas por construção de barragens simples e que aumentam a reserva de água no lençol freático), uso da água subterrânea e dessalinização de águas continentais. O uso adequado da água no Nordeste pode trazer avanços metodológicos e técnicos importantes: por exemplo a fruticultura irrigada pode gerar um movimento anual de US\$ 70 bilhões em função de exportações de frutas tropicais.

A região Centro-Oeste tem uma área de alta biodiversidade, única no mundo em dimensão contínua (200.000 Km<sup>2</sup>), que é o Pantanal Mato-grossense. Nesta região as prioridades são: proteção da biodiversidade aquática e proteção a estoques de peixes, proibição da depredação da fauna e flora locais, e uso da região como pólo turístico direcionado para várias atividades: lazer, turismo ecológico, observação da natureza, uso sustentado da exploração da biomassa.

Os usos múltiplos das águas no Brasil podem ser incluídos nas seguintes categorias:

- Produção de hidroeletricidade.
- Reserva de água para irrigação e outras atividades agrícolas.
- Reserva de água para abastecimento público.
- Produção de alimento (peixes e crustáceos): aquacultura.
- Pesca extensiva comercial e pesca de recreação.
- Transporte.
- Recreação.
- Turismo.
- Reserva de água para resfriamento industrial.
- Usos industriais da água.

Um dos principais desafios no Brasil do século XXI será o suprimento adequado de água para as regiões metropolitanas e as áreas urbanas, em geral. Em muitas cidades de médio porte (100.000 a 200.000 habitantes) o suprimento de água é adequado; no entanto, os custos do tratamento e o tratamento de esgotos, são problemas fundamentais de saúde pública, que sem dúvida

vão necessitar de grandes investimentos. Em represas urbanas, de abastecimento de água, há uma pressão elevada para usos múltiplos (pesca, lazer, turismo), bem como para a conciliação destes vários usos com finalidades principais, que são os suprimentos de água de qualidade aceitável, um dos mais importantes desafios para gerentes e administradores de recursos hídricos.

A tabela 2 mostra o balanço hídrico das principais bacias hidrográficas do Brasil.<sup>6</sup>

Tabela 2

Balanço hídrico das principais bacias hidrográficas do Brasil.

| Bacia Hidrográfica               | Área (km <sup>2</sup> ) | Média de precipitação (m <sup>3</sup> /s) | Média de descarga (m <sup>3</sup> /s) | Evapotransp. (m <sup>3</sup> /s) | Descarga/ Precipitação (%) |
|----------------------------------|-------------------------|---|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Amazônica                        | 6.112.000               | 493.191                                   | 202.000                               | 291.491                          | 41                         |
| Tocantins                        | 757.000                 | 42.387                                    | 11.300                                | 31.087                           | 27                         |
| Atlântico Norte                  | 242.000                 | 16.388                                    | 6.000                                 | 10.388                           | 37                         |
| Atlântico Nordeste               | 787.000                 | 27.981                                    | 3.130                                 | 24.851                           | 11                         |
| São Francisco                    | 634.000                 | 19.829                                    | 3.040                                 | 16.789                           | 15                         |
| Atlântico Leste Norte            | 242.000                 | 7.784                                     | 670                                   | 7.114                            | 9                          |
| Atlântico Leste Sul              | 303.000                 | 11.791                                    | 3.710                                 | 8.081                            | 31                         |
| Paraná                           | 877.000                 | 39.935                                    | 11.200                                | 28.735                           | 28                         |
| Paraguai                         | 368.000                 | 16.326                                    | 1.340                                 | 14.986                           | 8                          |
| Uruguai                          | 178.000                 | 9.589                                     | 4.040                                 | 5.549                            | 42                         |
| Atlântico Sul                    | 224.000                 | 10.515                                    | 4.570                                 | 5.949                            | 43                         |
| Brasil incluindo Bacia Amazônica | 10.724.000              | 696.020                                   | 251.000                               | 445.020                          | 36                         |

Fonte: BRAGA *et al.*, 1998.<sup>7</sup>

## Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos

O conhecimento dos mecanismos de funcionamento dos sistemas aquáticos continentais de superfície e subterrâneos e o seu acoplamento aos usos do solo e às bacias hidrográficas apresentaram avanços significativos no século XX. A ciência que estuda os recursos hídricos continentais, a Limnologia, avançou em termos conceituais, metodológicos e técnicos. Este avanço foi paralelo ao de outras ciências tais como Hidrologia, Hidrografia, Botânica, Zoologia Aquática e Biodiversidade Aquática.

Um dos grandes avanços recentes, nas últimas décadas do século XX, foi exatamente a integração entre estas ciências e o gerenciamento de recursos hídricos, que sempre foi mais ligado às engenharias, engenharia civil e saneamento básico. Tal integração em processamento é um dos principais desafios para o

<sup>6</sup> REBOUÇAS, A.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil. Capital ecológico, usos e conservação*. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados-USP, Academia Brasileira de Ciências, 1999. 757 p.

<sup>7</sup> BRAGA, B., ROCHA, O. & TUNDISI, J. G. Dams and the Environment: the brazilian experience. *Water Resources Development*, 14: 127-40, 1998.



gerenciamento avançado de recursos hídricos no século XXI. Além disso, ficou claro, também nas décadas finais deste século, que é impossível procurar compreender o que se passa nos sistemas de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, sem compreender os processos econômicos e sociais que desencadeiam as transformações. O gerenciamento das águas está, portanto, fundamentalmente relacionado à sócio-economia regional e aos usos múltiplos das bacias hidrográficas. Este gerenciamento que, em todo o século XX foi localizado, setorial (setor hidroelétrico, setor pesqueiro, setor de irrigação) e que procura responder aos problemas, deverá ser, no século XXI, preditivo, integrado (integração de todos os componentes de múltiplos usos) e em nível de ecossistemas, ou seja, deverá ser abrangente e sistêmico considerando todos os processos ecológicos e ambientais, econômicos e sociais, de bacias hidrográficas.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> NAIMAN, R. J., MAGRUSON, J. J.; MCKNIGHT, D. M., & STANFORD, J. *The Freshwater imperative: a research agendas*. Washington D.C.: Island Press, 1995. 165 p.

Ao desafio de se implementar um gerenciamento com estas características devem somar-se aquele de treinar gerentes capacitados para exercer tal função e o de introduzir legislações adequadas.

A formação de recursos humanos também passa hoje por grandes transformações. Os gerentes devem ter uma visão mais abrangente, integrada, dos recursos hídricos e um treinamento técnico e tecnológico avançado. A orientação para conhecimento de estudos de caso, prática de campo, de laboratório e informações comparativas deve ser compreendida dentro de um amplo contexto global, regional e local.

Os avanços produzidos na legislação têm sido essenciais. No Brasil a implementação da ANA (Agência Nacional de Águas) e a descentralização produzida pela administração por bacias hidrográficas foi um passo decisivo no gerenciamento e na legislação. Neste caso, a descentralização deve produzir uma verdadeira revolução no setor, pois o gerenciamento das bacias hidrográficas montante-jusante como um todo elimina o conflito que sempre existiu e também coloca os usuários como administradores de todo o sistema (os chamados parlamentos da água). A estes avanços em vias de consolidação (Brasil, México, Argentina e Chile alteraram a legislação sobre recursos hídricos nos últimos anos) deve-se adicionar um outro desafio relevante, que é o aumento da percepção do grande público a respeito do problema, bem como a introdução de novas metodologias para educar as grandes massas de população sobre o problema da água, as necessidades de conservação e de preservação.

O conhecimento científico sobre rios, lagos, represas, áreas alagadas deve ser utilizado como base para o gerenciamento integrado. Além disto, atualmente tem ocorrido outra mudança conceitual muito importante, que é a da preservação das fontes de abastecimentos e das reservas naturais de recursos hídricos. A

concepção de que o tratamento de água resolve todas as situações tem mudado para um gerenciamento mais eficiente das bacias hidrográficas e dos mananciais, reduzindo-se assim os custos de tratamento e preservando-se recursos para o futuro. Desta forma, o monitoramento de água tem atualmente um destaque excepcional. Este monitoramento deve ter componentes de máxima cobertura, boa relação custo-benefício, mínimo erro de medida, mínimo erro de amostragem, e pode ser feito, atualmente, em tempo real produzindo um banco de dados de excelente valor para tomada de decisões.<sup>9</sup> Além disto, o monitoramento possibilita aumentar a capacidade preditiva do sistema de gerenciamento, oferecendo condições para antecipar situações de emergência e de perigo com contaminações que podem causar acidentes afetando a saúde de milhares de pessoas.

<sup>9</sup> BISWAS, A. Op. cit.

A adoção de critérios adequados e rigorosos de qualidade da água, a persistência na conservação de fontes não contaminadas e investimentos na recuperação dos recursos hídricos devem ser paradigmas fundamentais do gerenciamento no século XXI.

O desenvolvimento sustentado prevê o uso adequado dos recursos naturais sem comprometê-los para as próximas gerações. Nesta questão, os usos adequados da água, a preservação da quantidade e qualidade, são essenciais para a manutenção dos ciclos e do equilíbrio dinâmico e para a prestação contínua de “serviços” pelos ecossistemas, produzindo condições permanentes de sustentação das atividades humanas e usos múltiplos. Dos usos adequados e da conservação dos recursos hídricos, dependem a biodiversidade aquática, a produção de biomassa e a disponibilidade de água com qualidade satisfatória. O desenvolvimento sustentado prevê a adoção de tecnologias mais acessíveis, mais baratas e de grande eficiência. A dessalinização da água do mar pode ser uma das opções futuras desde que os custos desta tecnologia não sejam proibitivos. O re-uso da água deverá ser gradativamente implantado como um componente fundamental do gerenciamento.

Um dos exemplos mais clássicos da inter-relação entre qualidade da água, saúde humana e desenvolvimento sustentado, com repercussões econômicas é o tratamento e a solução de problemas da eutrofização. A eutrofização já é o grande problema do século XXI, resultante da falta de tratamento de esgotos e de descargas excessivas não pontuais de nitrogênio e fósforo em rios, lagos e represas, produzindo uma deterioração rápida na qualidade da água, com o florescimento de cianofíceas em alguns casos com cepas tóxicas. Este processo tem afetado praticamente todos os sistemas aquáticos superficiais em muitos países e tem contaminado também águas subterrâneas.<sup>10</sup> O quadro 2 resume as principais conseqüências do impacto da eutrofização e a repercussão da solução do problema em qualidade de vida na economia.

<sup>10</sup> CHORUS, I. & BARTRAM, J. (Editors). *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. E. Who. & F. Spom, 1999. 416 p.

Quadro 2  
Efeitos da eutrofização, benefícios da redução da eutrofização e medidas dos benefícios.

| Efeitos da eutrofização   | Benefícios da redução da eutrofização                           | Como os benefícios podem ser medidos   |
|---|---|--|
| Aumento do gosto e odor em águas de abastecimento                           | Redução dos custos do tratamento.                               | Redução de custos no tratamento.   |
|   | Diminuição da demanda por água engarrafada.                     | Aumento no consumo de água e preços competitivos da água de abastecimento público. |
| Redução visual e efeitos da qualidade da água.                              | Maior diversificação da biota.                                  | Valorização econômica das propriedades.  |
|   | Estímulo ao desenvolvimento nas proximidades dos corpos de água | Ampliação do desenvolvimento urbano  |
|   | Incremento da recreação.  | Aumento da receita com recreação.  |
| Aumento da possibilidade de toxinas na água.                                | Desenvolvimento da pesca comercial e recreacional.              | Aumento no valor da fauna de peixes.   |
|   | Maior diversificação da biota.                                  |  |
|   | Novos usos da água para recreação.                              | Aumento na receita com recreação.  |
| Perda de profundidade da água, área de superfícies e capacidade de reserva. | Redução da necessidade de suprimentos alternativos de água.     | Redução dos custos de recuperação.   |
|   | Viabilidade continuada da recreação e pesca.                    | Garantia de permanência da recreação.  |
|   | Valorização das propriedades preservadas.                       | Manutenção dos preços das propriedades nas vizinhanças dos lagos.                  |

Fonte: UNEP, 2000.<sup>11</sup>

### Avanços conceituais e metodológicos

Os novos avanços conceituais e metodológicos no gerenciamento de recursos hídricos resultam da percepção de que a água tem um valor econômico e todos os seus usos competitivos devem ser considerados como um benefício econômico. O gerenciamento dos recursos hídricos, além de integrar a pesquisa ao monitoramento para as decisões gerenciais, deve ser participativo envolvendo público, usuários, planejadores, poder público e iniciativa privada. Este gerenciamento integrado deve estar relacionado com as práticas de conservação, monitoramento, recuperação e re-uso dos recursos hídricos.<sup>12</sup> A figura 3 apresenta conceitos recentes de gerenciamento integrado.

<sup>11</sup>UNEP. *Planning and management of lakes and reservoirs: an integrated approach to eutrophication*. Kyoto: IETC, 2000. 327 p.

<sup>12</sup>TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T., ROCHA, O. & ESPINDOLA, E. Limnologia e gerenciamento integrado de represas da América do Sul: avanços recentes e novas perspectivas. In: BRAGA, B. (Editor). *Gerenciamento de represas na América do Sul*. (no prelo).

A implantação de incentivos econômicos tais como o pagamento pelos usuários da quantidade e qualidade da água (o princípio pagador – poluidor) e não só pela quantidade de água usada, além do estímulo à iniciativa privada para gerenciamento e recuperação de recursos hídricos, são outras práticas importantes de descentralização e de avanços no gerenciamento. Estimativas recentes do Banco Mundial indicam que serão necessários mais de US\$ 600 bilhões de investimentos na próxima década para resolver problemas de abastecimento com água potável, tratamento da água e seu uso e também para resolver a escassez.<sup>13</sup>

<sup>13</sup>WORLD BANK. *Water resources management. A World Bank Policy Paper*. 1993. 140 p.

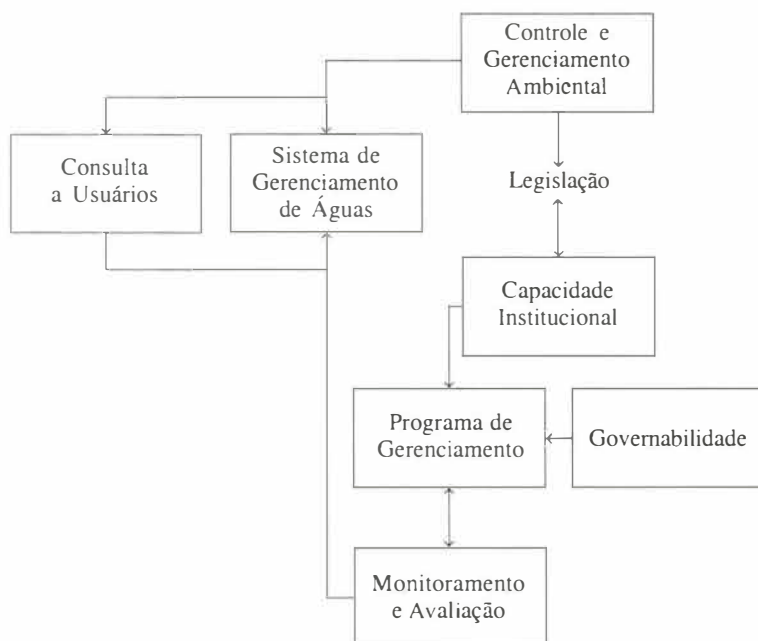


Figura 3

Principais processos institucionais para o gerenciamento de rios, lagos, represas e qualidade da água.

Fonte: STRASKRABA & TUNDISI, 1999 e UNEP, 2000.<sup>14</sup>

<sup>14</sup>STRASKRABA, M. & TUNDISI, J. G. *Diretrizes para o gerenciamento de lagos. Gerenciamento da qualidade da água de represas*. v. 9. ILEC/IEE, 2000. 227 p. UNEP. Op. cit.

<sup>15</sup>REBOUÇAS, A., BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. *Águas Doces no Brasil. Capital ecológico, usos e conservação*. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados-USP, Academia Brasileira de Ciências, 1999. 757 p.

<sup>16</sup>STRASKRABA, M. & TUNDISI, J. G. Op. cit. TUNDISI J. G., 1999. Op. cit.

José Galizia Tundisi é biólogo, doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo/Universidade de Southampton (Reino Unido) e presidente do Instituto Internacional de Ecologia em São Carlos, São Paulo.

Em futuro próximo, as questões sócio-econômicas relativas à água deverão desenvolver-se paralelamente aos avanços tecnológicos e às metodologias.<sup>15</sup> Com a educação ambiental relativa aos recursos hídricos deverão ser também acelerados e serão prática e rotina nas escolas a discussão e a demonstração sobre problemas da qualidade da água, bem como a necessidade de preservar mananciais. Novas metodologias e técnicas de educação relacionada aos recursos hídricos<sup>16</sup> deverão ser introduzidas, incluindo-se o uso de sistemas de informação.