

RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

problemas, desafios e estratégias para o futuro

José Galizia Tundisi
Coordenador do Grupo de Estudo

RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

problemas, desafios e estratégias para o futuro



Rio de Janeiro
2014

© Direitos autorais, 2014, de organização, da
Academia Brasileira de Ciências
Rua Anfilóbio de Carvalho, 29 - 3º Andar
20030-060 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil
Tel: (55 21) 3907-8100
Fax: (55 21) 3907-8101

© Direitos de publicação reservados por
Academia Brasileira de Ciências e
Fundação Conrado Wessel
Rua Pará, 50 - 15º andar
01243-020 - São Paulo, SP - Brasil.
Tel/Fax: (55 11) 3237-2590

Coordenação e Edição:
José Galizia Tundisi
Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl

Colaboradores:
Diogenes de Almeida Campos
Juliana Fernandes
Péricles Trevisan
Vitor Vieira

Design:
Sandra Frias Design Gráfico

R311 Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias
para o futuro / José Galizia Tundisi (coordenador). – Rio de
Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014.
76 p.: 25 cm.

Ciência e tecnologia para o desenvolvimento nacional:
estudos estratégicos, 5.

ISBN: 978-85-85761-36-3

1. Recursos hídricos – Brasil. 2. Saúde pública – Brasil.
Saneamento – Brasil. I. Tundisi, José Galizia.

CDD 333.91

GRUPO DE ESTUDOS SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

Coordenador: José Galizia Tundisi

Secretário Executivo: Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl

Benedito Pinto Ferreira Braga Junior

Carlos Eduardo de Matos Bicudo

Carlos Eduardo Morelli Tucci

Eduardo Mario Mendiondo

Fernando Rosado Spilki

Francisco Antonio Rodrigues Barbosa

Ivanildo Hespanhol

José Almir Cirilo

Luiz Antonio Martinelli

Odete Rocha

Renato Ribeiro Ciminelli

Ricardo César Aoki Hirata

Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo

Silvio Crestana

Takako Matsumura Tundisi

Ulisses Confalonieri

Virginia Sampaio Teixeira Ciminelli

PALAVRA DO PRESIDENTE

Nos últimos anos a Academia Brasileira de Ciências (ABC), com o apoio fundamental da FINEP e da Fundação Conrado Wessel, e também de seus membros institucionais, tem desenvolvido um importante esforço para contribuir com o debate de políticas públicas no Brasil, a partir das publicações da série “*Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Nacional: Estudos Estratégicos*”.

O presente documento é o mais recente produto dessa iniciativa. Coordenada pelo acadêmico José Galizia Tundisi, essa publicação é resultado do trabalho de diversos pesquisadores brasileiros que se articularam no âmbito do Grupo de Estudos da ABC sobre Recursos Hídricos no Brasil. A partir de reuniões realizadas nos últimos anos, especialistas consolidaram, no contexto de uma perspectiva multidisciplinar, uma visão estratégica para a otimização do uso dos recursos hídricos do país.

Como discutido no documento, tal desafio passa pelo fortalecimento da pesquisa e da formação de recursos humanos. Passa também por uma maior articulação da Ciência com a gestão e a formulação de políticas públicas. A dedicação e o esforço desse grupo de pesquisadores, oriundos das diversas regiões do Brasil, permitiu a construção de uma visão sistêmica do problema, sem a qual seria impossível a compreensão das questões e dos desafios a serem enfrentados.

Foram diversos os simpósios científicos, organizados pela ABC, que permitiram as reflexões que balizaram o presente documento, e dentre esses destacamos: A Crise da Água e o Desenvolvimento Nacional: um Desafio Multidisciplinar (outubro, 2009); Mudanças Climáticas Globais e seus Impactos nos Recursos Hídricos no Brasil (fevereiro, 2010); Improving Access to Safe Water: Perspectives from Africa and the Americas (setembro, 2010); Desafios para a Capacitação e a Pesquisa em Recursos Hídricos no Brasil (maio, 2011); Enhancing Water Management Capacity in a Changing World: Science Academies Working Together to Increase Global Access to Water and Sanitation (junho, 2012); Água e Saúde Humana (setembro, 2013); e, mais recentemente, Water Issues and Ecological Sustainability in Areas of Urbanization (maio, 2014). Foi a partir deste conjunto de reuniões que se acumularam as reflexões que possibilitaram a presente publicação.

Sendo assim, é com muita satisfação que apresentamos mais essa contribuição da ABC à Sociedade Brasileira e ao governo. O desafio de se assegurar o acesso à água de boa qualidade e aos serviços de saneamento à população brasileira não é trivial, principalmente por conta dos custos envolvidos e da dimensão do problema. No entanto, é uma responsabilidade coletiva o enfrentamento desse problema. Com a publicação que ora apresentamos, esperamos estar contribuindo com esse necessário esforço.

Jacob Palis

Presidente da Academia Brasileira de Ciências

APRESENTAÇÃO DO COORDENADOR

A disponibilidade dos recursos hídricos para usos múltiplos com qualidade adequada tem um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico de municípios, Estados e do Brasil. Análises estratégicas da situação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos no país e perspectivas para o futuro são, portanto, fundamentais para estabelecer políticas públicas, desenvolver e aprofundar pesquisas, formar recursos humanos em vários níveis, e estabelecer condições para o progresso mais rápido e consistente na pesquisa e na gestão. A integração entre pesquisa e gerenciamento necessita de um impulso mais forte, tanto no exterior quanto no Brasil. Com a presente contribuição a Academia Brasileira de Ciências (ABC) busca promover a redução do distanciamento entre a pesquisa e a gestão de recursos hídricos no país.

Este documento é produto das reflexões e discussões desenvolvidas no âmbito do Grupo de Estudos da ABC sobre Recursos Hídricos no Brasil, e tem a finalidade de sintetizar informações e estudos, destacar problemas prioritários, e propor e incentivar pesquisa, desenvolvimento e inovação na área de recursos hídricos, além de estimular e propor perspectivas para uma gestão integrada e preditiva dos recursos hídricos, necessidade premente tanto no plano nacional como no internacional. Como se verá, ao longo desta contribuição da ABC para a sociedade brasileira, o conjunto de problemas em pesquisa e em gestão de recursos hídricos no Brasil aponta para a necessidade de maior eficiência na transferência de conhecimento, na aplicação de tecnologias e na integração institucional, além de mudanças de paradigma na gestão e na formação de recursos humanos.

O trabalho empreendido pelos Prof. Carlos Bicudo, Prof. Francisco Sá Barreto e Prof. Francisco Barbosa na organização do primeiro simpósio do Grupo de Estudos, realizado na Universidade Federal de Minas Gerais, em outubro de 2009, teve caráter pioneiro e foi fundamental para lançar as bases que permitiram a atual publicação. De forma semelhante, a atuação do Prof. Sérgio Eide, que colaborou intensivamente na organização de reuniões e discussões em todo o país, no âmbito do Projeto Prospecção Científica e Tecnológica nas Áreas de Impactos do Clima e Mudanças Climáticas nos Ecossistemas de Águas Interiores, Estuários e Águas Marinhas na América do Sul e Brasil (CTHIDRO–CNPq), desenvolvido durante 2009, com apoio decisivo do Prof. Almir Cirilo, então Presidente do Comitê Gestor do CTHIDRO, deve ser consignada. A atuação competente do Prof. Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl na articulação das ações do Grupo de Estudos sobre Recursos Hídricos no Brasil também deve ser reconhecida, bem como o meticuloso trabalho de revisão da versão final do documento, cuidadosamente realizada pelos Prof. Diogenes de Almeida Campos e Prof. Péricles Trevisan.

José Galizia Tundisi

Coordenador do Grupo de Estudos da ABC sobre Recursos Hídricos no Brasil

A ÁGUA É FIADORA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COM QUALIDADE DE VIDA.

Quando, em 2008, se iniciava a série de Estudos Estratégicos com a publicação, pela Academia Brasileira de Ciências de “Amazônia, Desafio Brasileiro do Século XXI”, em parceria com a Fundação Conrado Wessel, lembramos aos leitores que iriam ver na série desses Estudos “as bases para a Revolução Científica e Tecnológica proposta pela ABC com a FCW, um ciclo de estudos de conteúdo oportuno e dimensão compatível com as alternativas nacionais.”

Note-se bem, a série que já produziu “Amazônia”, “O Ensino de Ciências e a Educação Básica”, “Doenças Negligenciadas” e “Aprendizagem Infantil” é um ciclo de estudos de porte nacional e foro de política pública. A ABC e a FCW pretendem sempre contribuir com análises e debates oportunos sobre o desenvolvimento e a qualidade de vida nacionais.

A pauta mundial de hoje é a luta contra a fome e a desigualdade social, em parâmetros assistemáticos, passíveis de soluções diferenciadas por não se dispor, mundo afora, de fontes de recursos padronizadas e uniformes.

Por sua vez, o dinamismo imposto pelo desenvolvimento provoca inevitável exaustão de recursos. E aqui entram os hídricos; há alterações intensas e replicantes de curso, há inovações de uso no ciclo hidrológico, há conflitos, impactos e, numa visão panorâmica de maior prazo, uma grande ameaça de escassez.

A escassez de recursos hídricos gera instabilidade agropecuária, insegurança de produção, de abastecimento de água potável, de saneamento básico, de saúde pública. Reflete-se na vulnerabilidade do crescimento sustentável e na intensificação do desequilíbrio social. É um quadro de caos gradativo.

Como evitá-lo? Não existem instrumentos outros para obviar esse previsível impasse social, senão adotar para os recursos hídricos uma ponderação equilibrada de todos os fatores envolvidos, com planejamento eficiente, pesquisa metódica, visão estratégica e aplicação científica.

É indiscutível a importância da Ciência e da Pesquisa na busca de solução para os desafios sociais. Cabe aos cientistas analisar estrategicamente a situação dos recursos hídricos em cada estado ou município do Brasil, a fim de que as comunidades e a nação como um todo fundamentem seus planos de desenvolvimento socioeconômico com segurança e perspectiva sustentável. Este trabalho subsidia toda a estratégia nacional e todos os estudos afins que nossos estudiosos elaboram.

Chega, pois, aos leitores este excelente “Recursos Hídricos”, atualíssimo na proporção da sensibilidade pública hoje mais afetada pelas agudas oscilações climáticas.

Chega em boa hora e com imbatível conteúdo, marca congênita de todas as equipes de trabalho da ABC.

Américo Fialdini Jr.

Diretor Presidente da Fundação Conrado Wessel

ÍNDICE

1. Água, qualidade de vida, sustentabilidade e desenvolvimento	1
2. Objetivos do documento	2
3. Principais problemas abordados	2
4. Recursos hídricos, usos múltiplos e projeções	3
5. Recursos hídricos no Brasil: uma síntese	4
5.1. <i>Disponibilidade hídrica: águas superficiais e subterrâneas</i>	4
5.2. <i>Usos múltiplos dos recursos hídricos</i>	7
5.3. <i>Usos múltiplos e conflitos decorrentes</i>	8
5.4. <i>Impactos nos recursos hídricos e contaminação</i>	8
6. Ecossistemas aquáticos	13
7. Recursos hídricos e sustentabilidade	17
7.1. <i>Água e energia</i>	17
7.2. <i>Recursos hídricos e a indústria mineral</i>	20
7.3. <i>Recursos hídricos, produção de alimentos e indústria, transportes</i>	21
7.4. <i>Recursos hídricos e economia</i>	25
7.5. <i>Recursos hídricos e urbanização</i>	26
7.6. <i>Ciência, tecnologia e inovação: necessidades estratégicas</i>	30
7.7. <i>Interações entre recursos hídricos continentais e águas costeiras</i>	32
8. Água e saúde humana	33
8.1. <i>Pesquisa, monitoramento e vigilância</i>	34
8.2. <i>Extensão e universalização dos serviços de saneamento básico</i>	35
9. Recursos hídricos subterrâneos	36
10. Recursos hídricos na Bacia Amazônica	38
11. Água no Semiárido	44
12. Água e mudanças climáticas	47
13. Governança da água no Brasil: evolução do processo e situação atual	51
14. Capacitação e formação de recursos humanos	53
15. Conclusões e recomendações: prioridades estratégicas	56
16. Referências bibliográficas	61

1. Água, qualidade de vida, sustentabilidade e desenvolvimento

A água é recurso renovável essencial à vida no planeta Terra; seu ciclo tem continuado por séculos e milênios, sustentando a biodiversidade e mantendo em funcionamento ciclos nos ecossistemas, comunidades e populações. O ciclo hidrológico no planeta tem componentes bem conhecidos e integrados: águas superficiais, águas subterrâneas e águas atmosféricas. O permanente movimento entre esses componentes é uma característica fundamental do ciclo da água e uma consequência de suas propriedades e de seus estados sólido, líquido e gasoso.

Antes da existência do *Homo sapiens* no planeta Terra a água era utilizada exclusivamente para manter o funcionamento dos ecossistemas. A presença da espécie humana, o desenvolvimento da agricultura (sobretudo da agricultura irrigada) e da indústria, e a diversificação dos usos múltiplos da água introduziram novos tipos de apropriação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, produzindo estresse hídrico (conflito crescente entre os diversos usos de água) ou escassez de água (desequilíbrio entre disponibilidade e demandas).

Em regiões em que há falta de água, há níveis baixos de suprimento em relação ao mínimo indispensável às necessidades básicas de vida. Escassez, estresse e falta de água estão relacionados com a segurança coletiva da população humana: segurança para a produção de alimentos, segurança para o abastecimento público com água potável, e segurança contra a contaminação dos suprimentos de água e ameaças à saúde pública (ANA 2009). Há também uma dependência da biodiversidade e dos ciclos dos organismos com a disponibilidade, estresse e escassez hídricos.

Águas superficiais, subterrâneas e reservas de água são componentes estratégicos e essenciais do desenvolvimento econômico, social e de sustentabilidade dos processos em âmbitos local, regional e continental. A disparidade no suprimento de água em relação às regiões, nações e continentes é causa de diferenças na velocidade e no processo de desenvolvimento, gerando conflitos, desigualdades sociais e oportunidades diferentes de saúde adequada, trabalho, renda e educação (Rogers et al 2006). Os estudos estratégicos referentes aos recursos hídricos são, portanto, fundamentais para examinar, em profundidade, disponibilidades e demandas de água e as interações entre os processos biogeofísicos envolvidos no ciclo e usos múltiplos de água e o desenvolvimento econômico e social (Naiman et al 1995, Bicudo et al 2010). Esses estudos constituem a base para o estabelecimento de futuras políticas de desenvolvimento e para o planejamento regional e territorial do país.

Apesar de um grande número de estudos, avaliações, determinações e monitoramento de quantidade e qualidade de água, há um conjunto grande de falhas no gerenciamento dos recursos hídricos, devido a uma desarticulação entre o conhecimento existente e o gerenciamento nos planos regional, municipal, e mesmo nacional (Braga et al 2006). As diferentes análises realizadas em diversos países e por organizações internacionais têm justamente a finalidade de estimular essa interação necessária e promover efetivamente a resolução dos problemas, tornando o gerenciamento de recursos hídricos mais eficiente e menos dispendioso (Revenga et al 1998, Tundisi 2007b, 2009). O gerenciamento de recursos hídricos e a ciência básica devem ser, portanto, integrados de forma a produzir e implantar soluções mais consistentes e de longo alcance, com capacidade preditiva. Esse esforço de integração é tarefa que demanda a participação de acadêmicos, pesquisadores, tomadores de decisão e gerentes. Esses atores, em conjunto, podem desenvolver novas e criativas soluções para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

2. Objetivos do documento

Este documento é uma contribuição do Grupo de Estudos sobre Recursos Hídricos da Academia Brasileira de Ciências para as estratégias de pesquisa, gerenciamento e inovação necessárias para promover avanços no conhecimento científico e na capacidade gerencial de recursos hídricos no país.

3. Principais problemas abordados

Procurou-se dar ênfase ao caráter estratégico do documento. Mesmo considerando que existem muitas informações, análises e avaliações realizadas em estudos acadêmicos e por agências do Governo (ANA 2011), o texto busca realizar uma avaliação e uma análise sintética dos principais problemas dos pontos de vista acadêmico e gerencial. Ao longo do texto procuramos apresentar as inter-relações entre recursos hídricos e sustentabilidade, destacando o seu papel fundamental na produção de alimentos e de energia, no abastecimento público, e na proteção, conservação e recuperação de mananciais e ecossistemas aquáticos.

No documento são apresentados problemas críticos e prioridades em cada tema abordado tais como saúde pública, recursos hídricos e saneamento

básico, águas em regiões urbanas e águas subterrâneas. Recursos hídricos no Semiárido e na Amazônia são tratados separadamente, dado o caráter peculiar e de alta relevância desses biomas e sua interdependência com a qualidade e a quantidade de água. As questões de governança da água e de capacitação de recursos humanos são apresentadas como insumos estratégicos para avanços significativos na gestão integrada e preditiva dos recursos hídricos.

Finalmente, em sua conclusão, o documento apresenta recomendações e prioridades para a pesquisa e o desenvolvimento científico e tecnológico e para a gestão, enfatizando a necessidade estratégica de uma maior e mais profunda integração entre Ciência e Gestão Integrada e Preditiva de Recursos Hídricos no Brasil.

4. Recursos hídricos, usos múltiplos e projeções

Um conjunto de dados apresentados por Shiklomanov (1999) mostrou projeções da demanda futura e consumo real para vários usos múltiplos até 2050. A Tabela 1 apresenta dados para consumo e demanda por atividade, bem como cenários de crescimento.

Tabela 1. Usos, demandas antecipadas, consumo real de águas por atividade.

	1900	1950	1980	1990	2000	2025	2050
População (milhões)	2000	2542	4410	5285	6181	8000	9200
Superfícies irrigadas (milhões de hectares)	47,3	101	198	243	264	307	331
Demandas agrícolas antecipadas (Km ³ /ano)	513	1080	2112	2425	2605	3053	3283
Consumo Agrícola	321	722	1445	1991	1834	2143	2309
Relação consumo/demanda antecipada	63%	67%	68%	70%	70%	70%	70%
Demandas municipais antecipadas (km ³ /ano)	21,5	86,7	219	305	384	522	618
Consumo Municipal (Km ³ /ano)	4,6	16,7	38,3	45	52,8	73,6	86,4
Relação consumo/demanda antecipada	21%	19%	17%	15%	14%	14%	14%
Demandas industriais antecipadas (Km ³ /ano)	44	204	713	735	776	834	875
Consumo Industrial (Km ³ /ano)	5	19	71	79	88	104	116
Relação consumo/demanda %	11%	9%	10%	11%	11%	13%	13%
Evaporação de reservatórios	0,3	11,1	131	167	208	302	362
Demanda total anual (Km ³ /ano)	579	1382	3175	3632	3973	4710	5138
Consumo total (Km ³ /ano)	330	758	1554	1815	1975	2321	2511

Já a Tabela 2 demonstra projeções de aumento das demandas municipais e do consumo industrial. O grau de urbanização da população humana é um dos fatores relevantes na expansão da demanda. Atualmente o grau de urbanização da população humana é um dos fatores de maior pressão nos usos múltiplos dos recursos hídricos. No Brasil essa urbanização atinge 84% da população total do país (IBGE 2010).

Tabela 2. Aumento projetado nas demandas mundiais de água entre 2000 e 2050.
Fonte: Shiklomanov (1999).

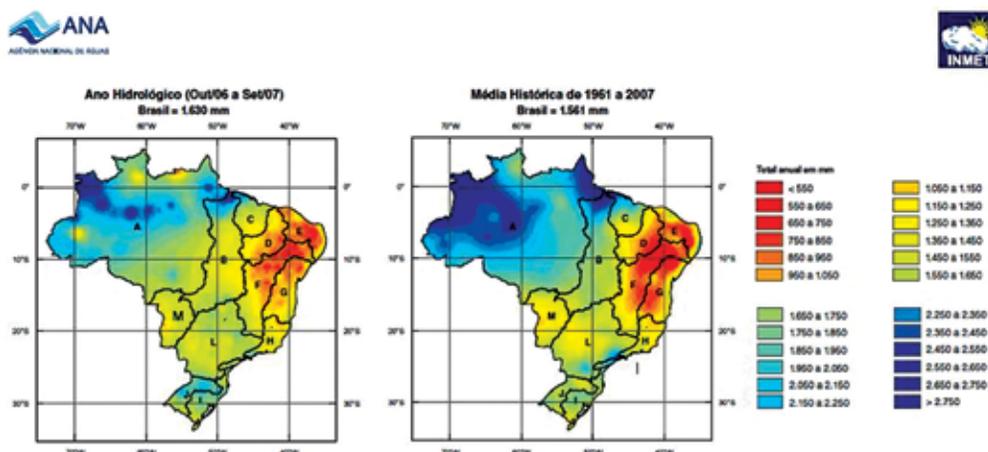
Aumento 2000 - 2050 %	
População	49%
Demanda agrícola	26%
Consumo agrícola	26%
Demanda município	61%
Consumo município	64%
Demanda industrial	13%
Consumo industrial	31%
Demanda total anual	29%
Consumo total	27%

5. Recursos hídricos no Brasil: uma síntese

5.1. Disponibilidade hídrica: águas superficiais e subterrâneas

O Brasil possui aproximadamente 12% das águas doces disponíveis em todo o planeta Terra. Esses recursos, distribuídos de forma irregular no território brasileiro, que vai de 5°N a 34°S de latitude, estão sob a influência de uma grande variedade de processos climatológicos que regulam a distribuição e a disponibilidade da água. A precipitação anual média no Brasil (dados históricos 1962–2007, ANA 2011) é de 1.765 mm, variando de 500 mm/ano no Nordeste do Brasil a 3.000 mm/ano na região Amazônica (Fig. 1).

Figura 1: Precipitação anual no país - ano hidrológico 2007 e média de 1961 a 2007.
Fonte: ANA (2011).



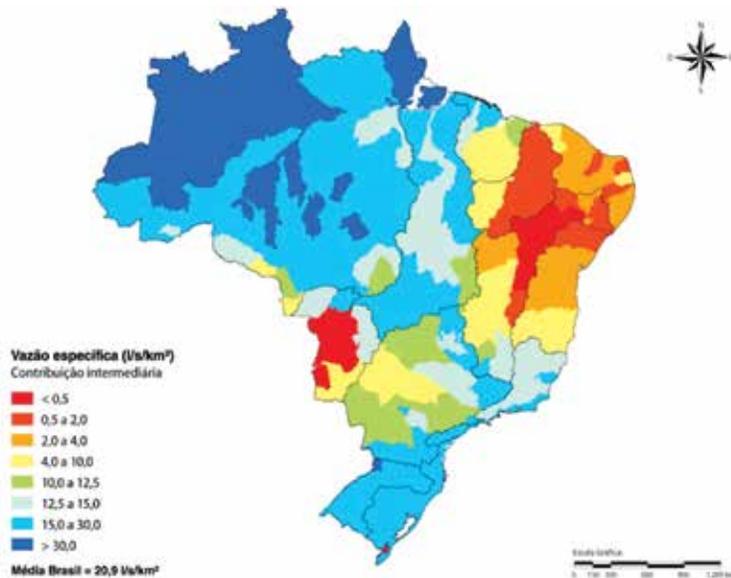
A Fig. 2 apresenta as 12 principais regiões hidrográficas do país. Três bacias hidrográficas têm um papel relevante do ponto de vista de disponibilidade de recursos hídricos, reserva estratégica de águas e de economia regional e nacional: a Bacia Amazônica; a bacia do Rio da Prata; e a bacia do Rio São Francisco (Fig. 2).



Figura 2. As principais regiões hidrográficas do Brasil.
Fonte: ANA (2009).

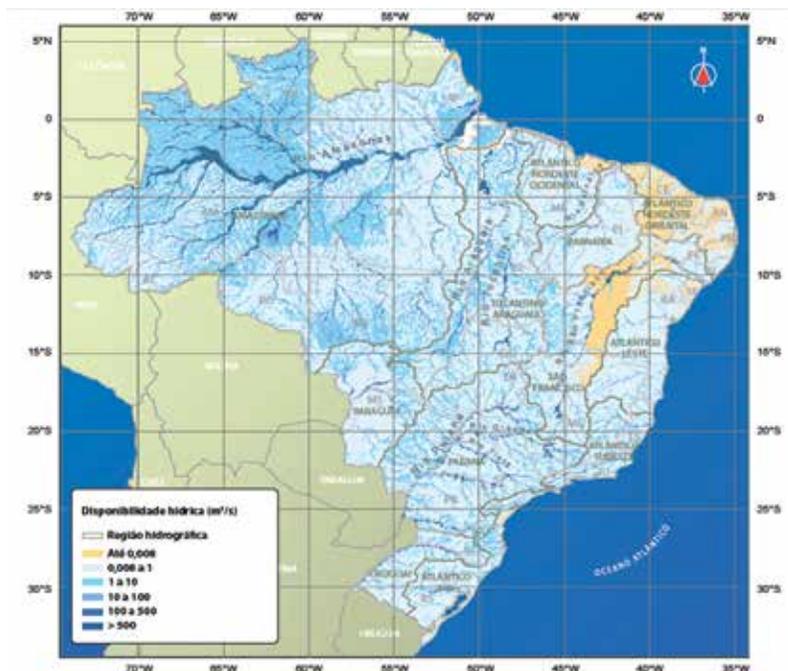
A distribuição dos recursos hídricos subterrâneos no Brasil também não é uniforme. Existem regiões com grande disponibilidade, como o aquífero Guarani no Sul do Brasil, e regiões com baixa disponibilidade, como os aquíferos das rochas cristalinas no Nordeste. Os aquíferos sedimentares ocupam 48% do território brasileiro. A Fig. 3 apresenta a distribuição espacial das vazões específicas no território brasileiro. As vazões específicas representam a disponibilidade de água nas diferentes bacias hidrográficas do Brasil e reforçam a diversidade da distribuição no território nacional. Conforme destaca o relatório da ANA (2011) “apesar de o Brasil possuir grande oferta de água em termos globais, existe uma distribuição desigual dos recursos hídricos”. Destaca-se, a grande disponibilidade hídrica na Amazônia, e a escassez de água na região Nordeste do Brasil.

Figura 3: Distribuição espacial das vazões específicas.
 Fonte: ANA (2009).



Na Figura 4, vemos a disponibilidade hídrica no Brasil. A disponibilidade hídrica no país apresenta ampla variações: grande disponibilidade na região Norte ($> 500 \text{ m}^3/\text{s}$), menores disponibilidades hídricas no sul e sudeste (entre 10 a $100 \text{ m}^3/\text{s}$) e apenas $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ no Semiárido.

Figura 4:
 Disponibilidade hídrica (m^3/s) no Brasil.
 Fonte: ANA (2011).



Por sua vez a Fig. 5 mostra as principais áreas de recarga dos aquíferos no Brasil. O destaque para as áreas de recarga dos aquíferos reflete a grande importância destas áreas para a manutenção da disponibilidade hídrica destes aquíferos e a necessidade de sua preservação. Como os aquíferos representam uma reserva relevante de água estas áreas de recarga adquirem uma importância fundamental (ver águas subterrâneas).



Figura 5: Área de recarga dos principais sistemas aquíferos.
Fonte: ANA (2011).

5.2. Usos múltiplos dos recursos hídricos

No Brasil os usos múltiplos dos recursos hídricos são diversificados e a sua intensidade está relacionada com o desenvolvimento social, agrícola e industrial das 12 regiões hidrográficas. Também está relacionada com a densidade populacional e o grau de urbanização. Os usos múltiplos de recursos hídricos dependem de águas superficiais e subterrâneas. Atualmente a população urbana do Brasil representa 84% do total (IBGE 2010), o que gera grandes pressões sobre as águas superficiais e subterrâneas. Os principais usos múltiplos do Brasil estão representados na Figura 6. O consumo total de água no Brasil é de 986,4 m³/s conforme mostra a figura.



Figura 6: Distribuição das vazões de retirada e consumo para diferentes usos.
Fonte: ANA (2011).

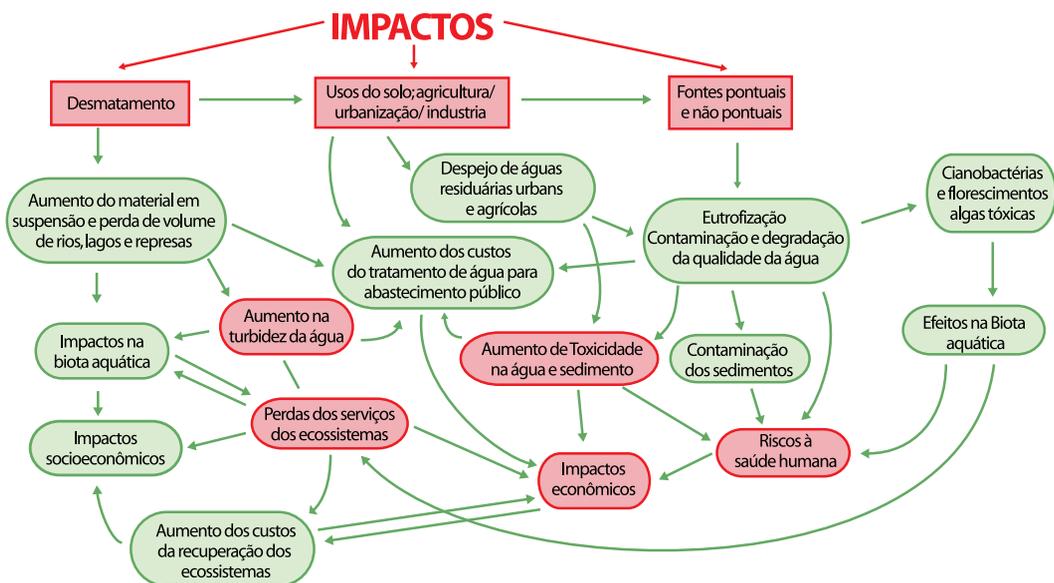
5.3. Usos múltiplos e conflitos decorrentes

Os usos múltiplos das águas superficiais e subterrâneas e o desenvolvimento econômico do Brasil geram conflitos nas seguintes áreas:

- Usos da água na agricultura e suprimento urbano da água. A pressão sobre os recursos hídricos da superfície e a água subterrânea afeta os mananciais de abastecimento para as populações urbanas.
- O suprimento público da água pode ser impactado pelo desenvolvimento do agronegócio e pelos usos múltiplos na indústria, afetando a qualidade da água, a recarga de aquíferos e aumentando os custos de tratamento para a produção de água potável.
- A expansão da disposição de resíduos sólidos do sistema urbano afeta águas superficiais e subterrâneas, impactando a qualidade das águas.
- O aumento da descarga de águas residuárias de populações urbanas (esgoto não tratado) tem enorme impacto sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Atualmente os dados da ANA (2011), indicam que somente 35 % das águas de esgoto no Brasil são tratadas.
- Contaminação por substâncias tóxicas, metais pesados, fertilizantes, pesticidas e herbicidas utilizados na agricultura, é outro fator que impacta a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.
- Construções de reservatórios nas bacias hidrográficas afetam os ciclos hidrológicos, biológicos e os ciclos hidrossociais.
- Há um impacto permanente sobre a saúde humana e a segurança coletiva da população decorrente da contaminação, perda de qualidade e falta de disponibilidade de recursos hídricos.

5.4. Impactos nos recursos hídricos e contaminação

A Fig. 7 resume os principais impactos nas bacias hidrográficas e suas conseqüências nos recursos hídricos, na biodiversidade aquática, nos custos do tratamento e na perda dos serviços dos ecossistemas aquáticos. Como se pode verificar por esta figura há uma cadeia e um conjunto de inter-relações e conseqüências que não só afetam os ecossistemas aquáticos e seus componentes, mas também a economia regional, a saúde humana, a disponibilidade hídrica e a perda de serviços ecossistêmicos. Há efeitos diretos e indiretos dos processos resultantes dos impactos.



Uma listagem dos impactos e suas consequências mostram um diversificado conjunto decorrente dos usos intensivos das bacias hidrográficas, dos usos do solo e da produção de resíduos que contaminam ar, água e solo, águas superficiais e águas subterrâneas. Esta lista de impactos que completa a Fig. 7 tem inúmeras consequências econômicas, sociais, ambientais e gera insegurança coletiva nas populações, problemas de saúde pública e deterioração dos recursos hídricos, aumentando o custo de tratamento da água para melhor potabilidade, e custos elevados na recuperação e proteção das reservas das águas superficiais e subterrâneas (Martinelli et al 2010). Os principais impactos e suas consequências são:

- Desmatamento e erosão do solo.
- Aumento da carga de nitrogênio e fósforo e eutrofização a partir das áreas agrícolas e dos despejos urbanos não tratados.
- Sedimentação de lagos, rios e represas.
- Poluição atmosférica e contaminação do ar, solo e água.
- Alterações da biodiversidade devido à toxicidade.
- Alterações da biodiversidade devido à introdução de espécies exóticas.
- Contaminação da água superficial, do sedimento e das águas subterrâneas por metais tóxicos.
- Acidificação.
- Poluição orgânica (Poluentes Orgânicos Persistentes).
- Remoção e destruição das áreas alagadas.

Fig. 7 - Principais impactos decorrentes das atividades humanas nos recursos hídricos do Brasil. Os principais pontos críticos dos impactos e suas consequências são destacados.

- Degradação de rios (construção de canais, construção de reservatórios, hidrovias).
- Degradação das várzeas.
- Poluição térmica.
- Depleção de estoques pesqueiros.
- Poluição por despejos de combustíveis.
- Despejos de resíduos sólidos industriais.
- Despejos de resíduos sólidos urbanos.
- Despejos de resíduos tóxicos.
- Salinização de reservatórios no Semiárido.
- Aumento de contaminação bacteriana e formação de agregados orgânicos bactéria-argila.
- Aumento da distribuição geográfica e da incidência de doenças de veiculação hídrica.
- Aumento dos riscos à saúde pública e da insegurança coletiva das populações.

Este conjunto de impactos está distribuído em todas as bacias hidrográficas do Brasil, com maior ou menor intensidade, dependendo do adensamento urbano, do volume das atividades industriais e agrícolas. Quatro problemas fundamentais são consequências dos impactos: *o aumento da toxicidade de águas superficiais e subterrâneas e da biota aquática; o aumento dos custos de tratamento de água para produção de água potável; os impactos na saúde humana, gerando mais gastos econômicos com tratamentos e internações; aumento da vulnerabilidade das populações humanas.* A sinergia entre extremos hidrológicos, por exemplo, e os usos excessivos do solo, com diminuição das coberturas vegetais e remoção de áreas alagadas resultaram em desastres urbanos e de áreas periféricas de grandes proporções, causando acidentes com mortes e gerando instabilidade social.

Lacerda & Malm (2008) consideram dois grandes grupos de poluentes que causam danos aos ecossistemas. O primeiro provém de efluentes orgânicos em grandes áreas urbanas, associados ao tratamento inadequado de resíduos sólidos (lixo) e do esgoto sanitário doméstico. A matéria orgânica que contamina rios, estuários, represas e áreas costeiras produz um aumento de DBO e a eutrofização, que promove o crescimento de cianobactérias com cepas tóxicas (Azevedo 2005). A anoxia resultante deste processo afeta organismos aquáticos e também produz metilação de mercúrio ou de outros metais. Grandes capitais do Brasil com densas populações urbanas são áreas em que ocorrem estes processos cujos custos para a saúde pública ainda não

estão inteiramente contabilizados (Marins et al 2002). O outro grupo de poluentes é o de metais tóxicos, poluentes orgânicos e gases de efeito estufa que afetam regiões, resultantes de atividade por longos períodos e podem contaminar a atmosfera (Mastrine et al 1999). A resposta dos ecossistemas naturais à exposição crônica a esses contaminantes ainda é pouco conhecida segundo Lacerda & Malm (2008).

Diferentes atividades antrópicas poluem o ambiente natural com metais. Concentrações tóxicas de metais como Arsênio (As) e Mercúrio (Hg) podem acumular-se na coluna de água, no sedimento e em organismos (Barky et al 2003). A poluição das águas por mercúrio está associada à metilação de sua forma inorgânica Hg^{2+} por bactérias. Através destas rotas biológicas e biogeoquímicas o mercúrio pode acumular-se e sofrer biomagnificação, afetando a cadeia alimentar e o homem após ingestão de organismos aquáticos com elevada concentração do metal nos músculos (Lacerda & Salomons 1998, Lacerda et al 2001, Malm 1998).

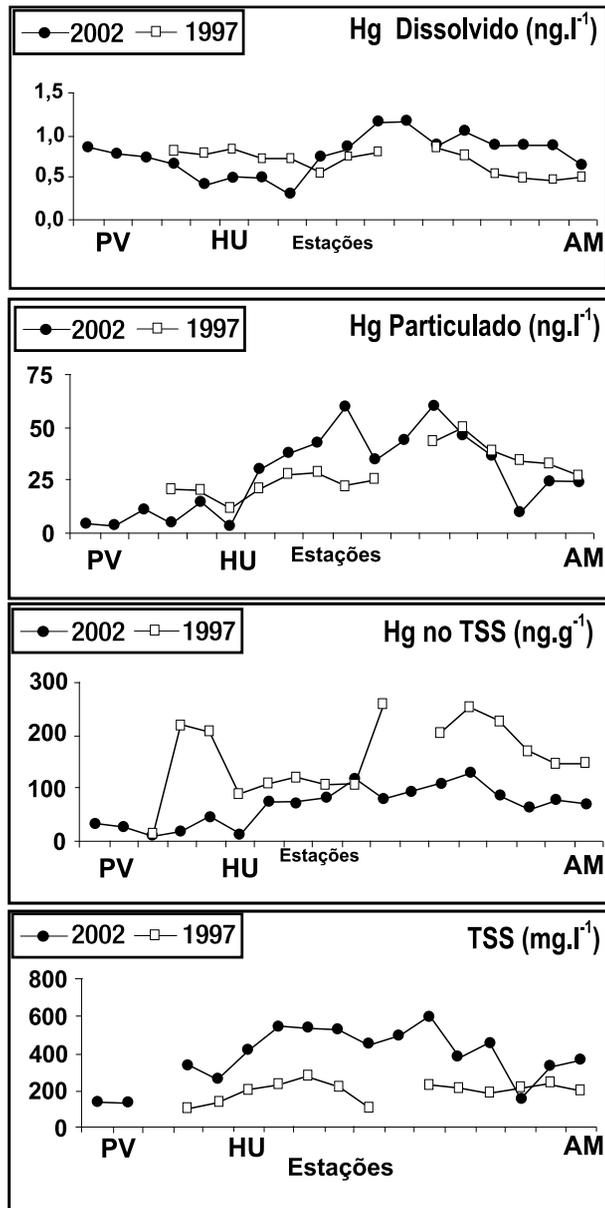
A contaminação de mercúrio em rios amazônicos e na atmosfera, devido a atividades de garimpo (a amalgamação com mercúrio metálico é o processo utilizado na pré-concentração e na extração do ouro), é um exemplo clássico deste processo. Concentrações de mercúrio foram atribuídas à mineração de ouro, à presença de solos com concentrações elevadas de mercúrio de origem natural e transporte atmosférico e deposição de mercúrio de origem antrópica (Malm et al 1990, Lacerda 1995, Pfeiffer & Lacerda 1988, Nriagu 1992, Roulet & Lucotte 1995).

Também a construção de reservatórios no Amazonas oferece condições para fontes adicionais de metilação de mercúrio (Palermo et al 2002, 2004a, 2004b). As combinações dos gradientes de mercúrio nos reservatórios com a mudança do hábito alimentar dos peixes afetam as condições a montante e a jusante da barragem. A Figura 8 ilustra as diferentes concentrações de mercúrio ao longo do rio Madeira.

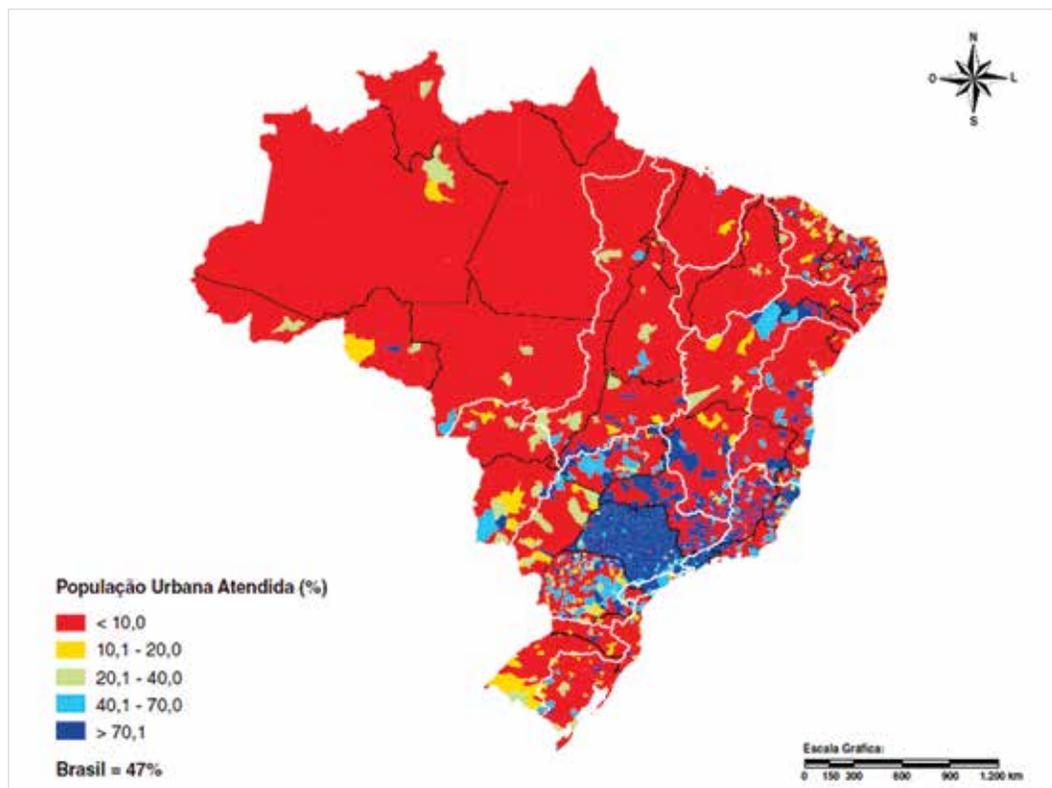
Em vários estuários do Brasil a contaminação por metais, especialmente mercúrio, foi registrada. Os trabalhos realizados na bacia de Sepetiba, Rio de Janeiro, pelo Instituto do Milênio Estuários, mostram que 30% da carga de mercúrio que atinge a bacia de Sepetiba são provenientes das águas do rio Paraíba do Sul (Molisani et al 2007).

A possível exportação de formas biodisponíveis de mercúrio da bacia de Sepetiba para a área adjacente da plataforma continental, discutida por Lacerda & Malm (2008), mostra o contínuo do processo de contaminação que pode ocorrer das bacias hidrográficas continentais para as áreas estuarinas e costeiras (Lacerda et al 2007).

Figura 8 - Concentração de mercúrio dissolvido, mercúrio particulado, mercúrio no material em suspensão e o teor de sólidos em suspensão ao longo do rio Madeira entre Porto Velho (PV), Humaitá (HU) e a foz no rio Amazonas (AM) em 1997 e 2002.
 Fonte: Lacerda & Malm (2008).



A Fig. 9 apresenta as informações sobre o estado do tratamento de esgotos no Brasil, causa de muitos problemas ambientais e de saúde pública, com reflexos econômicos importantes.



Este problema é um dos mais críticos atualmente no Brasil e, sem dúvida é uma das principais prioridades: o tratamento do esgoto doméstico. Uma ação mobilizadora, concertada entre diferentes sistemas - federal, estaduais e municipais - pode avançar muito e encaminhar o país no rumo do desenvolvimento social acelerado com reflexos na saúde humana e nas economias regionais e nacional.

Figura 9. População urbana atendida com coleta e tratamento de esgotos no Brasil. Fonte: ANA (2009).

6. Ecossistemas aquáticos

O Brasil conta, em seu território, com um conjunto extremamente rico e importantíssimo de ecossistemas aquáticos continentais, representado por rios, lagos, represas artificiais, áreas alagadas com grande diversidade morfológica, morfológica e um “capital natural” de grande valor ecológico, econômico e social. Lagos naturais de várzea dos tributários e do rio Amazonas em grandes vales de inundação, grandes deltas internos nos rios Paraná, Paraguai e Uruguai, e lagos temporários nos Lençóis Maranhenses são ecossistemas que representam processos evolutivos entre condições climáticas, químicas, geológicas, físicas e biológicas em complexas interações. Estes ecossistemas distribuídos principalmente nas duas grandes bacias

hidrográficas – Amazonas e bacia da Prata - apresentam uma diversidade biológica que é a expressão destes processos evolutivos e cuja complexidade tem sido estudada, principalmente na área de Limnologia, a qual passou por uma rápida e importante transformação no acúmulo de conhecimento destes ecossistemas no Brasil nos últimos 30 anos (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2008, Esteves et al 2011).

A preservação deste “capital natural” e sua biodiversidade são fundamentais no Brasil devido não só a sua importância no ciclo hidrossocial, mas também a sua situação e localização em regiões tropicais e subtropicais em que processos físicos, químicos, biológicos e fisiológicos interagem de forma ainda não totalmente conhecida cientificamente e que necessitam de investimento em pesquisa e desenvolvimento. A interação entre a climatologia dinâmica da região Amazônica, a base geomorfológica, a biodiversidade e a dinâmica fluvial e as grandes variações espaciais e temporais tem um papel relevante no estabelecimento das relações entre a biodiversidade terrestre e aquática e a base biogeofísica da região Amazônica.

As principais hipóteses que explicam a formação de barreiras que separam populações e causam diferenciações e especiações na Bacia Amazônica são: hipótese dos refúgios de populações; hipótese do isolamento a partir de barreiras formadas por rios; isolamento de bolsões da biodiversidade; isolamento de florestas úmidas das áreas de relevo mais elevado da periferia da Bacia Amazônica; hipótese da heterogeneidade espacial (quanto maior a heterogeneidade espacial maior a biodiversidade); hipótese da perturbação intermediária – alterações frequentes da paisagem com formação de meandros, reorganização de florestas ripárias ao longo dos rios (Salati & Marques 1984, Sioli 1984, Barthem et al 1991, Barthem 1999, Barthem & Goulding 2007, Haffer 2008, Salo et al 1986).

As várias possibilidades da especiação aplicam-se a toda a Bacia Amazônica, e incluem vales de inundação em tributários, rios com meandros e grandes deltas internos. Igualmente importantes como ecossistemas aquáticos e depositários de biodiversidade resultantes de processos evolutivos são as várzeas e os alagadiços do sul do Brasil, as lagoas costeiras situadas em conexão ou próximas a estuários e os estuários com vegetação de mangue (Lacerda et al 2006 e 2008) e as águas temporárias do Semiárido do nordeste do Brasil. Devem ainda ser considerados neste contexto, os lagos permanentes do vale do rio Doce em Minas Gerais (Tundisi & Saijo 1997) e os reservatórios artificiais distribuídos em todo o território nacional que são utilizados para um grande número de funções e que constituem uma importante reserva de águas continentais do Brasil (Agostinho et al 2007).

A biodiversidade dos ecossistemas aquáticos no Brasil é elevada e a sua origem e especiação estão justamente nos diferentes processos evolutivos e

de larga escala temporal e espacial que ocorrem e estão ocorrendo (Caliman et al 2010). O conhecimento científico desta biodiversidade e a sua dinâmica espacial e temporal em sistemas impactados e sistemas preservados tem se desenvolvido de forma intensiva e dinâmica, **mas é necessário investir mais no conhecimento dos processos e da dinâmica desta biodiversidade frente às mudanças climáticas e impactos provenientes das bacias hidrográficas. A valoração dos serviços dos ecossistemas aquáticos para o bem estar humano é tarefa urgente e necessária no Brasil.** A conservação da biodiversidade é fundamental para tratar as características básicas de integridade dos ecossistemas aquáticos (Bicudo & Bicudo 2010). A biodiversidade tem um papel fundamental na manutenção da resiliência dos ecossistemas através dos grupos funcionais de organismos. *Esta biodiversidade dos ecossistemas aquáticos tem sido ameaçada pelos seguintes fatores: eutrofização a partir do uso de fertilizantes na agricultura; descarga de esgotos domésticos não tratados; contaminação por metais tóxicos e substâncias orgânicas como pesticidas e herbicidas; degradação morfológica de rios, lagos e lagoas costeiras; remoção de vegetação ripária; remoção de áreas alagadas; construção de reservatórios; aumento da pesca continental, e invasão de espécies exóticas introduzidas proposital ou acidentalmente (Rocha et al 2005).*

As alterações propostas no Código Florestal Brasileiro podem produzir grandes modificações na qualidade e na quantidade de recursos hídricos. Florestas ripárias e áreas alagadas têm um importante papel na manutenção da qualidade de água, um papel fundamental na recarga dos aquíferos e na reposição de águas para a atmosfera por meio da evapotranspiração. Os serviços ambientais ficam comprometidos com a remoção da vegetação e das várzeas (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2010).

A remoção dos sistemas de transição como as florestas ripárias e as várzeas tem como consequência o comprometimento da dissipação de forças erosivas, perda de funções ecológicas como a proteção da biodiversidade, perda da capacidade de controle das enchentes e de oportunidades de recreação e atividades culturais (Silva et al 2011). O principal foco deve ser o aumento de eficiência da produção agrícola e não o aumento da área plantada.

Quadro I. Espécies invasoras em ecossistemas aquáticos.

A introdução acidental ou planejada de espécies invasoras tem produzido inúmeras alterações no funcionamento dos ecossistemas aquáticos no Brasil (Rocha et al 2005).

A proteção da biodiversidade e a conservação das comunidades naturais são extremamente ameaçadas pela introdução de espécies de outras bacias e de outros continentes. “A introdução de espécies exóticas e a transposição de espécies nativas a outras bacias têm sido uma prática tão disseminada no Brasil que é difícil encontrar uma bacia hidrográfica que não contenha elementos alienígenas” (Rocha et al 2005). A introdução de espécies exóticas de peixes e sua inserção nas represas, lagos e rios envolvem não só uma interação nas redes alimentares, mas têm repercussões econômicas e sociais, pois afetam comunidades pesqueiras e a produção de espécies nativas de peixes e os processos ambientais (Agostinho et al 2005).

A política de aumento da produtividade pesqueira, com a ampliação do fomento por órgãos do Brasil e do exterior, levou à introdução de inúmeras espécies de águas continentais. Com a construção de reservatórios foram introduzidas muitas espécies invasoras de peixes, moluscos e macrófitas aquáticas agravando a situação da biota aquática já modificada pela própria construção dos reservatórios (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2008). Com relação aos peixes, por exemplo, um inventário realizado em 70 reservatórios de bacias do Leste e Sul demonstrou que em 90% deles há pelo menos uma espécie introduzida, sendo as mais frequentes a carpa *Cyprinus carpio*; o tambaqui *Colossoma macropomum*; o tucunaré *Cichla ocellaris*; e a corvina *Plagioscion squamosissimus*. Rocha et al (2005) listam 23 espécies exóticas de peixes introduzidas no Brasil. Estas espécies foram introduzidas com a finalidade de oferecer novas opções à pesca. Como os reservatórios construídos no Brasil eliminaram as espécies nativas devido às transformações ecológicas, produzidas por estes ecossistemas artificiais (Tundisi et al 1988), a substituição por espécies introduzidas de aparente melhor rendimento tornou-se prática corrente.

O caso mais recente e de bastante impacto na biota das águas continentais é a introdução de molusco *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado), que já causou prejuízos de mais de um bilhão de reais a sistemas de abastecimento, reservatórios hidroelétricos e adutoras na bacia da Prata e no Sul do Brasil.

A gestão dessas espécies introduzidas nos ecossistemas de águas interiores é um problema complexo que necessita de monitoramento permanente, ações preventivas para impedir novas introduções, estudos experimentais para controle dessas espécies e ampliação de programas de repovoamento e reintrodução de espécies nativas. Também o estímulo aos estudos básicos com espécies nativas de peixes e moluscos para o seu maior aproveitamento é outra iniciativa importante.

A utilização de modelos matemáticos e ecológicos para simular futuros impactos de invasões biológicas em ecossistemas continentais é outra tecnologia que deve ser desenvolvida.

7. Recursos hídricos e sustentabilidade

7.1. Água e energia

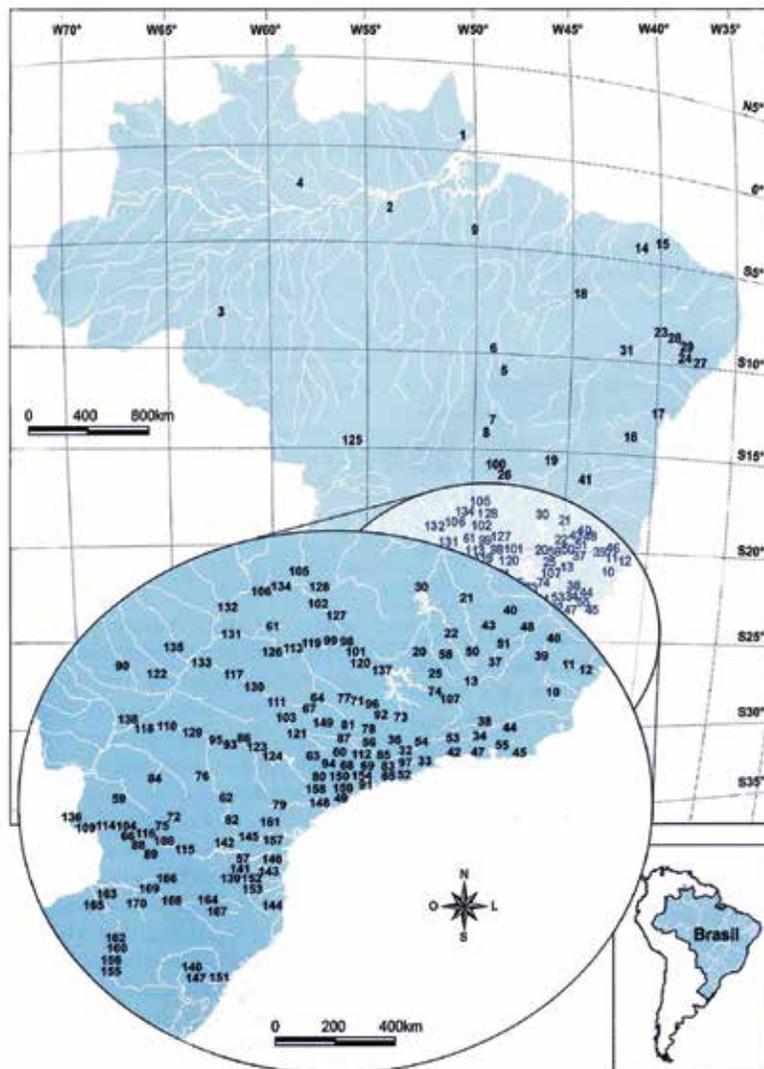
Segundo Kelman et al (2006), o parque hidroelétrico brasileiro é um dos maiores do mundo, tanto em termos absolutos como relativos. Apesar da diversificação das fontes de energia (termoelétrica, eólica e outras) nos últimos anos, 81,7% da produção de energia elétrica no Brasil provêm de geração hidráulica (EPE 2012). Hidroelétricas foram construídas em todos os grandes rios do Sudeste do Brasil e em rios da Amazônia. Há também expansão da construção de PCHs (Pequenas Centrais Hidroelétricas de até 50 megawatts) em muitas regiões do país. Em 2002, as UHE (Usinas Hidrelétricas) no Brasil produziam 313.811 gigawatts, o que representava, à época, 88,8% do total. Embora os dados atuais mostrem uma diversificação na matriz energética com a contribuição das hidroelétricas em 75%, verifica-se que há um aumento na contribuição das termelétricas, para a produção de energia. A Bacia Amazônica representa atualmente o maior potencial hidroelétrico do país. O potencial estimado é de 258.420 MW e apenas 24% desse potencial já foram aproveitados (Fonte EPE 2012).

A Fig. 10 apresenta os principais reservatórios construídos no Brasil, especialmente nas três últimas décadas do século XX.

A construção de hidroelétricas apresenta problemas socioambientais de vulto para alguns empreendimentos, porque dependendo da localização e da dimensão (volume, área inundada), há impactos a montante e a jusante. A própria construção já causa impactos nos sistemas hídricos, nos rios principais e nos tributários e nas bacias hidrográficas. **Entretanto, com estudos acurados e preditivos, os impactos podem ser avaliados e minimizados, tornando o empreendimento sustentável e menos impactante. A própria construção e a engenharia dos reservatórios no Brasil apresentam avanços consideráveis em relação à sustentabilidade e ao futuro gerenciamento destes sistemas artificiais** (Braga et al 1997).

Figura 10. Principais reservatórios construídos no Brasil.

Fonte: Agostinho et al (2007).



É possível sintetizar em quatro principais problemas o impacto da construção das barragens para hidroeletricidade: impacto no fluxo do rio, transformando o ecossistema aquático de lóxico em lântico e alterando as condições essenciais de funcionamento dos sistemas naturais; impactos na biodiversidade aquática e terrestre, na fauna ictíca, nas migrações de peixes, e na distribuição geográfica de organismos aquáticos; impactos na socioeconomia regional, com influências no ciclo hidrossocial e alterações na dinâmica da economia regional, como pesca, navegação, recreação e turismo; e impactos a jusante: os rios a jusante são impactados com alterações da qualidade da água e nos ciclos biogeoquímicos e socioeconômicos.

Porém, a construção de usinas hidroelétricas no Brasil apresenta efeitos positivos: impulso à economia do país; estímulo à geração de emprego e renda local e regional; possibilidades de ampliação dos usos dos recursos

hídricos para navegação, agricultura, turismo e recreação; construção de infraestrutura local e regional: escolas, estações de tratamento de esgoto, estradas, melhoria no sistema de saúde e áreas residenciais com melhor oferta de serviços e saneamento básico adequado. Portanto, a geração hidroelétrica no Brasil, mesmo considerando os impactos, foi positiva para o desenvolvimento econômico e social do país.

Do ponto de vista da pesquisa e do gerenciamento é essencial avançar nos estudos comparados de reservatórios. Tais estudos, já iniciados há bastante tempo (Agostinho et al 2007, Tundisi & Matsumura-Tundisi 2008, Tundisi & Matsumura-Tundisi 2012), são fundamentais para ampliar a base de dados e permitir a interação entre a pesquisa científica básica e o gerenciamento (Tundisi & Straskraba 1999). A engenharia brasileira de barragens já ampliou alguns conceitos fundamentais na construção, com reflexos no funcionamento ecológico e no controle da qualidade da água: menor tempo de retenção (tempo de retenção do reservatório é função de força essencial na gestão da qualidade da água), maior número de aberturas para a saída da água, menor volume e menor área de inundação. Muitos processos operacionais de controle foram incorporados ao sistema da geração de energia elétrica, de forma a conciliar qualidade de água a montante e a jusante (Straskraba et al 1993, Jorgensen et al 2005).

Deve-se ainda considerar que a apropriação dos recursos hídricos para hidroeletricidade no Brasil deve levar em conta a disposição natural dos principais rios e tributários. A localização de represas ou cachoeiras de represas necessita de embasamentos hidrológicos de engenharia e ecológicos, de tal forma que processos vitais como a capacidade evolutiva do sistema sejam preservados conjuntamente com a geração da hidroeletricidade, de forma eficiente e viável. Adicionalmente, os sistemas de operação e gerenciamento dos reservatórios necessitam de insumos científicos - Limnologia, Biologia Aquática, Biogeoquímica - para obter melhor resultado e menor impacto. A conciliação de técnicas de ecoidrologia e ecotecnologias (Straskraba & Tundisi 2008, Jorgensen et al 2012) com as características construtivas é fundamental.

Para os reservatórios estratégicos da Amazônia é vital ampliar-se esta visão. É necessário preservar *in totum* rios da Bacia Amazônica para conservar a capacidade evolutiva do sistema e proteger a megadiversidade aquática e terrestre nesta bacia (Tundisi 2007a, Tundisi et al 2013).

Quanto à emissão de gases de efeito estufa, estudos em andamento (Correa et al. 2011) demonstram que esta emissão se encontra abaixo daquelas emitidas por termoeletricas utilizadas para a geração de energia elétrica (Abe et al 2009), a não ser em alguns casos excepcionais em represas da Amazônia (Santos & Rosa, Kemenes et al 2007).

7.2. Recursos hídricos e a indústria mineral

A mineração no Brasil está concentrada em regiões de elevada demanda hídrica como o Sudeste. A indústria mineral tem um importante papel econômico no Brasil e em certos estados como Minas Gerais, representa aproximadamente 55% do produto interno bruto. As múltiplas interfaces da mineração com as bacias hidrográficas, com áreas urbanas e protegidas, tornam a gestão ambiental dos recursos hídricos voltados para a mineração cada vez mais complexa.

Ao contrário de outros países, como Chile e Peru, onde a mineração é realizada em regiões com baixa densidade populacional e pouca disponibilidade hídrica, no Brasil as atividades mais extensas de mineração estão justamente concentradas em regiões onde a demanda hídrica é maior e onde, como já mencionado, ocorre elevada concentração urbana. A este problema soma-se o fato que a mineração, que aproveita atualmente minérios cada vez mais complexos e de mais baixos teores, necessita ampliar escalas, reduzir custos e logística. A intervenção pontual passa a ter, portanto, uma “dimensão territorial” (Ciminelli 2010).

A atividade de mineração tem uma relação estreita com a quantidade e qualidade da água, pois água é o insumo principal para a indústria, seja no tratamento de minérios ou na produção de resíduos que impactam águas superficiais e subterrâneas. A água é, portanto, um fio condutor extremamente importante para a busca de inovações que promovam melhor gestão e controle das áreas de mineração, uma melhor capacitação de pesquisadores, gerentes e técnicos com alta tecnologia e visão sistêmica, e avanços científicos básicos para aplicação no crescimento regional sustentável (Fig. 11).

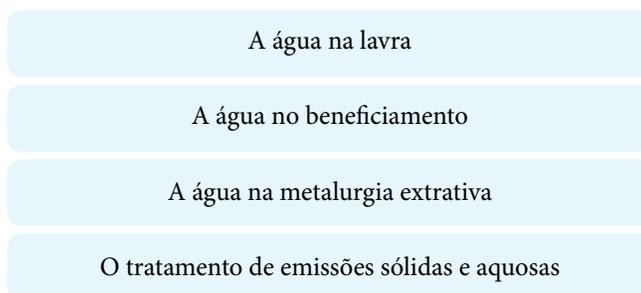


Figura 11. Usos da água na indústria mineral.

Fonte: Ciminelli & Barbosa (2008).

Um dos problemas que deve ser considerado na visão avançada da gestão ambiental de recursos hídricos para a mineração é a determinação do impacto da mineração não só pontualmente, mas além das fronteiras físicas do empreendimento. Há contaminantes de outras fontes e origens, como

resíduos de esgotos não tratados de áreas urbanas e fontes não pontuais de áreas agrícolas e industriais de vários tipos. Há forte necessidade de expandir a base de dados para avaliar a qualidade da água e compreender de forma mais avançada os fatores físicos e químicos que levam à biodisponibilidade de metais. A avaliação de bioindicadores deve provir dos estudos regionais de biodiversidade em comparação de áreas prístinas com áreas impactadas pela mineração (Ciminelli & Barbosa 2008). O uso intensivo de água em mineração e metalurgia é uma das características desta atividade e vai desde a fase inicial de pesquisa até o processamento e a produção de metal. Resíduos de rejeitos do processamento e da mineração podem impactar recursos hídricos superficiais e subterrâneos (Ciminelli 2010).

A outra questão a respeito da mineração é a da utilização do diferencial mineral para estabelecer uma nova etapa de desenvolvimento econômico e de sustentabilidade a partir da gestão territorial; ou seja, a proposta é não atuar na remediação após o impacto, mas antecipar impactos, integrar gestão de recursos hídricos com pesquisa e desenvolvimento, e conciliar a mineração com a conservação de recursos naturais e o gerenciamento integrado de recursos hídricos. Usos mais eficientes de recursos hídricos que reduzam o consumo especificamente na mineração, tratamento de resíduos, e redução de volume e carga de efluentes de mineração são avanços necessários e estratégicos que dependem da inovação, da pesquisa e da gestão integrada de recursos naturais (INCT 2010).

7.3. Recursos hídricos, produção de alimentos e indústria, transportes

O aumento da população mundial implicará no aumento da produção e do consumo de alimentos. Competição intensa por áreas de agricultura, por água e por energia continuará a provocar estresse hídrico em muitas regiões. Os efeitos das mudanças climáticas produzem outras ameaças de grande impacto. (Goodfray et al 2010). Mundialmente o principal uso consuntivo da água ocorre na agricultura e pecuária. No Brasil, o último relatório de conjuntura da ANA (2011) indica que 70% da água é destinada à agricultura. Em bacias hidrográficas onde há uso intensivo de água para a produção agrícola e pecuária há um conflito permanente com o abastecimento público, pois o desmatamento e a agricultura intensiva diminuem a quantidade de água e poluem os mananciais (D'Alkmin & Domingues 2006, Telles & Domingues 2006).

Grande parte da água utilizada na agricultura é destinada à irrigação. Atualmente a irrigação é praticada em 17% das áreas do planeta produzindo 40% dos alimentos (Folegatti et al 2010).

A área irrigada no Brasil é de 3,4 milhões de hectares (Cristophidis 2006), sendo que 2,2 milhões de hectares são irrigados por sistemas pressurizados. O potencial de áreas irrigáveis no Brasil é de 22 a 30 milhões de hectares e, nos próximos 10 anos, estima-se que a produção de cana-de-açúcar aumente para 12 milhões de hectares, impulsionando a irrigação.

O Brasil ocupa uma posição mundial estratégica quanto à produção de alimentos porque, além de possuir grandes extensões de áreas cultiváveis e condições climáticas favoráveis, tem boa distribuição de recursos hídricos superficiais e subterrâneos para esta finalidade. O aumento mundial na produção de alimentos deve contar, decisivamente, com uma maior participação do Brasil (grãos, carnes, biocombustíveis, frutas) graças ao aumento da produção, melhor tecnologia e competente trabalho básico de pesquisa e desenvolvimento nesta área, realizado principalmente pela EMBRAPA (Folegatti et al 2010).

O uso da água como insumo, para o aumento e a diversificação da produção agrícola, será fundamental nos próximos 25 anos. A pesquisa científica e sua aplicação na produção de alimentos tem os seguintes desafios:

- Práticas de conservação e racionalização do uso de água na agricultura e melhoria de eficiência no uso de água. Ampliação dos investimentos em pesquisa e tecnologia na irrigação localizada, principalmente gotejamento e microaspersão e no reúso da água na agricultura.
- Eliminação de desperdícios e práticas e tecnologias de reúso de água com controle das perdas na irrigação.
- Controle e eliminação de efluentes com carga orgânica elevada.
- Certificação do uso sustentável de água no Brasil e regulamentação de uso da água por órgãos federais e estaduais.
- Estímulo e desenvolvimento de práticas como a de Produtor de Água para a conservação de mananciais estratégicos em áreas de agricultura intensiva (Guarani 2011).
- Controle, estimativa e redução dos impactos da agricultura nos recursos hídricos: desmatamento, poluição e contaminação de águas superficiais e subterrâneas, rebaixamento dos lençóis freáticos e salinização, disseminação de doenças de veiculação hídrica, arbitragem e resolução de conflitos entre a produção agrícola, industrial e o abastecimento público.
- **O aumento de investimento em pesquisas relacionadas com o estudo e aplicação de organismos geneticamente modificados (por exemplo, resistência à seca e tolerância à salinização, produção de animais imunes a doenças). A biotecnologia pode produzir plantas para ração animal que aumentam a eficiência na produção animal e diminuem a produção de metano (Goodfray 2010).**

O setor industrial segundo Silva & Kulay (2006) é responsável por 22% do uso mundial da água. A água na indústria pode ser utilizada como matéria prima ou ter uso auxiliar. Setores industriais que utilizam água em volume significativo e que geram efluentes potencialmente poluentes são: indústrias têxteis, curtumes, papel e celulose, açúcar e álcool, cervejarias, laticínios, ferro e aço, galvanoplastia, detergentes. O monitoramento e o tratamento específico destes efluentes, o acompanhamento da possível poluição decorrente e a mensuração dos efeitos do tratamento são fundamentais para o controle da qualidade das águas subterrâneas e superficiais.

Na indústria a água tem muitas aplicações: como matéria prima e reagente para obtenção de hidrogênio, ácido sulfúrico, ácido nítrico, soda e em muitas reações de hidratação e hidrólise; como solvente para substâncias sólidas, líquidas e gasosas; utilização para lavagem de gases e sólidos; retenção das matérias que estão em misturas com esses estados; veículo de suspensão de materiais em fase sólida; em várias operações a água é utilizada para transmissão de calor: resfriamento e aquecimento térmico ou como fonte de energia utilizando vapor d'água (Silva & Kulay 2006).

Para utilização industrial é necessário, em muitos casos, tratar as águas naturais visando ao atendimento das especificações para cada tipo de uso na indústria. Além dos tratamentos convencionais como aeração, pré-cloração ou decantação e fluoração, há métodos específicos para correção da limpeza, remoção de gases e tratamentos físicos, além da separação por membranas e ultrafiltração.

Todo este conjunto de tratamentos e sua especificidade implicam em custos industriais. Deve-se ainda acrescentar que a disponibilidade da água e seus usos competitivos é outro fator importante na atividade industrial; e a produção de efluentes com diferentes níveis de carga orgânica e inorgânica é outro componente fundamental. Para contornar as dificuldades de uso da água, com suas consequências econômicas e ambientais, a indústria investe, atualmente, em ações e tecnologias para o reúso da água e o reaproveitamento de efluentes domésticos. **O reúso da água na indústria envolve um conjunto de tecnologias, e pode apresentar benefícios econômicos e ambientais de vulto (Hespanhol 2010), ampliando oportunidades de negócios e gerando empregos.**

A compra de efluentes tratados, oferta das companhias de saneamento, a denominada “água de utilidades”, é uma alternativa ambiental e economicamente viável. O custo da água para a indústria na região metropolitana de São Paulo que é de R\$ 9,69 por metro cúbico, cai para R\$ 2,00 aproximadamente na “água de utilidades” (Hespanhol 2010). Programas de reúso podem ser instalados em estações de tratamento de esgoto, situadas perto de zonas industriais.

No contexto agricultura, indústria e transporte, deve-se considerar a extensa capacidade hidroviária do Brasil, que pode ser uma importante alternativa econômica em muitas regiões. A Figura 12 mostra a extensão total das vias navegáveis, que é de 28.832 km. Articulado com programas de proteção e recuperação de rios, adaptando embarcações às condições de navegabilidade, com monitoramento permanente e em tempo real, o sistema de navegação fluvial do Brasil pode dar um salto econômico e de qualidade fundamental para o desenvolvimento do país.

No contexto da produção de alimentos deve-se considerar a “água virtual”, que é a água utilizada para a produção agrícola e que é exportada com o alimento. Estimativas da “água virtual” no Brasil necessitam de aprofundamento e avaliação quantitativa. É necessário estabelecer o balanço entre água virtual exportada e água virtual importada pelo Brasil, com uma avaliação econômica deste processo.

Figura 12. Principais hidroviárias do Brasil.



7.4. Recursos hídricos e economia

A economia de países, regiões e continentes é impulsionada e regulada pela disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas. A água é fundamental para a produção de alimentos, para a produção de energia e para o abastecimento público nas áreas urbanas e rurais. Isto deve envolver quantidade e qualidade. Água contaminada e poluída causa impactos econômicos devido à disponibilidade para os usos múltiplos e ao aumento da distribuição e incidência de doenças de veiculação hídrica, o que se traduz em mortalidade e intervenções hospitalares.

Com relação à importância da água nas economias de países, regiões e continentes, Lanna (1995) lista as seguintes funções:

Função de produção e consumo: quando é usada como bem de consumo final ou intermediário. Por exemplo: água para consumo humano e animal, e para produção de alimentos (irrigação).

Função de suporte: quando a disponibilidade de água cria condições para a manutenção da biodiversidade, e quando do uso na atividade agrícola ou como meio de transporte.

Função de regulação: quando neutraliza ou absorve resíduos, depura resíduos, ou dilui substâncias tóxicas.

Função de informação: quando a água serve como indicador do estado de preservação ou degradação de uma bacia hidrográfica. Todas estas funções têm componentes econômicos conhecidos e mensuráveis.

Além da importância econômica da água no sistema produtivo, e como insumo para o bem-estar e a segurança coletiva da população (Lanna & Braga 2006, Tundisi & Matsumura-Tundisi 2011), deve-se considerar a seguinte questão: qual o valor econômico da água? Água é uma commodity e pode ser analisada utilizando-se conceitualmente a abordagem econômica como outra commodity qualquer? Um dos quatro princípios adotados em 1992 na Conferência Internacional de Dublin sobre Água e Meio Ambiente enfatiza que “água tem um valor econômico em todos os usos competitivos e deveria ser reconhecida como um bem econômico”. Controvérsias sobre estes princípios foram apresentadas por Barlow & Clarke (2002), que afirmam que “a água doce pertence a todas as espécies da Terra e, portanto, não pode ser tratada como qualquer outra commodity, não podendo ser vendida, comprada ou considerada para lucro”. Para Shiva (2002) e Aguirre (2006) existem duas visões culturais: uma em que água é considerada como um valor para todas as espécies e para a manutenção da vida no planeta

Terra e outra em que a água é tratada como commodity sujeita a comércio, sendo um insumo fundamental para direitos corporativos.

No Brasil inicia-se, atualmente, uma discussão mais profunda sobre o problema: há uma consideração econômica que deve ser feita quanto à produção e à distribuição de água potável. A intensidade de capital e a economia de escala associadas com o suprimento de água têm profundas implicações econômicas e sociais.

As questões sobre tratamento, distribuição e controle na distribuição, que têm valor econômico, pois exigem infraestrutura adequada e de grande porte, devem ter também impacto no preço da água, que reflete o custo do suprimento físico e não o valor de escassez. A descentralização da gestão de bacias hidrográficas e o acesso universal à água são importantes do ponto de vista econômico. Gleick (1999) considera que 50 litros/pessoa/dia é o suprimento mínimo necessário. A organização de fundos para tratamento de água e do esgoto e a cobrança pelos usos da água (Hartman 2010) são temas de discussão e em aplicação em algumas regiões, que deverão ser tratados nos próximos anos, pela pesquisa, pelo gerenciamento e pelos órgãos gestores nacionais (Agencia Nacional das Águas, Ministério do Meio Ambiente, e Secretarias Estaduais de Recursos Hídricos).

7.5. Recursos hídricos e urbanização

A urbanização é uma tendência mundial e atualmente mais da metade dos 7 bilhões de habitantes do planeta Terra ocupam áreas urbanas e regiões metropolitanas. Segundo Tucci (2010), em 2050 aproximadamente 70% da população humana estará distribuída em áreas urbanas e em extensas regiões metropolitanas. Nas regiões mais desenvolvidas esta concentração pode chegar a 86%. Em 2012 as megacidades eram 26 (<http://www.city-infos.com/world-megacities/>) e o número de cidades com mais de 1 milhão de habitantes estava acima de 400.

A urbanização implica em amplas alterações econômicas, sociais e ambientais. A economia passa a ser de centros de produção e serviços, empresas e milhões de pessoas empregadas e dependendo de transporte, suprimento de energia, alimento e disponibilidade de água (Mc Granahan & Marcotulio 2005). O crescimento da área urbana implica em um aumento da região de vilas e favelas adjacentes, conforme demonstrado em muitos estudos e projetos (Tucci 2010). Segundo Tucci (2010), os principais problemas decorrentes do impacto da urbanização nos recursos hídricos são os seguintes:

- Utilização de múltiplas fontes de águas superficiais e subterrâneas;
- Aumento de áreas impermeáveis e de canalizações com reflexos nas drenagens, picos de cheia, e produção de sedimentos e resíduos sólidos;
- Aumento da poluição e contaminação pelo grande volume de resíduos não tratados (esgotos domésticos, resíduos industriais);
- Ocupação de mananciais e aumento do risco de degradação e contaminação das fontes de água superficiais e subterrâneas;
- Aumento de resíduos sólidos nos rios urbanos, descarte inadequado de resíduos sólidos a céu aberto (lixões) e contaminação via chorume das águas superficiais e subterrâneas;
- Eutrofização de águas superficiais e subterrâneas, contaminação por toxinas de cianobactérias;
- Rebaixamento do solo devido à extração de águas subterrâneas;
- Agravamento das condições de contaminação durante enchentes, devido à inundação e à mistura de águas de drenagem e pluviais com águas de esgotos domésticos não tratados e resíduos industriais. A figura 13 mostra o ciclo de contaminação das águas urbanas.

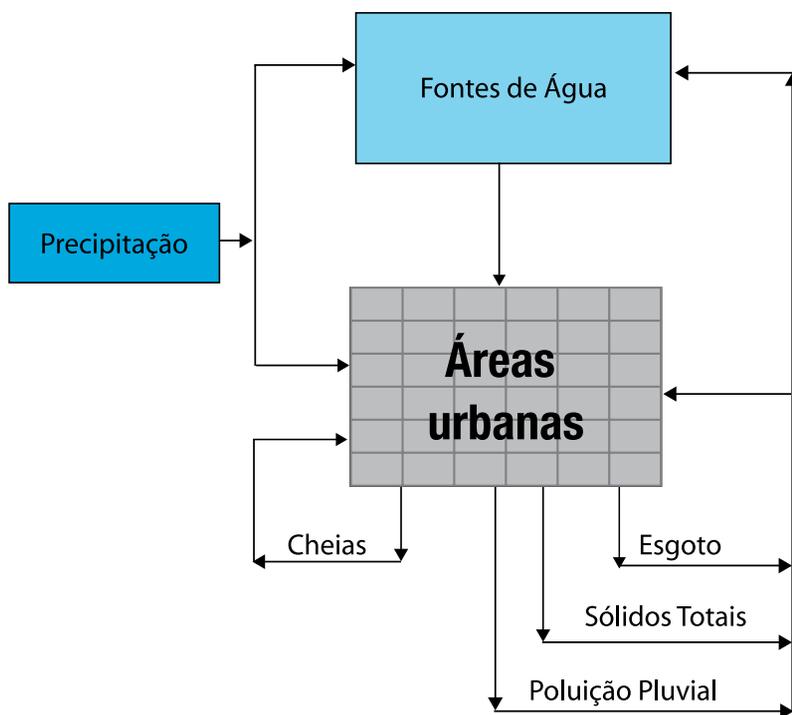


Figura 13. O ciclo de contaminação em águas urbanas.
Fonte: Tucci (2010).

Todo esse conjunto de fatores, atuando simultaneamente, é uma fonte de riscos, aumentando a vulnerabilidade das populações urbanas. Os principais riscos são:

Saúde da população – disseminação de doenças de veiculação hídrica como dengue, diarreia, hepatite, cólera e leptospirose; contaminação das fontes de abastecimento e dos mananciais.

Inundações – em muitas áreas de risco aumenta a vulnerabilidade da população urbana às inundações com problemas econômicos e sociais.

Custo do tratamento – em regiões urbanas deterioradas o custo do tratamento da água dos mananciais pode ser até 20 vezes maior do que em áreas protegidas (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2010).

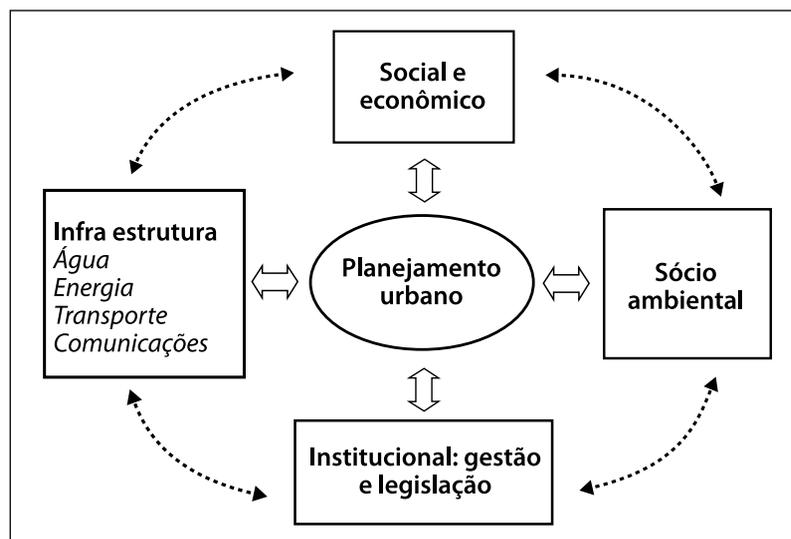
Deterioração da cobertura vegetal e deterioração ambiental - A remoção da vegetação em áreas urbanas e a ausência de vegetação aumentam a erosão, o transporte de sedimentos e de metais tóxicos; a deterioração de águas superficiais e subterrâneas, devido a despejos de resíduos sólidos sem tratamento, aumenta a vulnerabilidade das fontes de recursos hídricos para a área urbana.

Um dos fatores mais importantes do problema e da interferência da urbanização nos recursos hídricos com reflexos sociais é a perda do ciclo hidrossocial, ou seja, a incapacidade da população urbana de utilizar como referência rios urbanos, águas superficiais (lagos e represas) para recreação, lazer ou até mesmo abastecimento público (Tucci 2007).

A revitalização de recursos hídricos urbanos degradados é, portanto, uma iniciativa relevante de articulação de governos municipais, estaduais e federal. A gestão integrada das águas urbanas baseia-se, segundo Tucci (2010), nos seguintes componentes, apresentados na Fig 14.

Figura 14. Estrutura da gestão integrada em áreas urbanas.

Fonte: Tucci (2010).



Segundo este mesmo autor, Tucci (2008), as deficiências na gestão de recursos hídricos nas áreas urbanas do Brasil estão relacionadas com a gestão setorial e não integrada com planos de bacia e sub-bacias, e com uma concepção inadequada para o planejamento e controle dos sistemas. A falta de visão integrada por parte dos gestores apoia-se somente em soluções estruturais que alteram o ambiente e introduzem outros impactos e a visão setorial limitada impede uma ação mais efetiva e criativa como a recomendada e implementada por Zalewski et al (2004) para áreas urbanas – ecoidrologia e ecotecnologia (Straskraba & Tundisi 1999). **Por exemplo, a construção de parques lineares, a proteção de áreas alagadas em regiões urbanas e a vegetação extensa podem ser fatores efetivos de controle da qualidade e da quantidade de água em regiões urbanas.**

A falta de capacidade gerencial em áreas urbanas deve ser considerada outro problema fundamental na gestão: a maioria dos municípios não possui estrutura para o planejamento e o gerenciamento dos complexos processos dos recursos hídricos nas áreas urbanas. O resultado disto é a falta de articulação entre os planos diretores dos municípios e o planejamento e gestão de recursos hídricos (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2011).

Para resolver estes problemas de gestão de recursos hídricos nas áreas urbanas, Tucci (2003), Tucci & Mendes (2006), Tucci (2008) e Tucci (2010) propõem as seguintes medidas:

- Investimentos no Programa Nacional de Águas Pluviais para controle de drenagem e de impactos de inundação nas cidades, da ordem de R\$ 21,5 bilhões em 24 anos.
- Investimentos de R\$ 16 bilhões/ano em água, esgoto e drenagem para obter resultados em um horizonte de vinte anos. Estes números, segundo Tucci (2010) são resultados de estudos e avaliações provenientes de diagnósticos de situações de risco para as regiões urbanas e metropolitanas no Brasil. Deve-se ainda considerar o investimento necessário em capacitação em gestão de recursos hídricos (desde técnicos do nível médio para o controle ambiental até tomadores de decisão e gerentes).

Segundo Tucci (2008), a evolução da cobertura de serviços é inferior ao crescimento habitacional do Brasil, o que leva a um aumento do déficit. **Há necessidade, portanto, de avanços conceituais (gestão integrada e por sub-bacias), avanços tecnológicos, novas possibilidades e perspectivas e alternativas tecnológicas na gestão, avanços institucionais (integração de agências e sistemas de saneamento, tratamento e fiscalização), e problemas econômico-financeiros.** Os avanços conceituais na gestão deveriam ser principalmente voltados para a gestão integrada de recursos hídricos (águas atmosféricas, águas superficiais, águas subterrâneas) e

gestão integrada de usos múltiplos. No tocante aos avanços tecnológicos, torna-se urgente a criação de redes hidrometeorológicas de monitoramento e elaboração de banco de dados. Há necessidade, no plano municipal e das regiões metropolitanas, da integração de agências e sistemas de saneamento, tratamento de água e esgoto, fiscalização e vigilância sanitária e ambiental. Finalmente, muitos municípios e regiões metropolitanas têm problemas econômico-financeiros na gestão das águas representados pelas perdas na rede, consumo de energia elétrica para bombeamento de água muito elevado, e manutenção da infraestrutura. **A integração das metas de gestão de recursos hídricos e de saneamento ambiental é necessária para compatibilizar os avanços gerenciais e os novos paradigmas propostos pela Lei das Águas de 1997 com os investimentos e os desenvolvimentos tecnológicos no saneamento.** Neste tópico, um dos mais importantes aspectos do problema é uma maior integração entre pesquisa e gerenciamento (Tucci & Braga 2003, Tucci 2008).

7.6. Ciência, tecnologia e inovação: necessidades estratégicas

A base de informações e o avanço do conhecimento são fundamentais para promover as estratégias de gestão de recursos hídricos e dar condições para projeções no futuro e para a elaboração de cenários alternativos. Além dos estudos quantitativos (hidrologia, modelagem de fenômenos e processos climatológicos) e qualitativos (como a descrição dos ecossistemas aquáticos e da biodiversidade aquática) (Esteves et al 2011) já existentes, é necessário avançar no estudo de processos dinâmicos e das interações Climatologia - Hidrologia - Limnologia (física, química e biológica) para melhor compreender a situação atual (impactos e funcionamento de regiões prístinas) e projetar o futuro. A inclusão de ciência, tecnologia e inovação no planejamento de bacias hidrográficas é um fator importante no desenvolvimento econômico (Institut de France 2006, Tundisi & Matsumura-Tundisi 2008). Os estudos sobre o valor econômico da água, sua importância no ciclo hidrossocial, e o “valor natural” dos recursos hídricos, além da valoração dos serviços ambientais dos ecossistemas aquáticos continentais e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, devem adicionar novos e importantes conceitos sobre o estado dos recursos hídricos e a infraestrutura dos recursos hídricos. A ausência do saneamento básico e a falta de tratamento de esgotos de origem doméstica, além da poluição industrial, interferem nos ciclos naturais de rios, lagos e represas. O desmatamento aumenta a erosão e a sedimentação, diminuindo o volume de água disponível em rios, lagos e represas, interrompe e modifica ciclos biogeoquímicos naturais, altera a sucessão das comunidades terrestres e aquáticas e acelera o transporte de substâncias e elementos tóxicos para os sistemas aquáticos, aumentando a vulnerabilidade destes devido à

degradação da qualidade da água. Os custos do tratamento de água podem aumentar dez vezes se houver áreas desmatadas nos mananciais. Do ponto de vista científico e das aplicações tecnológicas, são cinco as necessidades fundamentais para investimento futuro:

- Aprofundar o conhecimento sobre eutrofização e seu impacto nos ecossistemas aquáticos, flora e fauna aquática; estes estudos devem incluir a evolução dos processos físicos, químicos e biológicos;
- Avançar o conhecimento sobre ecotoxicidade, determinar e implantar novas metodologias para ampliar a base de informações sobre efeitos de substâncias tóxicas nos organismos e na saúde humana; desenvolver estudos sobre cianotoxicidade e seus efeitos. Aprofundar o estudo sobre bioindicadores para sua utilização em âmbito regional (Confalonieri et al 2010);
- Aprofundar os estudos sobre espécies invasoras nos ecossistemas aquáticos e impactos em redes alimentares e na biota aquática;
- Implantar e desenvolver laboratórios para estudos de poluentes orgânicos persistentes e seus impactos nos organismos e na saúde humana;
- Para enfrentar o problema dos impactos das mudanças globais nos recursos hídricos, deve-se implantar e desenvolver modelos matemáticos de última geração com a finalidade de produzir cenários adaptativos e alternativos.

A emissão de gases do efeito estufa em lagos, represas, áreas alagadas, ecossistemas aquáticos eutróficos e oligotróficos é outra relevante necessidade de pesquisa e desenvolvimento (Abe et al 2009, Santos et al 2009).

O monitoramento de recursos hídricos necessita de forte base científica e tecnológica, deve avançar conceitualmente como um sistema de informação, e o monitoramento conjunto e contínuo de águas superficiais e subterrâneas deve ter prioridade especialmente nas bacias mais impactadas. A aplicação dos conceitos de ecologia e ecotecnologia com estímulo a “bancos de inovação” para a gestão de recursos hídricos é outro processo estratégico.

A bacia hidrográfica fornece uma base biogeofisiográfica relevante para estudos integrados e para a gestão de recursos hídricos. A inclusão de bacias experimentais nos projetos de pesquisa das universidades e institutos de pesquisa é outro avanço necessário para aprofundar a inserção de ciência, tecnologia e inovação no planejamento e no gerenciamento de águas superficiais e subterrâneas. A integração entre ciência, tecnologia e desenvolvimento humano no nível de bacias hidrográficas é fundamental.

O desenvolvimento de metodologias adequadas para compreender as interações entre bacias hidrográficas, lagos, rios, represas e áreas alagadas é uma prioridade fundamental em pesquisa e desenvolvimento. Acoplar estudos de usos do solo, toxicidade e qualidade da água mediante monitoramentos intensivos é prioridade em todo o país. Também é fundamental avançar decisivamente em tecnologias para despoluição e descontaminação de solos, águas e sedimentos impactados por metais pesados e substâncias tóxicas orgânicas.

Avanços significativos podem ser promovidos com o uso das séries históricas de monitoramento e a elaboração de modelos preditivos para antecipar novas ações (Tundisi & Matsumura Tundisi 2010).

7.7. Interações entre recursos hídricos continentais e águas costeiras

A concentração da população brasileira nas regiões urbanas e metropolitanas, situadas preponderantemente nas áreas costeiras ou próximas a estas, resultou em uma contaminação do ar, solo e água em uma escala de grande porte e, conseqüentemente, estuários, bacias e águas costeiras apresentam altos índices de poluição. Eutrofização de águas costeiras no Ceará foi descrita por Lacerda et al (2008) que demonstraram que fósforo e nitrogênio de fontes antropocêntricas, provenientes de drenagem urbana, são a sua causa principal.

Depósitos de resíduos sólidos no continente podem resultar em contaminação de rios e águas subterrâneas que impactam com metais tóxicos as águas costeiras e sedimentos. A utilização de estuários e águas costeiras para aquicultura é outro processo que impacta estes ecossistemas e a sua proteção e recuperação é fundamental para o Brasil, com seus 8.000 km de costa, utilizada para pesca, recreação, turismo e aquicultura. Há atividades artesanais de pesca e de extração de crustáceos, especialmente em regiões de mangue, que necessitam proteção. Regiões costeiras e estuários são também utilizados intensivamente para recreação e turismo, sendo importantes fontes de renda para regiões, como o Nordeste e o Sul do Brasil.

A proteção e recuperação de manguezais em toda a costa é outra atividade fundamental que deve ser incrementada. Regiões de mangue são sistemas-tampão; são ecótonos de relevante papel quantitativo e qualitativo na biodiversidade marinha e sua proteção e recuperação irão promover estabilização da costa e proteger ciclos biogeoquímicos naturais (Seeliger et al 1997, Tundisi & Matsumura-Tundisi 2001).

8. Água e saúde humana

A água é essencial para a sobrevivência de todos os organismos vivos. Seja no que se refere à saúde humana seja no que diz respeito ao funcionamento dos ecossistemas, a qualidade e a quantidade de água têm um papel fundamental. No planeta Terra ocorrem 4 bilhões de episódios anuais de diarreia, 90% destes casos podendo ser atribuídos a deficiências no saneamento básico e ao acesso precário à água de boa qualidade (Confalonieri et al 2010). Quantidade e qualidade de água dependem dos usos e do estado de degradação das bacias hidrográficas. A emergência de surtos de cólera nas regiões periféricas de grandes cidades é também considerada consequência da ausência de saneamento básico e de investimentos adequados no tratamento de água. Águas superficiais e subterrâneas podem ser infectadas por uma variedade de patógenos. Coliformes fecais em águas de superfície aumentam em regiões mais próximas de grandes concentrações humanas como consequência da falta de tratamento do esgoto doméstico. No total, 2,5 bilhões de pessoas no planeta ainda não têm acesso a condições adequadas de saneamento (UNICEF/WHO 2012).

O tratamento eficiente de recursos hídricos pode reduzir contaminantes microbianos da água a níveis seguros, aumentando a segurança coletiva das populações e melhorando a saúde humana e, indiretamente, a sustentabilidade dos ecossistemas. Há outras atividades que afetam as águas superficiais e subterrâneas, a saúde humana e o funcionamento dos ecossistemas: a presença de metais tóxicos como mercúrio, chumbo e cádmio. A bioacumulação destes metais nos organismos e na água pode afetar a saúde humana e os ecossistemas aquáticos. Poluentes orgânicos persistentes (POPs) dissolvidos - que são substâncias farmacêuticas, antibióticos, pesticidas, herbicidas, moléculas orgânicas de várias origens industriais e agrícolas - também podem afetar a saúde humana (UNESCO/UNEP 2008). ***A detecção destes poluentes orgânicos persistentes nas águas superficiais é uma das prioridades fundamentais na pesquisa sobre recursos hídricos, mundialmente e no Brasil.***

Apesar de ser amplamente reconhecida a importância das viroses de veiculação hídrica para a saúde pública, a análise virológica da água ainda não faz parte da rotina de monitoramento de mananciais de captação da água para abastecimento no Brasil. Esta contaminação dos mananciais constitui um risco importante para a saúde humana, com maior risco para patógenos emergentes, resistentes aos sistemas de tratamento convencional. Os vírus entéricos compõem um grupo heterogêneo de agentes de diversas famílias virais (adenovírus, rotavírus, enterovírus, vírus das hepatites A e E, norovírus) (Spilk 2010, Vecchia 2012).

O risco de transmissão de doenças infectocontagiosas via oral aumenta muito em função de inundações e extremos hidrológicos que favorecem o transporte e a disseminação de patógenos. Os fenômenos extremos, consequências das mudanças globais, são causa da emergência e reemergência de doenças infecciosas com origem na água. O aumento das temperaturas, por exemplo, favorece a reprodução de insetos vetores que transmitem as doenças de veiculação hídrica. O fenômeno El Niño/Southern Oscillations – ENSO – aumenta o risco de transmissão de várias doenças, como por exemplo, as epidemias de dengue, registradas em mais de cem países, com 50 a 100 milhões de casos por ano, que podem ser atribuídas aos extremos hidrológicos e às mudanças climáticas. A inter-relação de ENSO e a incidência de cólera foi bem estabelecida em Bangladesh. Epidemias de hepatite E registradas no sul dos Estados Unidos, relacionadas com inundações, são claramente dependentes destes extremos hidrológicos.

O aumento da proliferação de cianobactérias tóxicas, que no Brasil acontece em muitas regiões urbanas e periurbanas, em rios e reservatórios, causando problemas de saúde e acidentes com mortalidade elevada (Azevedo 2005), pode ocorrer com maior intensidade se houver um aumento de 2 a 3°C na temperatura da água, e com a estabilização da coluna de água em termoclinos mais permanentes (Paerl & Huismann 2008).

Desta forma as mudanças climáticas podem ser extremamente impactantes na saúde humana no Brasil. A hierarquização dos procedimentos para resolver estes problemas de água e saúde humana envolve os seguintes componentes: prioridades de pesquisa; prioridades para saneamento básico e resolução de problemas urgentes de contaminação (IEA 2008).

Confalonieri et al 2010 apresentam as principais perspectivas para a ampliação da segurança coletiva das populações urbanas e rurais em relação aos recursos hídricos. Estas perspectivas estão delineadas a seguir:

8.1. Pesquisa, monitoramento e vigilância

O monitoramento e a avaliação permanentes da qualidade da água, nas regiões urbanas e periféricas, são fundamentais para controlar a qualidade da água dos mananciais e adequar os sistemas de tratamento a esta qualidade. Igualmente importante é controlar e determinar a eficiência do tratamento de esgotos, mediante coletas e determinações frequentes da qualidade da água dos afluentes desses ETES. A mensuração dos indicadores de saúde dos municípios, com a identificação dos perfis epidemiológicos das doenças de veiculação hídrica, é outro componente fundamental para a distinção entre áreas com maior cobertura de serviços básicos de saneamento e áreas não atendidas (Braga et al 2006).

As informações sobre a disponibilidade de água de qualidade adequada e as demandas quantitativas para usos múltiplos podem ser classificadas sob três principais tópicos:

- a) monitoramento regulatório para verificar conformidades com padrões de qualidade, como o CONAMA 357 ou Portaria MS518/2004 e 2.914/2011;
- b) monitoramento operacional e de processamento (monitoramento para habilitar a companhia de águas a gerenciar tratamento e distribuição); e
- c) pesquisa e desenvolvimento para aplicar novos métodos analíticos ou de monitoramento.

A comunidade de saúde pública utiliza muito pouco estes dados. Os dados epidemiológicos sobre saúde pública são relativamente heterogêneos, reativos e muito limitados ao potencial de risco. A simultaneidade entre o monitoramento da qualidade da água e os dados de saúde pública precisa ser muito melhorada.

Deste modo, visando a uma melhor preparação do Brasil nesta área, esforços de pesquisa e fomento devem ser direcionados para:

i) desenvolvimento de metodologias avançadas de monitoramento e de caracterização de agentes virais e outros micro-organismos na água, com enfoque na redução de custos; o que possibilitaria sua adoção por órgãos públicos, com ênfase no estudo do rastreamento de contaminações fecais.

ii) Novas metodologias para saneamento básico nos municípios, e para tratamento avançado de água e esgoto devem proporcionar, em conjunto com as já mencionadas tecnologias de monitoramento e de coleta de informações, maior qualidade à saúde humana das populações urbanas. Com a remoção de agentes patogênicos, vírus e outros micro-organismos da água diminui a vulnerabilidade das populações urbanas e periurbanas.

8.2. Extensão e universalização dos serviços de saneamento básico

O desenvolvimento econômico e social do Brasil depende da ampliação e da universalização do saneamento básico (cobertura para coleta e tratamento de esgotos). A inclusão das populações das regiões periurbanas e rurais nos serviços de saneamento é de primordial importância para o desenvolvimento real do Brasil.

9. Recursos hídricos subterrâneos

Da mesma forma que as águas superficiais, as reservas de águas subterrâneas têm um papel extremamente relevante no desenvolvimento econômico e social, oferecendo água para o abastecimento público, irrigação para a produção de alimentos e suprimento de água para comunidades, vilas, indústrias e cisternas autônomas de residências (Hirata et al 2010).

Segundo Rebouças (1999), a interação de fatores climatológicos e hidrogeológicos, condiciona as formas de recargas, abastecimento e circulação, influenciando a qualidade das águas subterrâneas e o tipo necessário de equipamento e de tecnologia para sua extração. A hidrogeologia evoluiu de um escopo físico hidráulico para uma abordagem geoquímica bioquímica, alterando todo o processo de gestão das águas subterrâneas.

Segundo Hirata et al (2010), os aquíferos são utilizados para o abastecimento de 30% a 40% da população do Brasil. Além do abastecimento público, o recurso hídrico subterrâneo alimenta uma indústria de turismo de grande dimensão regional, mobilizando US\$ 450 milhões no circuito das águas em Minas Gerais e São Paulo.

No Estado de São Paulo as águas subterrâneas abastecem mais de 5,5 milhões de pessoas na rede pública, em 71% dos municípios do Estado. Capitais como Manaus, Belém, Recife, Fortaleza, Natal e Maceió são abastecidas por águas subterrâneas (ANA 2005). Muitas comunidades rurais no Semiárido também são abastecidas dessa forma (Hirata 2010).

A grande vazão de águas subterrâneas no Brasil, estimada em 20.473 m³/s, está distribuída em dois grandes grupos, que são os aquíferos de rochas e materiais sedimentares e os aquíferos de rochas fraturadas (Hirata et al 2006). Os aquíferos de rochas sedimentares ocupam 48,5% do país (4,13 milhões de km²) e os aquíferos em sistemas fraturados ocupam 51,5% aproximadamente do território brasileiro (4,38 milhões de km²). Uma série de publicações sintetiza as informações disponíveis sobre as reservas e a produtividade das águas subterrâneas no Brasil (DNPM 1983, Rebouças 1988, ANA 2005, Hirata et al 2006), sendo que para o Nordeste a SUDENE PLIRHINE (1980) e para o Estado de São Paulo o DAEE (1982) sintetizaram com detalhes a situação regional.

A análise de Cardoso et al (2008) estima a existência de 416 mil poços profundos no Brasil desde 1958 para diversos usos. A média atual de perfurações é de 10.800 por ano. Há uma pressão cada vez mais intensa para exploração das reservas subterrâneas no país, especialmente em regiões onde a deterioração das águas superficiais impede o abastecimento. Há

também grandes pressões para uso dos recursos hídricos subterrâneos na irrigação para produção de alimentos. Segundo Hirata et al (2010), devido ao monitoramento limitado dos aquíferos, há pouco conhecimento da hidrodinâmica, hidrogeoquímica e hidroquímica. As fontes de contaminação dos aquíferos são bem conhecidas, mas pouco quantificadas: nitratos, metais pesados, vírus e bactérias derivadas de petróleo, provenientes de atividades humanas intensivas em áreas urbanas e atividades de mineração, que além da qualidade da água alteram o ciclo hidrológico local (Hirata et al 1997).

A principal deficiência para a gestão adequada dos aquíferos subterrâneos no Brasil é a falta de informações básicas sobre a potencialidade hídrica e sobre o seu potencial de exploração, o que impede a elaboração de planos de gestão atual e futura (Hirata et al 2010).

Campanha sistêmica de monitoramento regional de qualidade da água e avaliação sistêmica da influência antrópica sobre as águas subterrâneas são necessidades imediatas para o Brasil.

Nas regiões litorâneas intrusões salinas têm degradado as águas subterrâneas devido à superexploração de aquíferos nessas áreas e regiões (Zoby 2008).

A gestão de recursos hídricos no Brasil necessita avançar para explorar melhor as dinâmicas diferenciadas de águas superficiais e subterrâneas. A inclusão dos componentes subterrâneos de recursos hídricos nos planos de bacias, o disciplinamento do uso da água subterrânea mediante um programa de licenças e outorgas, e a avaliação das reservas por meio do planejamento regional são medidas fundamentais para o melhor uso de águas subterrâneas. A avaliação econômica deste recurso hídrico e dos custos econômicos, sociais e ambientais de sua exploração é fundamental.

A proteção geral de aquíferos por meio do controle do uso do solo regionalmente e a proteção individual dos poços de captação são dois instrumentos fundamentais de gestão que devem ser integrados nos planos de bacia e nos programas de gestão hídrica. Estudos sobre vulnerabilidade e proteção dos aquíferos devem ser implementados (Foster et al 2002, Zoby 2008).

Três novos avanços foram registrados nos últimos três anos: o monitoramento integrado da qualidade da água do aquífero Guarani (Projeto Internacional Aquífero Guarani); a Resolução 396/2008 do CONAMA para a proteção de águas subterrâneas; e a Resolução 91/2008 que trata dos procedimentos para o enquadramento de águas superficiais e subterrâneas.

O caráter estratégico dos recursos hídricos subterrâneos e sua importância econômica e social vêm sendo reconhecidos por etapas no Brasil. A articulação de ações de pesquisa e gerenciais, integrada ao conjunto dos

recursos hídricos atmosféricos, superficiais e subterrâneos, necessita de grandes esforços e avanços permanentes.

Uma mudança cultural na gestão de bacias hidrográficas é necessária para incluir os recursos hídricos subterrâneos (Llamas & Martinez-Santos 2006, Mukhergy 2006).

10. Recursos hídricos na Bacia Amazônica

A dimensão e a complexidade da Bacia Amazônica, única do planeta Terra pela sua área de 7 milhões de km² e a vazão do rio Amazonas, com 220.000 m³/s, demandam uma especificidade e visão muito singular quanto aos recursos hídricos (Sioli 1984, Val et al 2010).

A Bacia Amazônica ocupa, no Brasil, uma área de 4 milhões de km², compartilhada pelos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima. Além de um volume de água com descarga, para o Rio Amazonas, de 1.276.000 m³/s e com mais de mil tributários, a Bacia Amazônica destaca-se pela complexidade dos processos biogeofísicos, econômicos e sociais, todos eles dependentes de uma interação espacial e temporal entre sistemas aquáticos e sistemas terrestres. Períodos de inundação, de flutuação de nível do rio Amazonas e tributários, impulsionam ciclos biogeoquímicos, a diversificação da biota aquática e as interações entre os componentes biológicos e os abióticos do sistema. A pesca na Amazônia brasileira movimenta uma economia de mais de US\$ 200 milhões anualmente, suportando inúmeras atividades nas cadeias produtivas ao longo do rio Amazonas e tributários. A Amazônia tem um papel relevante no continente sul-americano, especialmente na regulação do clima e dos processos biogeoquímicos.

Além disso, deve-se considerar o ciclo hidrossocial de grande importância na Amazônia, representado pelo abastecimento de água, biomassa explorável, com a pesca e a agricultura na várzea, o transporte e a exploração potencial de biodiversidade (Padoch et al 1999).

A história paleogeográfica da região, as diferentes sub-bacias (Bacia Amazônica Superior, bacia do Médio Amazonas e bacia do Baixo Amazonas) e suas características principais foram descritas por Sioli (1984). A concentração de sedimentos na Bacia Amazônica acumulou-se durante 500 milhões de anos e o transporte atual de sedimentos que é de argila fina e silte ainda continua: de acordo com Bigarella (1975) 13,5 toneladas/segundo são transportadas pelo rio Amazonas em Óbidos e por alguns de seus tributários. A remoção, transporte e deposição de sedimentos

na Amazônia têm um relevante papel geomorfológico e contribui para a permanente organização e reorganização espacial ao longo da Bacia Amazônica. Deposições e erosão ocorreram durante diferentes períodos, com a reestruturação de grandes deltas internos e consequências biológicas e ecológicas.

Um das características essenciais da Bacia Amazônica são os pulsos de inundação caracterizados pelas variações de nível do rio Amazonas e de seus tributários. As interações entre os sistemas terrestres e aquáticos na Bacia Amazônica são, pela sua escala e dinâmica, o grande processo ecológico que impulsiona a biodiversidade regional, a especiação, os processos evolutivos e o ciclo hidrossocial. Grandes deltas internos e as extensas áreas de várzea (*floodplain*), além das áreas alagadas, são considerados ecossistemas especiais (Junk 1980, Junk 1989, Affonso 2011), dadas as peculiaridades e a escala em que ocorrem as interações dinâmicas.

A partir dos estudos na Bacia Amazônica, Junk (2005) elaborou o *flood pulse concept*, o qual procura explicar os impactos das inundações periódicas nos ciclos biogeoquímicos e na fisiologia, ecologia e biologia da biota aquática.

A dinâmica fluvial, associada aos pulsos de inundação, às interações entre climatologia e hidrologia, à geomorfologia e à biodiversidade, tem uma relevância local, regional e planetária, devido à dimensão, à escala e à velocidade dos processos estacionais e das variações em períodos de curta duração (24 horas) em lagos de várzea, tributários e deltas internos (Padoch et al 1999). O conjunto é considerado como um “Centro Ativo de Evolução” (Margalef 1997), com processos de adaptações fisioecológicas e biológicas essenciais à manutenção e evolução da biodiversidade.

Desse modo a dinâmica dos processos geomorfológicos, climatológicos e hidrológicos, associada à dinâmica pluvial, cria na Amazônia uma extraordinária oportunidade para a especiação. Inúmeras hipóteses foram apresentadas para explicar a biodiversidade aquática e terrestre na Amazônia (Sioli 1975, Haffer 2008). A dinâmica de espécies de peixes da Bacia Amazônica espelha estas características dinâmicas e evolutivas. Segundo Val et al (2010), 10% da ictiofauna de peixes do mundo encontram-se na Amazônia e 80% da ictiofauna brasileira é de espécies de peixes da Amazônia. Esta fauna ictíica, além da importância evolutiva e científica, tem enorme importância comercial, pois sustenta uma indústria de pesca comercial e esportiva de grande porte, movimentando segundo Petrere (1978) e Bayley & Petrere (1989), uma economia regional que gera recursos da ordem de R\$ 300 milhões/ano e mantém mais de 100 mil pessoas.

A fisiologia das plantas e animais aquáticos apresenta adaptações bem estudadas através de experimentos e trabalhos de campo. As interações

da fauna e da flora com as condições físicas e químicas em águas dos rios Solimões, Negro, Amazonas e seus tributários foram determinadas, e demonstrou-se uma enorme variedade de processos bioquímicos, fisiológicos, morfológicos para garantir equilíbrio iônico e sobrevivência em condições de mais baixa saturação de oxigênio (Val & Almeida Val 1995, Val 1996, Val et al 2003).

Os sistemas aquáticos amazônicos têm um papel relevante no ciclo global do carbono. Os pequenos tributários na floresta amazônica coletam matéria orgânica particulada e distribuem-na para os grandes rios sob a forma de carbono orgânico dissolvido, que também entra no ciclo aquático a partir da drenagem terrestre (Richey et al 2002). As águas amazônicas são emissoras de CO₂ em larga escala (Melack & Forsberg 2001).

A hidrologia da Amazônia e o ciclo hidrológico regional têm um relevante papel no ciclo das águas em outras regiões do Brasil, especialmente no Sudeste (Fearnside 2004). Portanto, a preservação do sistema amazônico tem um papel essencial no funcionamento e manutenção do ciclo hidrológico no plano continental. O desmatamento e a degradação dos sistemas amazônicos têm um papel fundamental na alteração dos ciclos hidrológicos e na interrupção dos processos nos “centros ativos de evolução” (Salati 2001). Devido à bacia hidrográfica do Amazonas ser de dimensões continentais, compartilhada por vários países da América do Sul (Brasil, Equador, Peru, Venezuela, Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Colômbia e Bolívia), ela é multinacional. Assim, o conceito de recurso natural compartilhado, introduzido no direito internacional, deve ser considerado na gestão integrada e integradora desta bacia. Além das integrações técnicas e científicas, indispensáveis nas várias dimensões e nas sub-bacias amazônicas, a integração política é outra medida importante (Val et al 2010).

A necessidade de informações científicas e técnicas sobre a Bacia Amazônica tem sido suprida pelos estudos desenvolvidos no INPA, Museu Goeldi, Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e universidades da região Amazônica.

Sínteses e estudos de interações, na busca por padrões gerais de funcionamento do sistema, são importantes (Val et al 2010). É necessário, além de ampliar as informações e testá-las com síntese, desenvolver modelos avançados e estudos químicos, biológicos e geomorfológicos na Amazônia, os quais devem instrumentalizar as políticas públicas para investimentos e expansão na Amazônia e para a construção de infraestrutura, como estradas, hidroelétricas e melhoramentos urbanos. O ciclo hidrossocial e seus reflexos na economia regional necessitam de um maior volume de estudos para escolha de alternativas (McGrath et al 1993, Roosevelt 1999). Estudos estratégicos e de longo alcance são fundamentais para

apoiar o desenvolvimento econômico e social da Bacia Amazônica em bases seguras de ciência, tecnologia e inovação. **Qualquer tentativa de exploração do sistema amazônico e de sua biodiversidade que não for fundamentada em estudos específicos voltados para a região fracassará, como ficou demonstrado em projetos de grande porte malsucedidos. Proteção e conservação, além da exploração racional dos recursos hídricos da Amazônia, devem ser consideradas dentro do complexo sistema climatológico, hidrológico, biodiversidade e dinâmica espacial e temporal** (Tundisi & Scheuenstuhl 2012).

Por isso deve-se acentuar a importância e a relevância da formação de recursos humanos em nível de Mestrado, Doutorado e Pós-Doutorado, expandindo os atuais programas existentes e abrindo novas perspectivas na formação de especialistas. Formação interdisciplinar e sistêmica com uma visão ecológica, limnológica, biogeofisiográfica, econômica e social deve assegurar a capacitação de especialistas em Amazônia, em condições de propor novos modelos de desenvolvimento, articulados com o funcionamento dos sistemas e subsistemas regionais. O fortalecimento das redes de informação na região Amazônica e a criação de novos institutos técnico-científicos e universidades terão um papel relevante no desenvolvimento da região (ABC Amazônia 2008). Deve-se assegurar uma base científica permanente e consistente de informações para promover o desenvolvimento da Amazônia (Academia Brasileira de Ciências 2008).

Quadro II. Reservatórios na Amazônia: alternativas e oportunidades

A Bacia Amazônica no território brasileiro concentra a maior parte do potencial hidroelétrico do Brasil, uma vez que os principais rios do Sudeste e o rio São Francisco já foram aproveitados em larga escala. A construção de represas hidroelétricas na Amazônia apresenta vários problemas ecológicos, econômicos e sociais. A interferência com os processos naturais de evolução dos sistemas amazônicos, a alteração dos ciclos biogeoquímicos, da reprodução e da dispersão natural de organismos e a interrupção e redimensionamento do ciclo hidrossocial são alguns dos principais problemas que ocorrem, além do aumento da emissão de gases de efeito estufa, devido à decomposição da vegetação inundada (Fearnside 2001, Kemenes et al 2007).

Os quatro reservatórios construídos até o presente (Curuá-Uma, Balbina, Tucuruí e Samuel) apresentam inúmeros problemas referentes às condições limnológicas, biogeoquímicas, ecológicas, econômicas e sociais (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2008).

A alteração da concepção de construção nos reservatórios do rio Madeira (Jirau e Santo Antônio), que transporta grande volume de sedimento, foi uma etapa importante no planejamento e na construção de represas na Amazônia, e as discussões e adaptações construtivas, desenvolvidas no projeto da UHE Belo Monte, no Pará, são avanços fundamentais na engenharia e na gestão de reservatórios.

Apesar dos aspectos negativos, considerados em relação à construção de represas hidroelétricas na Amazônia, deve-se enfatizar que estas represas representam uma oportunidade relevante de investimento regional, combinado com sustentabilidade e inclusão social (Tundisi 2007a). Entretanto, devem ser implantados observatórios por órgãos do governo para acompanhar as alterações econômicas, sociais e ambientais que ocorrem nessas regiões.

A questão que deve ser posta neste contexto é a seguinte: a quais rios se deveria dar preferência para a construção de reservatórios e qual a dimensão destes ecossistemas artificiais? Uma combinação adequada de rios com vazão suficiente, localizados em regiões com menor complexidade e reservatórios, com baixo tempo de retenção e sistema construtivo adequado, pode proporcionar novas perspectivas de exploração dos recursos hídricos na Amazônia. Interações das cadeias de reservatórios com ecidrologia em determinados rios – deixando espaços naturais intercalados entre os reservatórios - podem ser suficientes para melhorar a qualidade do aproveitamento hidroelétrico, preservar unidades importantes como centros ativos de evolução e impulsionar o desenvolvimento regional. Isto só pode ser realizado por estudos estratégicos profundos, coordenados e dirigidos pelas instituições regionais como o INPA, o Museu Goeldi e as organizações estaduais e regionais (Secretarias de Meio-Ambiente e Recursos Hídricos estaduais), com apoio da Academia Brasileira de Ciências e de observatórios com equipes interdisciplinares.

Quadro III. *Observatórios na Amazônia*

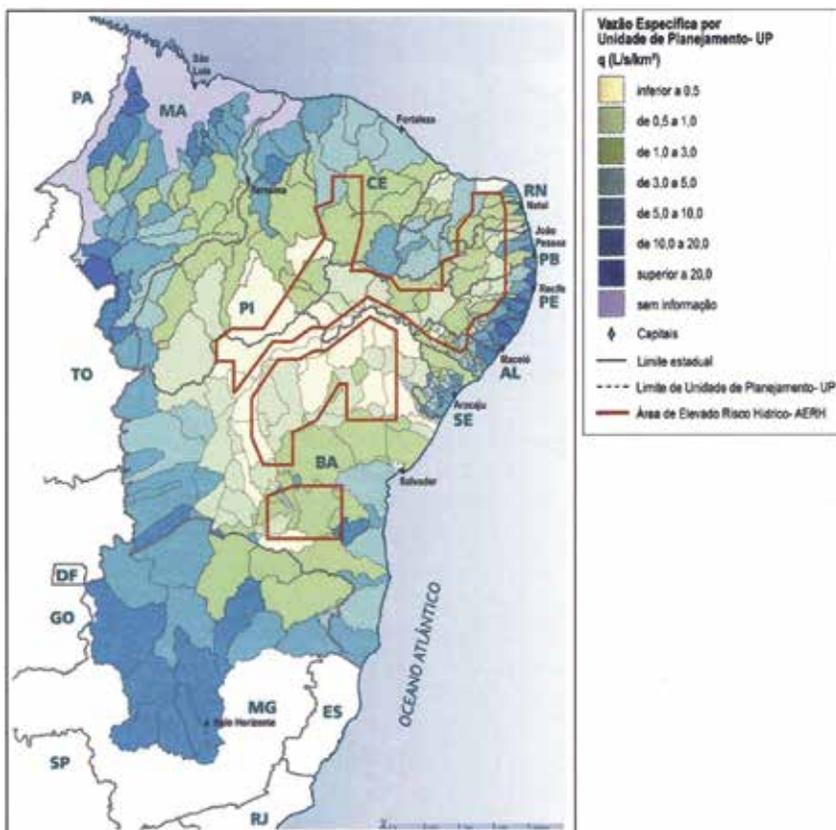
A construção de hidroelétricas na Amazônia produz complexas alterações no ciclo hidrossocial, na infraestrutura e na economia regional. Para acompanhar estas alterações profundas recomenda-se a instalação de “observatórios”, grupos de pesquisadores e gestores de diferentes formações (economistas, sociólogos, geólogos, biólogos, engenheiros, especialistas da área da saúde, ecólogos), que acompanharão o desenvolvimento do projeto, realizando uma análise crítica permanente e apresentando alternativas e soluções. Esta experiência pode ser extremamente útil no futuro, durante a construção já prevista de outros reservatórios. Este grupo especializado, atuando com independência e capacidade crítica, pode contribuir significativamente para uma avaliação crítica do projeto, com resultados muito superiores aos apresentados no EIA-RIMA ou nos Planos Básicos Ambientais, obrigatoriamente desenvolvidos pelos empreendedores ou pelo próprio governo federal.

11. Água no Semiárido

As regiões onde ocorrem precipitações médias anuais de 250 a 500 mm são denominadas de Semiárido. Estas regiões têm uma vegetação característica, adaptada à escassez de água como a caatinga do Nordeste do Brasil (Cirilo 2008). A região Nordeste do Brasil tem uma área de 1.219.000 km², com uma posição entre 1° e 18° 30' de latitude sul e 34° 30' e 40° 20' de longitude oeste de Greenwich (Cirilo 2007). A região semiárida e subúmida seca do Nordeste do Brasil tem uma área de 969.589,4 km², segundo nova delimitação recente (Cirilo 2008), incluindo-se nesta região 1.133 municípios. Variabilidades temporais de precipitações e predominância de rochas cristalinas resultam em baixo volume de escoamento de rios, com muitos rios temporários, cuja extensão geográfica se estende do Ceará até a região setentrional da Bahia. Rios permanentes como o São Francisco e o Parnaíba são importantes para a região como fonte de água e para usos múltiplos.

A Fig. 15 mostra as vazões específicas médias das bacias hidrográficas do Nordeste do Brasil (ANA 2005, Cirilo et al 2010).

Figura 15. Vazões específicas médias das bacias hidrográficas do Nordeste do Brasil.
Fonte: ANA (2005).



Entre as potencialidades hídricas do Nordeste deve-se considerar a importância das águas subterrâneas, destaque dado por Rebouças (1997) o qual ressaltou que as reservas das bacias sedimentares do Nordeste possibilitam a captação de 20 bilhões de metros cúbicos por ano, sem colocar em risco as reservas existentes, mas há águas com teor elevado de sais. A distribuição de rochas sedimentares e cristalinas na área de abrangência do Polígono das Secas é mostrada na Fig. 16.

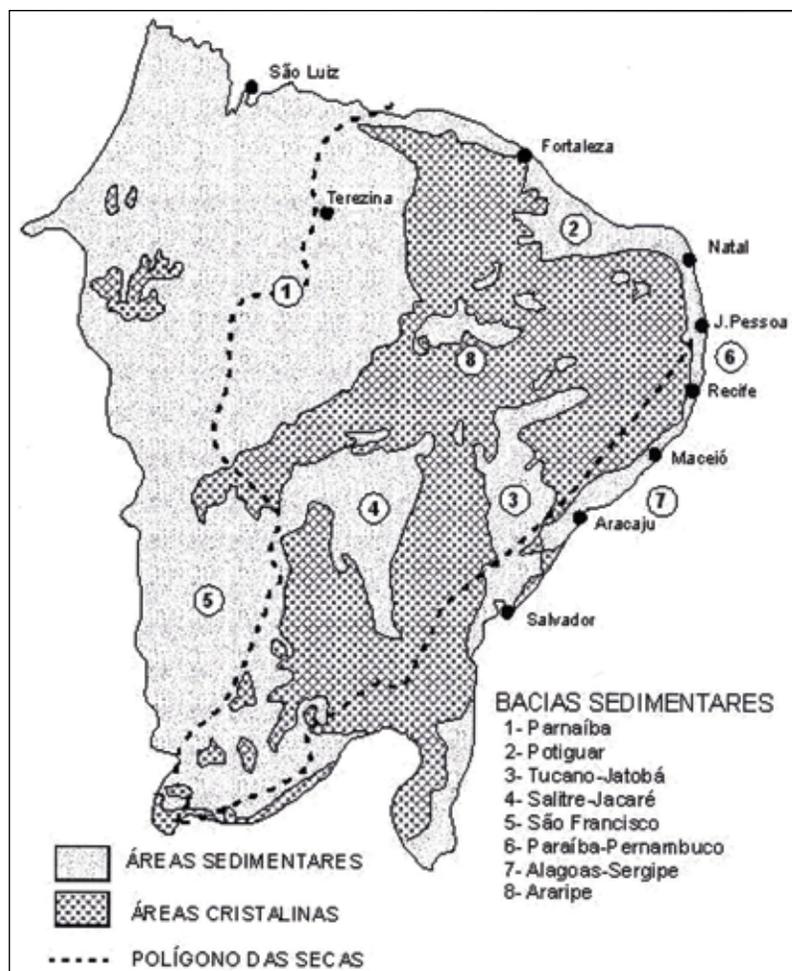


Figura 16. Distribuição das rochas sedimentares na área de abrangência do Polígono das Secas da SUDENE. Fonte: Demetrio et al (2007).

Segundo Cirilo et al (2010), os seguintes problemas são associados ao Semiárido do Nordeste: incidências de doenças de veiculação hídrica, com elevada mortalidade infantil, especialmente na zona rural; processo acelerado de desertificação, comprometendo uma área de 181.000 km²; superexploração de reservas e salinização em cerca de 600 mil hectares irrigados do Nordeste; e aumento da vulnerabilidade regional devido às mudanças climáticas, sendo que o Nordeste do Brasil e a Amazônia são as mais vulneráveis. Os aumentos da acidificação do Semiárido, com reflexos na produtividade de diferentes culturas, o aumento de salinização de águas

subterrâneas e superficiais, e mudanças no regime de vazões podem resultar em prejuízos para a geração de energia elétrica, diminuição das áreas irrigadas, e deficiência no abastecimento público em zonas urbanas e rurais.

A perfuração de poços no Nordeste atingiu o número de 100.000, mas os poços têm baixas vazões, salinidade elevada, e há um índice alto de poços secos, dadas as peculiaridades geológicas (Cirilo et al 2010, Brasil 2012).

A dessalinização pode ser uma alternativa importante para o Nordeste semiárido, embora o custo ainda elevado da operação e da manutenção de equipamentos possa ser um complicador (Campello Netto et al 2007). As principais opções e alternativas para obtenção de água em pequenos imóveis rurais são apresentadas na Fig. 17.

Figura 17. Alternativas e opções para obtenção de água em pequenos imóveis rurais.

Opções de obtenção de água em pequenos imóveis rurais			
Formas de captação de água	Capacidade estimada	Características	Usos sugeridos
Cisterna 	20 a 30 m ³ ao fim do inverno, com captação no telhado e em uma casa de tamanho médio.	Boa qualidade.	Água para a família beber e cozinhar.
Poço 	Média de 1000 l/h (poço no cristalino)	Geralmente salobra.	- Dessedentação de animais. - Uso sanitário.
Barragem Subterrânea 	Depende de largura, extensão e profundidade do aluvião.	-Em geral boa; -Precisa de manejo adequado para evitar salinização; -Riscos de poluição por agrotóxicos.	- Agricultura familiar; -Produção agrícola.
Pequeno Açude 	Média de 10.000 m ³ (em propriedades particulares).	- Altas perdas por evaporação.	- Agricultura familiar; -Produção agrícola.

Fonte: Campello Netto et al. (2007, p.491)

A utilização de barragens subterrâneas pode ser outra infraestrutura de reserva hídrica bem-sucedida para o Nordeste semiárido (Costa et al 2000): impede a evaporação e protege da salinização, se comparada com barragens de águas superficiais a céu aberto.

Portanto, para o Semiárido brasileiro o fortalecimento e o aumento da eficiência da infraestrutura hídrica, associados à gestão eficiente da qualidade e da quantidade das águas superficiais e subterrâneas, são fundamentais. Ações e planejamento em longo prazo tendem a diminuir a vulnerabilidade da região e ampliar a capacidade de desenvolvimento autossustentável.

12. Água e mudanças climáticas

A disponibilidade de água no Brasil, em todas as suas bacias hidrográficas, depende da climatologia dinâmica nas diversas escalas temporais (Marengo et al 2010). Portanto, as alterações climáticas resultantes de mudanças globais no clima podem afetar significativamente os ciclos hidrológicos e os eventos de precipitação e seca, nas várias regiões do país. Segundo Marengo & Soares (2003), Marengo (2006) e Marengo et al (2010), há evidências (IPCC 2001) de que eventos extremos como secas, furacões e tempestades e episódios de intenso calor e frio têm afetado diferentes regiões e continentes do planeta, causando prejuízos e perdas econômicas, distúrbios locais e mortalidade elevada. Há impactos relacionados com a saúde humana, com alterações da biodiversidade e com a produção de alimentos. Todo este conjunto de processos e desequilíbrios afeta a distribuição das águas superficiais e subterrâneas e a qualidade das águas, com reflexos na economia das regiões e na saúde humana (Marengo & Dias 2006).

Deve-se considerar que as mudanças climáticas e seus efeitos na biodiversidade, na saúde humana e nos recursos hídricos não são a única causa de desequilíbrios e extremos de seca, precipitação e enchentes. As atividades humanas ao longo das bacias hidrográficas - como o desmatamento, o uso e ocupação do solo sem planejamento, a intensa urbanização - completam o ciclo e contribuem para exacerbar os efeitos dos extremos, aumentando a vulnerabilidade da biota terrestre e aquática e das populações humanas.

Segundo Salazar et al (2007) e Marengo et al (2010), a região mais exposta à desertificação e aridização é o Nordeste do Brasil, com ameaças de crise de abastecimento de água para municípios acima de 5.000 habitantes, e problemas de abastecimento que atingirão 41 milhões de habitantes do Semiárido e entorno (ANA 2005).

Também na Amazônia podem ocorrer variações extremas com secas muito fortes - o último período de estiagem foi em 2005, o maior dos últimos 103 anos - e enchentes de dimensões históricas - como em 2009 - superiores aos máximos históricos registrados em Manaus nos últimos 100 anos (Marengo 2008, Marengo et al 2010). Portanto às várias causas que explicam a escassez de recursos hídricos (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2012) devem se somar estes extremos hidrológicos e de estiagem. A gestão integrada dos recursos hídricos e o fortalecimento da integração e coordenação institucional no âmbito de bacias hidrográficas é uma das medidas importantes no enfrentamento das complexidades geradas pelas mudanças climáticas globais. As projeções dos extremos climáticos hidrometeorológicos sugerem para boa parte do Brasil aumentos na frequência destes extremos, principalmente no Oeste da Amazônia e no Sul do Brasil, enquanto que no Leste da Amazônia e no Nordeste há tendências para aumento da frequência de dias secos consecutivos (Marengo et al 2009).

As mudanças climáticas podem ter grandes impactos na agricultura no Nordeste e em culturas específicas em todo o país, com perdas de até R\$ 14 bilhões em 2007 (Embrapa 2008), quedas na geração de energia na bacia do São Francisco, a mais afetada (Schaeffer et al 2008), e no rio Tocantins. Processos hidrológicos como o escoamento e a infiltração podem ser afetados pelas alterações climáticas, com consequências na recarga dos aquíferos e no armazenamento de água no solo (Rebouças et al 2006).

A ampliação e aprofundamento do conhecimento científico em relação ao funcionamento hidrológico e ao solo, clima, vegetação, no âmbito de sub-bacias hidrográficas e de grandes bacias, é uma das necessidades importantes da pesquisa científica sobre os impactos das mudanças globais. O gerenciamento adequado dos recursos hídricos para enfrentar os efeitos das mudanças climáticas deveria contar com modelagem matemática e ecológica para elaboração de cenários de impactos, como extremos hidrológicos e secas prolongadas, sobre a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos (Milly 2005).

Também é importante, do ponto de vista gerencial, promover a recuperação de ecossistemas em regiões de mananciais, identificar áreas de risco de impactos hidrológicos, reduzir o enorme “déficit” de saneamento básico, e desenvolver projeções sobre como a reserva dos aquíferos poderá ser afetada (Marengo et al 2010). Deve-se, ainda, continuar a aprofundar os estudos a respeito dos efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade ao longo do século XXI, conforme o estudo básico e fundamental de Marengo (2006). Adaptações na governança dos recursos hídricos face às mudanças climáticas são relevantes neste processo (ANA 2003; NAE 2005a e 2005b).

O modelo conceitual de transporte de umidade da Amazônia e do oceano Atlântico subtropical para o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, sendo portanto a Amazônia uma fonte de umidade para a bacia da Prata, deve ser tratado e avaliado ao longo do tempo como tema prioritário de pesquisa e de observação.

As Figuras 18a, 18b, 19 e 20 apresentam o potencial de savanização da Amazônia, o modelo conceitual de transporte da umidade para o Centro-Oeste e Sudeste, e as alterações das vazões dos rios da America do Sul.

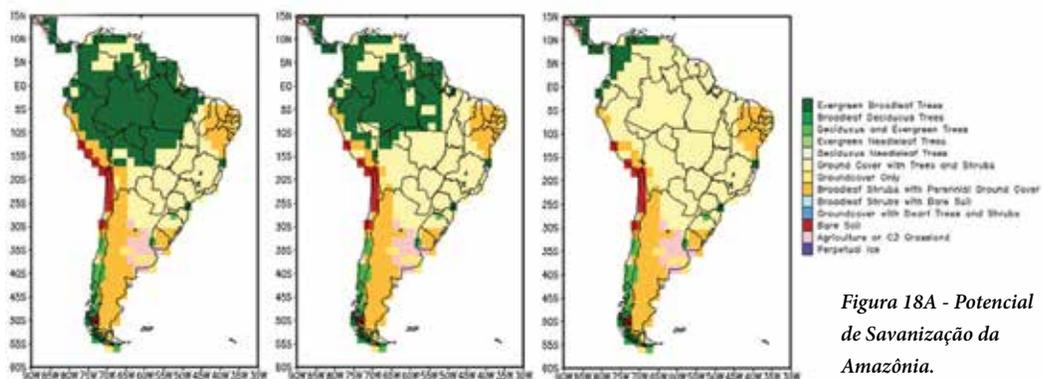


Figura 18A - Potencial de Savanização da Amazônia.

A Fig. 18A descreve o potencial de savanização da Amazônia e a Fig. 18B as alterações de precipitação estimadas para 2033.

A Fig. 19 apresenta as mudanças relativas das vazões dos rios da América do Sul para o período 2041-2060. E a Figura 20 descreve o modelo conceitual de transporte da umidade da Amazônia para a região Centro-Oeste e a bacia do Prata. As quatro figuras mostram portanto, alterações significativas referentes às mudanças globais e destacam de forma inequívoca o papel da Amazônia no ciclo hidrológico da América do Sul.

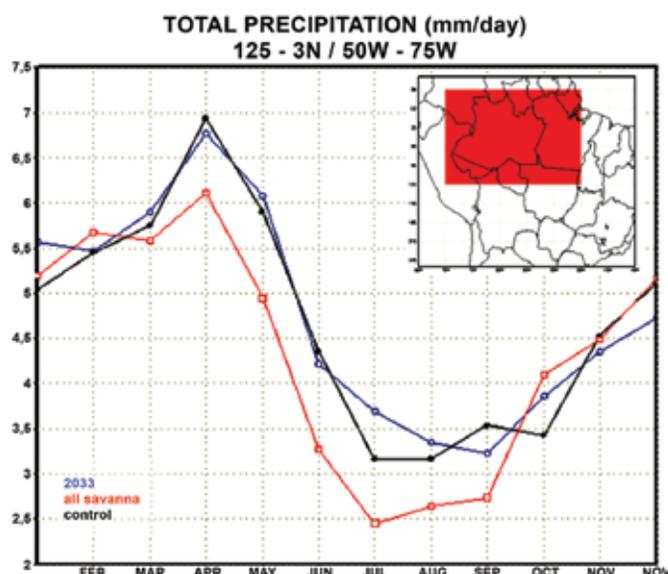


Figura 18B. Estimativa das Alterações de Precipitação para 2033.

	2033	All Savanna
JJA	5,4%	-21,7%
JJAS	1,9%	-21,9%

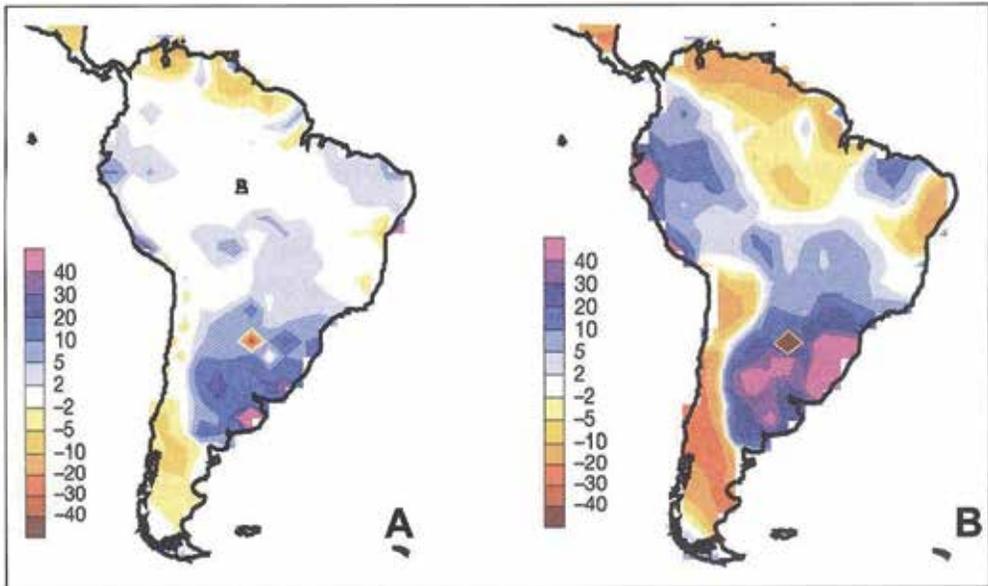


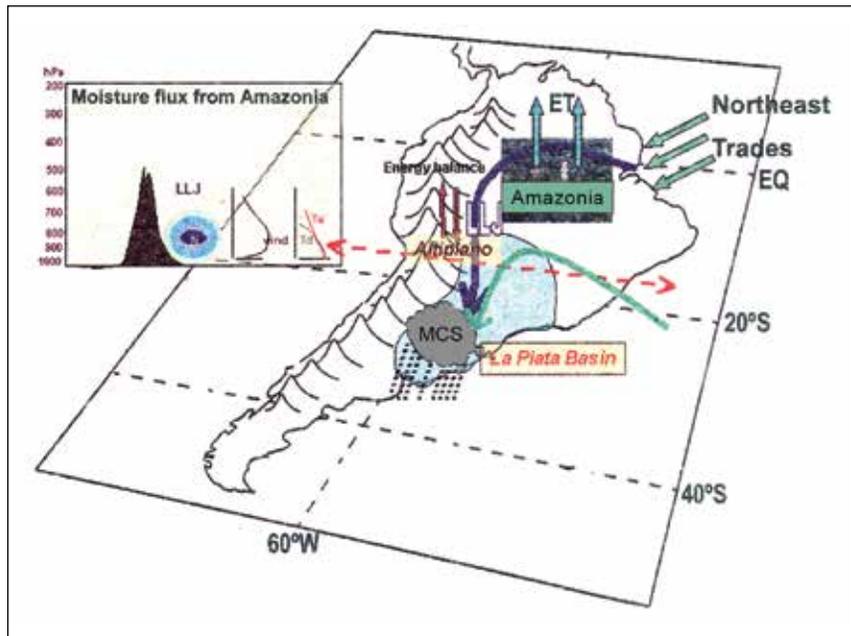
Figura 19: Mudança relativa (%) das vazões de rios na América do Sul (média de rios na América do sul).

Fonte: Marengo et al (2010).

(A) Mudança relativa (%) das vazões de rios na América do Sul (média de nove modelos globais do IPCC AR4) para o período 1971-2000 relativo à média de 1900-1970, da rodada do clima do século XX (20C3M) do IPCC; (B) Mudança relativa (%) das vazões de rios na América do Sul (média de nove modelos globais do IPCC AR4) para o período 2041-2060 do cenário A1B relativo à média de 1900-1998 (rodada 20C3M).

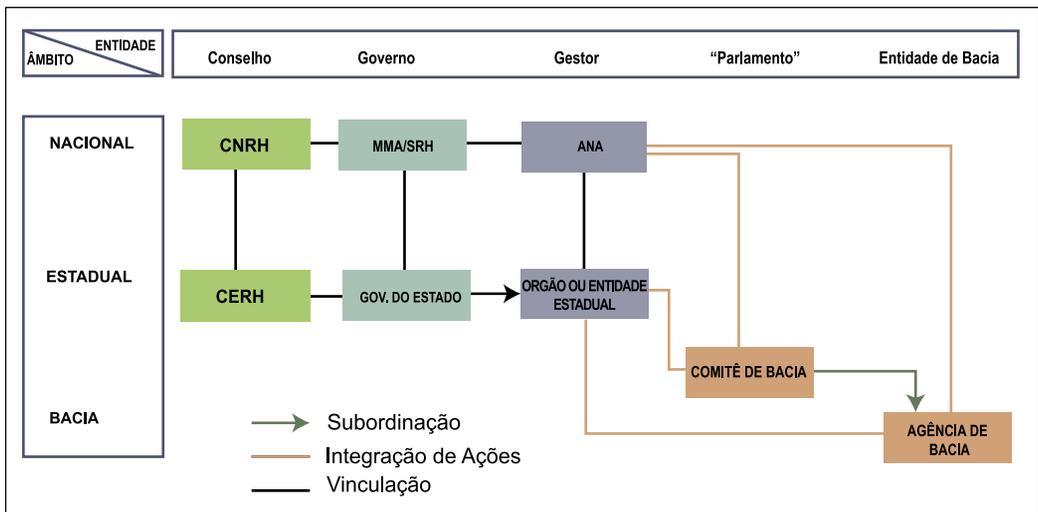
Figura 20 – O modelo conceitual de transporte de umidade para a região Centro-Oeste e bacia da Prata.

Fonte: Marengo (2006).



13. Governança da água no Brasil: evolução do processo e situação atual

Dentre as inúmeras experiências realizadas com a gestão de bacias hidrográficas deve ser destacada, como enfatizam Porto & La Laina Porto (2008), a criação do Tennessee Valley Authority, em 1933, para realizar a gestão, em sete estados dos Estados Unidos, de todos os usos múltiplos da água ao longo do vale do rio Tennessee. A Lei das Águas (Lei Nº 9.433/1997) estabelece a gestão de recursos hídricos como prioridade, implementando uma descentralização da gestão em larga escala, baseada em instrumentos econômicos e na participação pública no processo decisório (Braga et al 2008).



A Lei das Águas de 1997 é considerada, pelos especialistas, uma das mais avançadas no mundo. A legislação considera a natureza federativa do Brasil, promovendo ampla descentralização e novos arranjos legais e institucionais. Estabelece o SINGREH (Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos), que resultou da Política Nacional de Recursos Hídricos definida na Lei das Águas de 1997 (Fig. 21).

A política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes princípios:

- Água é um bem público dotado de valor econômico.
- Prioridade no uso da água para o consumo humano e dessedentação de animais.
- Garantia da múltipla utilização das águas.
- Participação integrada dos usuários, sociedade civil e poder público: gestão participativa (Braga et al 2008).

Figura 21. A gestão de Recursos Hídricos no Brasil (Lei nº 9.433/97 das Águas) CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos. ANA Agência Nacional das Águas.

As diretrizes gerais que orientam a Política de Recursos Hídricos estão baseadas na gestão integrada da qualidade e da quantidade da água, gestão adaptada às condições biogeofisiográficas locais e regionais, articulação com programas de uso do solo e gestão ambiental, e integração das bacias hidrográficas continentais com os sistemas estuários e costeiros. A Fig. 21 apresenta a organização do SINGREH, tal como foi estabelecida pela Lei das Águas. Os principais instrumentos de gestão preconizados pela Lei das Águas são: planos de bacia hidrográfica; enquadramento dos corpos de água; outorga; cobrança pelo uso de recursos hídricos e sistema de informações.

A Agência nacional das Águas (ANA), com a criação do SINGREH (Lei 9.984, de julho de 2000), tem a competência institucional necessária para a efetivação de todos os mecanismos de gestão no âmbito de bacias hidrográficas, com seus instrumentos técnicos e legais. A adoção de unidades de planejamento e gestão a partir da bacia hidrográfica, o estímulo ao estabelecimento dos Comitês de Bacia Hidrográfica, a instituição da cobrança pelos usos dos recursos hídricos do domínio da união, e a articulação e desenvolvimento de parcerias e de cooperação com órgãos públicos e privados são atribuições da ANA que vêm sendo desenvolvidas e aprofundadas desde a sua criação (Hartman 2010). Deve-se destacar a atuação da ANA no desenvolvimento de planos e análises estratégicas nacionais na gestão de recursos hídricos, no estímulo à pesquisa, e no esforço para melhorar a qualidade da água dos rios brasileiros, com a instituição do PROPES (Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas) e um monitoramento avançado da qualidade e da disponibilidade da água nas diferentes bacias. A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - onde um processo de gestão compartilhada, cobranças pelo uso da água, estabelecimento da Agência da Bacia, articulação federativa e institucional entre o CEIVAP (Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul), a ANA e Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais - pode ser considerado um exemplo e um paradigma desta gestão integrada e compartilhada de recursos hídricos, articulando-se com projetos de desenvolvimento econômico, usos do solo, despoluição e participação efetiva dos usuários (Braga et al 2008).

Atualmente, segundo Braga et al (2008), encontram-se em plena atividade os Comitês da Bacia do Rio Paraíba do Sul e dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - PCJ. Nessas bacias existe plano aprovado, cobranças pelo uso de água, Agência de Bacia em funcionamento e, como resultante, os valores arrecadados são aplicados nas próprias bacias. Este processo de descentralização é fundamental em um país complexo como o Brasil, dos pontos de vista ecológico, econômico, social e antropológico. O estabelecimento dos Comitês de Bacia Hidrográficas, dos planos de bacia articulados com os projetos de desenvolvimento, e o reforço institucional constituído pelo estabelecimento de Agências da Bacia são processos que

se desenvolvem por etapas em todas as principais regiões hidrográficas do Brasil. A base científica, promovida por pesquisas e estudos limnológicos, ecológicos e de biodiversidade terrestre e aquática, é fundamental para instrumentalizar o processo de gestão integrada. O futuro dos recursos hídricos no Brasil e seus usos múltiplos dependem da institucionalização promovida pelos Comitês e Agências de Bacias Hidrográficas e da base de dados necessária para impulsionar esta gestão. **Portanto é fundamental, como enfatizam Porto e La Laina Porto (2008) e Tundisi & Matsumura Tundisi (2012), que a integração entre pesquisa e gerenciamento seja efetivada em todas as bacias hidrográficas do país. A governança das águas apresentou uma evolução contínua no Brasil nos últimos 20 anos e a perspectiva é a consolidação desta tendência. A participação efetiva dos usuários e o controle social da quantidade e da qualidade da água têm aumentado com resultados positivos, que necessitam ser universalizados no país. A introdução de sistemas de suporte à decisão que podem ser entendidos como “a transformação de dados em informações” (cf. Porto e La Laina Porto, 2008) é uma metodologia de auxílio que pode ser incorporada por etapas na gestão de bacias hidrográficas (OECD 2003).**

14. Capacitação e formação de recursos humanos

A educação em recursos hídricos não pode ser destacada da educação ambiental nas escolas de 1º e 2º graus e também da educação da população em geral.

A educação ambiental e o ensino da Ecologia nas escolas têm um padrão de desenvolvimento relativamente bem caracterizado (Krasilchick et al 2010), que vai desde uma posição conservadora na década de 1970 até uma posição programática e crítica a partir da década de 1990. Avaliações críticas sobre poluição do ar, da água e do solo, propostas de sustentabilidade e de participação de mais atores sociais, como professores, ambientalistas, empresários, mídia e sistemas de comunicação, têm, atualmente, um papel relevante na educação. A educação em recursos hídricos, que está dentro dos conceitos de educação ambiental e da participação ativa da comunidade, tem componentes bem descritos como: conservação de água, ciclo integrado da água (águas superficiais e subterrâneas, poluição e contaminação, recuperação de ecossistemas aquáticos, rios, represas, lagos, áreas pantanosas), água e saúde humana. Dois problemas devem ser considerados com relação à educação em recursos hídricos: a continuidade das ações e a sua permanência na sociedade e nas escolas, preconizado no Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e de Responsabilidade Global, assinado na Rio 92; e a necessidade de intensa

pesquisa e desenvolvimento para educação em recursos hídricos, voltada para as escolas e as grandes massas da população. Novas metodologias e meios de pesquisa em comunicação e novos métodos de ensino e participação são necessários.

A água “é o meio que integra os desafios de segurança alimentar, segurança energética, mudanças climáticas, crescimento econômico e o bem estar humano” (Prince of Orange of Netherlands, 19 de agosto de 2011 mensagem ao Board do Global Water Partenership).

Deve-se ainda considerar que Educação para a Ciência pode utilizar a água, a Limnologia, a Biologia Aquática como fios condutores, com a criação de projetos como o *ABC na Educação Científica* (Academia Brasileira de Ciências) e experiências como a utilização de bacias hidrográficas no ensino de Ciências e de Geografia (Tundisi & Schiel 2002) e a Escola da Água (Silva 2007, Correa et al 2011).

A gestão dos recursos hídricos por bacias hidrográficas, conforme preconizam o Plano Nacional de Recursos Hídricos de 2006 e a Lei Nacional de Recursos Hídricos de 1997, estimula a articulação da educação ambiental, da sustentabilidade e da educação sanitária voltada para a proteção dos recursos hídricos. Também é necessário integrar educação ambiental e educação para a ciência, utilizando a bacia hidrográfica como unidade e explorando a interdisciplinaridade e as condições locais/regionais (Tundisi 2007 e 2009).

As demandas do Brasil em pesquisa e em gestão de recursos hídricos estão se tornando cada vez mais complexas, devido ao crescimento econômico e populacional, à urbanização e aos efeitos sinérgicos de despejos de efluentes contaminados, águas de esgoto sem tratamento e fontes pontuais e não pontuais de contaminação de atividades agrícolas. Outro fator preocupante, e que requer ações complexas de pesquisa e de gerenciamento, é o aumento da toxicidade das águas e dos sedimentos e o acúmulo de poluentes orgânicos persistentes (produtos químicos, farmacêuticos e antibióticos), que demandam laboratórios especializados, profissionais competentes e gerentes com capacidade de compreensão da complexidade do problema. Uma visão multi e transdisciplinar com a inclusão de processos biogeoquímicos, econômicos e sociais nas análises, sínteses e na gestão é necessária (Golley & Medina 2008). As duas áreas fundamentais que necessitam de investimentos urgentes são: a avaliação da biodiversidade aquática e suas interações com processos hidrológicos, limnológicos e biogeoquímicos; e a aplicação e aprofundamento das pesquisas sobre mudanças globais e seus impactos nos recursos hídricos. A preparação de especialistas nessas duas áreas tem caráter de urgência e relevância.

Para um gerenciamento efetivo e integrado dos recursos hídricos são necessários investimentos em recursos humanos com uma visão sistêmica (bacia hidrográfica), capacidade preditiva, e integração e otimização de pesquisas, gerenciamento e usos múltiplos. Portanto, a formação de recursos humanos deve basear-se nos seguintes princípios básicos:

a) formação e visão interdisciplinar com capacidade de compreensão de sistemas complexos como as bacias hidrográficas e os impactos nos ecossistemas aquáticos continentais;

b) capacidade de estudos e de interpretação de processos em nível de ecossistemas;

c) capacidade de ampliar e aprofundar o inventário, a descrição e a compreensão dos sistemas naturais e as interações climatológicas, hidrológicas, limnológicas, ecológicas e os efeitos das atividades humanas nos ciclos e processos naturais;

d) capacidade de analisar e compreender os emergentes processos decorrentes da contaminação por poluentes orgânicos persistentes e substâncias tóxicas (ex.: florescimentos de cianobactérias, metais tóxicos);

e) instalação de redes de competência com a criação de Centros de Pesquisa Avançada de Desenvolvimento e Inovação de Recursos Hídricos, associados aos programas de pós-graduação, com a introdução de novos conceitos de pesquisa e de gestão como a ecotecnologia e a ecotecnologia (Jorgensen et al 2005, Tundisi 2007a, Zalewski 2007). O uso intensivo de águas subterrâneas tem se intensificado nas últimas décadas e há necessidade urgente de formação de recursos humanos na tecnologia de monitoramento, estudo e planejamento territorial na gestão fundamental do ciclo hidrológico (Rogers, Llamas & Martinez-Cortina 2006, Hirata 2010).

Finalmente é importante enfatizar que, na formação de recursos humanos, uma maior aproximação e interação das áreas de engenharia e saneamento básico com hidrologia, oceanografia, limnologia e biologia aquática é necessária. Isto somente ocorrerá se o foco dos programas de formação em recursos hídricos for dirigido para áreas geográficas de limites relativamente bem estabelecidos, como as bacias hidrográficas, possibilitando o inter-relacionamento dos projetos de pesquisa, a capacitação em nível de mestrados, doutorados e pós-doutorados, e a formação de gerentes de recursos hídricos. A orientação para a resolução de problemas estocásticos interdisciplinares pode substituir com sucesso e orientação disciplinar (Tundisi 2010).

15. Conclusões e recomendações: prioridades estratégicas

Ao se considerar as necessidades estratégicas para a conservação de recursos hídricos no Brasil, em um horizonte de 30 anos, torna-se necessário apresentar algumas questões fundamentais, relacionadas com disponibilidade/demanda e impactos provenientes das múltiplas atividades humanas: **o desempenho da economia; as pressões e o aumento das pressões sobre a disponibilidade dos recursos hídricos; o aumento e a diversificação da demanda; o crescimento da população; o horizonte de crescimento das diferentes classes de estrutura econômica e a urbanização; o aumento da diversificação de renda, que geralmente diversifica a demanda por recursos hídricos; a necessidade de suprimento adequado de água, com saneamento básico também disponível a toda a população; a resolução dos passivos ambientais existentes; poluição e contaminação, como resultado do crescimento populacional e da economia do Brasil nos últimos anos (Barbosa 2008). A resolução de problemas sociais e de saúde pública, resultantes da falta de acesso à água de boa qualidade, é uma prioridade (MEA 2005). Deve-se ainda considerar que a expansão urbana e a instalação de infraestrutura (geração de energia, rodovias, canais, portos) geram pressões adicionais sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.**

Apesar dos avanços realizados em pesquisa – nas áreas de Limnologia, biodiversidade aquática, ciclos biogeoquímicos e Hidrologia, e dinâmica das águas superficiais e subterrâneas no Brasil - ainda há muitas demandas em pesquisa e desenvolvimento que são fundamentais para fornecer uma base sólida de conhecimentos indispensáveis à gestão. Os progressos na legislação e na governança da água também foram muito significativos, especialmente na última década, com a consolidação dos modelos de gestão e com a atuação da ANA. Apesar da riqueza, diversidade e abundância dos recursos hídricos no Brasil, em grande parte do seu território, a necessidade de investimentos prioritários em pesquisa, inovação e transferência de tecnologias para o setor público e privado é fundamental para manter a sustentabilidade dos processos ecológicos, produzir mais alimentos, impulsionar o setor industrial, proteger e conservar a biodiversidade e ampliar a capacidade de segurança coletiva da população, promovendo insumos científicos qualificados que possam gerar novas perspectivas e acelerar a capacidade de produzir cenários e antecipar impactos.

Reid et al (2010) propõem um aumento da capacidade de simulação, mediante modelos matemáticos com bancos de dados confiáveis para se ampliar a capacidade e habilidade de antecipar impactos, dadas determinadas ações humanas, em sistemas regionais com interações biológicas, geoquímicas, hidroquímicas e hidrológicas, utilizando escalas estacionais ou decadais.

A capacidade de desenvolver e manter sistemas observacionais que possam ser utilizados para gerenciar mudanças globais de impacto regional é outro componente fundamental do processo. A transferência destes conhecimentos para os tomadores de decisão é essencial e é um dos grandes desafios do processo estratégico em recursos hídricos (UNESCO/IHP 2004, MEA 2005).

A inovação deve ser estimulada em conjunto com mecanismos de avaliação. Inovações em tecnologias, políticas públicas e práticas de gerenciamento são também estratégicas para avançar na integração de políticas sociais e de segurança coletiva da população com a efetiva governança de recursos hídricos, promovendo novas e importantes perspectivas nas áreas de pesquisa e de gestão.

Em conjunto com estes processos na área de pesquisa, inovação e desenvolvimento tecnológico, a formação de recursos humanos com novas e criativas propostas é fundamental. A formação de recursos humanos deve ampliar a capacidade interdisciplinar dos programas de mestrado e doutorado em recursos hídricos, propor novos cursos para gerentes e tomadores de decisão, com visão sistêmica, interativa e capacidade preditiva e promover cursos técnicos de formação, para ampliar a capacidade de suporte técnico para a pesquisa, a inovação e a gestão de recursos hídricos.

A utilização de modelos matemáticos e ecológicos para simular futuros impactos em recursos hídricos superficiais e subterrâneos e nas bacias hidrográficas é outra importante tecnologia que deve ser estimulada em universidades e institutos de pesquisa. Bacias hidrográficas e recursos hídricos superficiais e subterrâneos são sistemas complexos e a compreensão destes processos deve ser aprofundada com modelagem matemática e ecológica. Projetos de recuperação de rios, lagos e represas e de conservação das águas superficiais e subterrâneas devem recorrer a esta tecnologia de modelagem e simulação para avaliar as respostas dos ecossistemas às intervenções, projetar custos e escolher alternativas. Há um conjunto muito grande de informações básicas no Brasil sobre recursos hídricos, ecossistemas aquáticos, biota aquática e biodiversidade. Houve considerável avanço conceitual com esta informação. **Mas há necessidade de um tratamento avançado destes dados com modelagem matemática preditiva para tornar mais eficiente a gestão.**

Os principais problemas críticos que necessitam de imediata ação e prioridades para suporte à pesquisa por parte dos governos e agências financiadoras são:

- Estudos e avaliações dos poluentes orgânicos persistentes (POPs), de seus impactos nos ecossistemas aquáticos e nos organismos, e de efeitos potenciais na saúde humana. Instalação de laboratórios para estudo e caracterização dos POPs.

- Estudos e desenvolvimento de tecnologias para avaliação dos efeitos de substâncias tóxicas: metais tóxicos, xenobiontes orgânicos e de suas consequências na biodiversidade e na saúde humana. Incluem-se nestes estudos avaliações dos impactos da eutrofização e de cianobactérias tóxicas. Estudos de acumulação de metais tóxicos na rede alimentar. Estudos sobre bioindicadores – identificação, caracterização e avaliação de bioindicadores da qualidade de água e toxicidade com metodologia para desenvolvimento de novos grupos de bioindicadores e teste de ecotoxicidade com espécies nativas.
- Interações entre bacias hidrográficas e seus usos e a qualidade de águas superficiais e subterrâneas. Dinâmica dos processos de impactos dos usos das bacias hidrográficas nos ecossistemas aquáticos continentais e costeiros. Interações entre processos biogeofísicos, econômicos e sociais em bacias hidrográficas de diferentes latitudes no Brasil (Tundisi 2008).
- Avaliação dos serviços ecossistêmicos dos sistemas aquáticos. Avaliação da importância econômica da biodiversidade aquática no Brasil e a valoração dos serviços de biodiversidade aquática e dos sistemas aquáticos em geral.
- Desenvolvimento de pesquisa e de tecnologia para técnicas de dessalinização de águas costeiras, estuarinas e marinhas, com custo acessível.
- Estudos da hidrodinâmica de rios, lagos e reservatórios, com a finalidade de determinar a circulação vertical e horizontal nesses ecossistemas e o destino de poluentes na água e no sedimento.
- Promover estudos avançados sobre mudanças globais e seus impactos nos recursos hídricos.
- Ampliar e aprofundar pesquisas na interface água e saúde humana. Aperfeiçoar estatísticas na área de saúde humana para detectar a situação real dos efeitos do nível da qualidade da água na saúde humana.
- Ampliar a capacidade de modelagem matemática de ecossistemas aquáticos com elaboração de cenários e capacidade preditiva.
- Estabelecer redes de competência e Centros de Estudos Avançados em recursos hídricos nas diferentes regiões do país.
- Atenção especial e apoio decisivo e contínuo à pesquisa básica em recursos hídricos na Amazônia e no Semiárido são fundamentais para o desenvolvimento sustentável destas regiões.

No plano gerencial as principais prioridades são:

- Ampliar e aprofundar a capacidade de governança da água em bacias hidrográficas e ampliar as redes de monitoramento hidrometeorológico,

hidrogeoquímico e de qualidade da água e acompanhamento da evolução das relações disponibilidade/demanda no plano regional (UNESCO/UNEP 2008).

- Promover um gerenciamento sistêmico e descentralizado com a bacia hidrográfica como unidade de gestão, estimulando e reforçando o papel gestor dos Comitês de Bacias e das Agências de Bacia. Estimular e apoiar o estabelecimento de Comitês de Bacias em todos os Estados e criar e apoiar as Agências de Bacias.
- Proteger e recuperar mananciais para aumentar a produção de água potável, preservar a qualidade da água, e diminuir os custos de tratamento. Proteger regiões de aquíferos. Investir em novas tecnologias para tratamento de água, ampliando a capacidade e a qualidade do tratamento, reduzindo custos e aplicando técnicas de reúso de água.
- Capacitar gerentes de recursos hídricos do setor público e privado, indústrias, agricultura e mineração, com uma visão sistêmica, integradora, preditiva e formação interdisciplinar. Capacitar técnicos em controle ambiental.
- Desenvolver mecanismos e ferramentas tecnológicas para adequação e adaptação do gerenciamento de recursos hídricos às mudanças globais (escassez e estresse). Análise e gestão do risco sanitário de contaminação a partir dos resultados do monitoramento e das conformidades com os sistemas de regulamentação.
- Melhorar a qualidade da água potável, controlar riscos e reduzir a vulnerabilidade da população humana à contaminação e à poluição. Analisar e diminuir as incertezas no monitoramento para maior segurança coletiva da população. Promover um vasto e abrangente programa de saneamento básico para resolver um dos problemas fundamentais do desenvolvimento do Brasil.
- Estabelecer um sistema de “observatórios” durante a construção de reservatórios na Amazônia com a finalidade de acompanhar as principais alterações econômicas, sociais e ambientais que ocorrem durante a construção e instalação do empreendimento.

Nas próximas décadas o Brasil deverá desenvolver um esforço relevante e significativo com grandes investimentos para fazer frente às demandas para água potável segura. Ênfase deve ser posta no gerenciamento integrado, em pesquisa e desenvolvimento, em educação (tecnológica, científica e para o grande público). A compatibilização de métodos para monitoramento, a organização de banco de dados e de sistemas de informação devem ser postas em prática levando-se em conta a diversidade ecológica, econômica e social do país e suas características regionais.

A integração continental na Bacia Amazônica e na bacia do Prata com o estabelecimento de projetos conjuntos de pesquisa científica e de gestão é outro avanço necessário em recursos hídricos, com a finalidade de instituir redes de competência internacionais no continente.

16. Referências bibliográficas

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS – **Amazônia: desafio brasileiro do séc. XXI**. São Paulo: Fundação Conrado Wessel, 2008.

ABE, D. S. et al. **The effect of eutrophication on greenhouse gas emissions in three reservoirs of the middle tietê river, southeastern brazil**; Verh. Internat. Limnol. Vol. 30, part 6, p. 822-825. 2009.

AFFONSO, A. G. In: **Water Quality Changes in floodplain lakes due to the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuai (Pará)**. Brazilian Journal of Biology. vol. 71, n. 3, pp. 601-610. 2011.

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Conjuntura**. 205 pp. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Conjuntura. Recursos Hídricos no Brasil**. 202 pp. 2009.

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Fórum Brasileiro de mudanças climáticas**. 348 pp. 2003 (pg. 42).

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Panorama da qualidade das subterrâneas do Brasil**. Brasília, 74 pp. Brasil, 15 de Setembro de 2005, [HTTP://www.ana.gov.br/pnrh](http://www.ana.gov.br/pnrh).

AGOSTINHO, A. A et al. In: **Ecologia e Manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Eduem Maringá. 501 pp. 2007.

AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. **Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters**. Conserv. Biol., vol. 19, n. 3, p. 646-652. 2005.

AGUIRRE M. S. The value of water and theories of economic growth. Pp. 93-102. In: Rogers P. P. et al. (eds.) **Water Crisis: Myth or reality**. **Foundation Marcelino Botin**. Taylor & Francis. 331 pp., 2006.

AZEVEDO, S. M. F. O. South and Central America: Toxic cyanobacteria In: CODD G. A. et al. (eds.). **Cyanonet: A global networks for cyanobacterial bloom and toxin risk managements** IHP-UNESCO, Paris, pp, 115-126. 2005.

BARBOSA, F. A. (Organizador). **Ângulos da Água. Desafios da Integração**. Editora UFMG, 365 pp, 2008.

BARKY T. et al **Bacterial mercury resistance from atoms to ecosystems**. Fems Microbiology Review, v. 27, pp. 355-84. 2003.

- BARLOW, M. & CLARKE, T. Who owns water? **The nation**. September, 2, 2002. <https://www.thenation.com/doc/20020902/barlow>. 2002.
- BARTHEM B. R. et al. Life strategies of some long distance migratory catfishes in face of hidroelectric dams in the Amazon Basin. **Biological Conservation**, Londres, v. 55, p. 339-345. 1991.
- BARTHEM B. R. Várzea Fisheries in the Middle Rio Solimões. Pp. 7-28. In: PADOCH, C. et al. (eds.). **Várzea: diversity, development, and conservation of Amazonia's whitewater floodplains**. The New York Botanical Garden Press. Advances in Economic Botany. Vol. 13. Series editor C. M. Peters. 405 pp. 1999.
- BARTHEM, R.;& GOULDING, M. **Um ecossistema inesperado: a Amazônia revelada pela pesca**. Peru: Amazon Conservation Association, (ACA, Sociedade Civil Mamirauá). 241p. 2007.
- BAYLEY, P. B. & PETRERE Jr. M., Amazon fisheries: assessment methods, current status and management options. In: Dodge, D. P. (Ed.). **Proceedings of the International Large River Symposium**. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., Ottawa, vol. 106, p. 385-398. 1989.
- BICUDO C. E. M. et al. Síntese pp. 219-222. In; BICUDO, C. E. M. et al. (eds.) **Águas do Brasil. Análises Estratégicas**. Academia Bras. Ciências, Inst. De Botânica. 222 pp. 2010.
- BICUDO C. E. M.; BICUDO D. Biodiversidade Aquática. **Nota técnica. Academia Brasileira de Ciências**. 4pp. 2010.
- BIGARELLA, J. J. Reef Sandstones from Northeastern Brazil (a survey on sedimentary structures). **Anais da Academia Brasileira de Ciências 47** (suplemento): 395-410. 1975.
- BRAGA B., ROCHA O., TUNDISI J. G. Dams and Environment: the Brazilian experience. **Water Resources Development**. Vol. 14, pp 127-140. 1997.
- BRAGA, B. P. F. et al. Pacto Federativo e gestão de águas. PP. 17-42. **Estudos Avançados**, vol. 22 (63) USP, 336 pp. 2008.
- BRAGA, B. et al. Monitoramento da quantidade e qualidade das águas. In: Rebouças A. et al. (eds) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras Editora, São Paulo, p. 145-160. (3ª edição). 2006.
- BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e

altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/CobrancaUso/_ARQSlegal/Geral/Legislacao%20Federal/Lei%209433%20-%2008Jan97%20-%20Institui%20a%20PNRH.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2008.

BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria MS. Nº 518/2004. Legislação Federal de 25 de Março de 2004.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto Nacional do Semiárido. Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas, INSA, UFRB. 2012.

CALIMAN, A. et al. **Temporal coherence among tropical coastal lagoons: a search for patterns and mechanisms.** Braz. J. Biol., vol.70, n.3, suppl, 803-814 pp. 2010.

CAMPELLO NETTO, M. S. C. et al. Manejo Integrado de Água no Semiárido brasileiro. In: CIRILO, J. A. et al. (orgs.) **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas.** Recife: ABRH - Editora Universitária UFPE, p.508. 2007.

CARDOSO F. et al. Poços tubulares construídos no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 15, Natal. Natal: ABAS. CD-ROM. 2008.

CIMINELLI V. S. T. & BARBOSA F. A. R. Água, Indústria Mineral, Conservação do Meio Ambiente e Biodiversidade pp. 39-64 In: BARBOSA F. A. R. (org.). **Ângulos da Água. Desafios da Integração.** Editora da UFMG. 366 pp. 2008.

CIMINELLI, V. S. T. **Os Recursos Hídricos e a Indústria Mineral – uma plataforma para o desenvolvimento nacional sustentável.** Nota técnica à Academia Bras. Ciências. 4 pp. 2010.

CIRILO. Integração das Águas Superficiais e Subterrâneas. In: CIRILO, J. A. et al. (org.) **O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas.** Recife: ABRH - Editora Universitária UFPE, p.508. 2007.

CIRILO, J. A. Políticas Públicas de Recursos Hídricos para o Semiárido. PP. 61-82. **Estudos Avançados.** Vol. 22 (63). 336 pp. USP. 2008.

CIRILO, J. A. et al. A Gestão da Água no Semiárido Brasileiro. Pp. 81-94. In: Bicudo C. et al. (orgs.). **Águas do Brasil: análises estratégicas.** ABC, Inst. Botânica. Pp. 222. 2010.

CONAMA. Resolução Conama Nº 357, de 17 de março de 2005.

CONFALONIERI, U. E. C. et al. **Água e Saúde: aspectos nacionais e internacionais**, IN: Bicudo, C. et al. (orgs.). **Água no Brasil: análises estratégicas**. Instituto de Botânica, S. Paulo. 2010.

CORREA, T. H. P. et al. **Escola da água**. Publicação Especial. AIIEGA. São Carlos: 63 pp. 2011.

COSTA, W. D. et al. Monitoramento das Barragens Subterrâneas no Estado de Pernambuco. In: V SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE ABRH/LARHISA, Natal, RN, 2000.

CPRM. **Mapa de domínios/subdomínios Hidrogeológicos do Brasil Escala 1:2.500.000**. 2007.

CRISTOPHIDIS, D. **Água: Genesis, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil. Relatório Técnico**. Pro Água. 18pp. 2006.

D'ALKIMIN, T. & DOMINGUES, A. Água na Agricultura e Pecuária. In: **Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e conservação**. REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. 3ª edição. p 367-398. 2006.

DEMETRIO, J. G. A. et al. Aquíferos Fissurais. In: CIRILO, J. A. et al. (Org.) **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas**. Recife: ABRH - Editora Universitária UFPE, pp.508. 2007.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA **Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 4: Sorocaba**. São Paulo: DAEE, 2v, 1982.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Folhas SF 23/24 (Rio de Janeiro / Vitória): geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro/RJ: DNPM, 780 p., 1983.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 84pp. 2008.

EPE (Empresa Brasileira de Energia), Relatório de 2012.

ESTEVES F. A. et al. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição revista e ampliada. Editora Interciência. 789 pp. 2011.

FEARNSIDE, P. M. **A água de São Paulo e a Floresta Amazônica**. Ciência Hoje. Vol. 34. pp. 63-65. 2004.

FEARNSIDE, P. M. **Environmental impacts of Brazil's Tucuruí dam: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia.** Environmental Management. Vol. 27, pp. 377-396. 2001.

FOLEGATTI, M. V. et al . Gestão dos Recursos Hídricos e agricultura irrigada no Brasil PP 15-23. In: BICUDO, C. E. M.;et al. **Águas do Brasil: análises estratégicas.** Secretaria do Meio Ambiente S. Paulo. Instituto de Botânica. 222pp. 2010.

FOSTER, S. et al. **Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environments agencies.** 1. ed. Washington: World Bank Group, v. 1. 103 pp. 2002.

GLEICK, P. H. "The Human Right to Water." Water Policy, Vol. 1, No. 5, pp. 487-503. 1999.

GOLLEY, F. B. & MEDINA, E. (eds). **Tropical Ecological Systems - Trends in Terrestrial and Aquatic Research.** Spring. Berlin: 366 pp. 2008.

GOODFRAY, C. J. C. H. et al Food Security: the challenge of feeding 9 billion people. Science vol. 327 pp.812-818. 2010.

GUARANI C. Economic and social impacts of implementing projects in food production and agroenergy. 47-65 pp. FGU. Projects. Agribusiness in Brazil., 104 pp. 2011.

HAFFER, J. Hypotheses to explain the origin of species in Amazonia **Brazilian Journal of Biology**, Vol. 68 (4,Suppl). pp. 917-947. 2008.

HARTMAN, P. **A Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento Econômico da Política Ambiental.** AEBA. 497 pp. 2010.

HESPANHOL, I. Conservação e reuso como instrumentos de gestão para atenuar os custos de cobrança pelo uso da água no setor industrial. Pp. 59-76. In Bicudo, C. E. M. (orgs.). **Águas no Brasil: Análises estratégicas.** Academia Brasileira de Ciências; Secretaria Meio Ambiente, Estado de São Paulo. 222 pp. 2010.

HIRATA , R. et al. Aquífero Guarani: oportunidades e desafios do grande manancial do Cone Sul. Grupo de Trabalho 4, In: 58a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Florianópolis, SC, Julho 2006.

HIRATA, R. **Os Recursos Hídricos Subterrâneos Brasileiros.** Nota técnica à Academia Brasileira Ciências. 4 pp. 2010.

HIRATA, R. et al. **Mapeamento da vulnerabilidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. V. 2. 1ª ed. 1997.

HIRATA, R. et al. Água Subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. Pp. 149-161. In Bicudo, C. E. M. et al. (orgs.). **Águas no Brasil: Análises estratégicas**. ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS; Secretaria Meio Ambiente, Estado de São Paulo. 222 pp. 2010.

IBGE. – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo da população do Brasil 2010.

INCT. Water, Mining and Biodiversity. Report. INCT/CNPQ. 50 pp. 2010.

INSTITUT DE FRANCE. ACADEMIE DE SCIENCES. Les Eaux Continentales. Directeur Ghislan de Marsily. **EDP Sciences**. 328 pp. 2006.

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS - IEA. **Dossiê Água**. Universidade de São Paulo. 336 pp. 2008.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. A report on Working Group II of IPCC. 2001.

JORGENSEN S. E.; Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T.; **Environmental Management of Inland Waters Ecosystems**. CRC Press (Taylor & Francis) 495 pp 2012.

JORGENSEN, S. E. et al. **Lake and Reservoir Management**. Elsevier Publishers, Amsterdam..502 pp. 2005.

JUNK W. J. Flood pulsing and the linkages between terrestrial, aquatic and wetland systems. **Verh Internat. Verein limnol**. Vol. 29, pp. 1-9. 2005.

JUNK, W. J. The use of Amazonian floodplains under an ecological perspective. **Interciência**, 14. 317-322. 1989.

JUNK, W. J., Áreas Inundáveis – um desafio para a limnologia. **Acta Amazonica**, 10(4): 775-795. 1980.

KELMAN, J. et al Hidroeletricidade. Pp. 507-543. In: REBOUÇAS, A. et al. **Águas Doces no Brasil : capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras Editora. 748 pp, 2006.

KEMENES, A. et al. Methane release below a tropical hydroelectric dam, **Geophysical Research Letters**, v. 34, 12. June 2007. DOI: 10.1029/2007GL029479.

KRASILCHICK, M. et al. Educação para a Sustentabilidade dos Recursos Hídricos. In: Bicudo C. E. M. et al. (orgs.). **Águas do Brasil - Análises Estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, v. 1, p. 133-144. 2010.

LACERDA et al. Total-Hg and organic-Hg in *Cephalopholis fulva* (Linnaeus, 1758) from inshore and offshore waters of NE Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 67, pp. 493-98. 2007.

LACERDA, L. D. Amazon Mercury emissions. **Nature**. Vol. 374, PP. 20-1. 1995.

LACERDA, L. D. and MOLISANI M. M. Three decades of Cd and Zn contamination in Sepetiba Bay SE Brazil: evidence from the mangrove oyster *Crassoscrea rhizophorae*. **Mar. Poll. Bull.** Vol. 52. pp. 969-987. 2006.

LACERDA, L. D. e MALM O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: Uma análise das áreas críticas. PP. 173-190. **Estudos Avançados** Vol. 22 (63) 336 pp. USP. 2008.

LACERDA, L. D. et al Dissolved Mercury concentrations and reactivity in mangrove Waters from the Itacurussá Experimental Foresta, Sepetiba Bay, SE, Brazil. **Wetlands ecology & Management**, v. 9, pp. 323-31. 2001.

LACERDA, L. D. et al. Estimating the importance of natural and antropogenic sources on N and P emission to estuaries along the Ceará State Coast. N. E. of Brazil. **Environment. Mon. t. Ass.** Vol. 141. pp. 149-164. 2008.

LACERDA, L. D. & SALOMONS W. **Mercury from gold and silver mining. A chemical time bomb?** Springer Verlag. 146 pp. 1998.

LANNA A. E. L. & BRAGA B.; .Hidroeconomia. In: Rebouças, A. et al. (eds.): **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Usos e conservação**. Escrituras Editora, 748 pp. 2006.

LANNA A. **Gerenciamento de bacias hidrográficas: Aspectos conceituais e metodológicos** Brasilia. IBAMA. 1995.

LLAMAS M. R. & MARTINEZ-CORTINA, L. (eds.). **Water Crisis: myth or reality. Fundación Marcelino Botin . Taylor & Francis. 386pp. 2006.**

MALM, O. et al. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira river Basin, Amazon/Brazil. **Ambio**, v. 19, nº 1, pp. 11-5. 1990.

MALM, O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. **Environmental research**. Vol. 77, pp. 73-78. 1998.

- MARENGO, J. A. **Água e mudanças climáticas**. PP. 83 – 96. Estudos Avançados. Vol. 22 (63). USP. 336 pp. 2008.
- MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e biodiversidade**. MMA. Brasília: 163 pp. 2006.
- MARENGO, J. A., DIAS, P. S..Mudanças Climáticas Globais e seus impactos nos recursos hídricos.pp63-109. **In: Rebouças A. Braga B. Tundisi J.G. (eds.) Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**, Editora Escrituras, SP, 748pp. 2006.
- MARENGO, J. A., W. SOARES, **Clima e Recursos Hídricos 9**. (Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, 2003).
- MARENGO, J. A. et al. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**. DOI 10.1007/s00382-009-0721-6. 2009.
- MARENGO, J. A. et al. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos 201-215. **In: BICUDO, C. E. M. et al. Águas do Brasil. Análises Estratégicas**. ABC. Instituto de Botânica. 222pp. 2010.
- MARGALEF R. Our Biosphere. **In: KINNE, O. (ed.) Excellence in Ecology**. Oldendorf Luke: Ecology Institute. 176p. 1997.
- MARINS, R. V. et al. Caracterização hidroquímica, distribuição e especiação de mercúrio nos rios Ceará e Pacoti, Região Metropolitana de Fortaleza Ceará, Brazil. **Geochimica Brasiliensis**. Vol. 16. pp. 37-48. 2002.
- MARTINELLI, L. A. et al Dissolved nitrogen in rivers: comparing pristine and impacted regions of Brazil. **Braz. J. Biol.** Vol. 70, nº 3 (suppl.) pp. 709 – 722. 2010.
- MASTRINE, J. A. et al. Mercury concentrations in surface waters from fluvial systems draining historical precious metals mining sites in southeastern USA. **Applied. Geochemistry**, v. 14, p. 147-58. 1999.
- MCGRANAHAN, G. & MARCOTULIO, P. Urban Systems. **In: Ecosystem and human well-being: current state and trends**. Vol. 1. Island Press, Londres. 2005.
- D. G et al. **Fisheries and the evolution of resource management on the lower Amazonian floodplain**. Human Ecology 22(2). 167-195, 1993.
- MELACK J. M. & FORSBERG B. Biogeochemistry of the Amazon floodplain lakes and associated wetlands. P. 235-276. **In: Mc CLAIN, M. E. et al. (eds.)**.

The biogeochemistry of the Amazon basin and its role in a changing world. New York. Oxford University Press. 384 pp. 2001.

MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and Human Well Being. A framework for assessment.** Island press. 245 pp. 2005.

MILLY, P. C. D. et al. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. **Nature**, v.438, 347-50, 2005.

MOLISANI, M. M. et al. Land-sea mercury transport through a modified watershed, SE Brazil. **Water research**, v. 41, pp. 1929-38. 2007.

MUKHERGY, A. Is intensive use of groundwater a solution for the world water crisis? Pp. 181-193. In: LLAMAS, M. R. & MARTINEZ-CORTINA, L. (eds.). **Water crisis: myth or reality?** Foundation Marcelino Botin. Taylor & Francis. 330 pp. 2006.

NAE, **Mercado de Carbono.** (Cadernos NAE, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica, Brasília, NAE-SECOM 2005b).

NAE, **Negociações internacionais sobre a mudança de clima; vulnerabilidade, impacto e adaptação á mudança de clima.** (Cadernos NAE, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica, Brasília, NAE-SECOM 2005a).

NAIMAN, R. J. et al. (eds.). **The Freshwater Imperative: a research agenda.** Island Press.. 165 pp. 1995.

NRIAGU, J. O. et al. Mercury pollution in Brazil. **Nature** Vol. 356. p. 389. 1992.

OECD. **Improving water management. Recent OECD Experience.** IWA Publishing, Londres: 128 pp. 2003.

PADOCH, C. et al. (eds.). **Varzea: diversity, development, and conservation of Amazonia whitewater floodplains.** The New York Botanical Gardens: advances in Economic Botany. Vol. 13. 405 pp. 1999.

PAERL H. W. & HUISMANN J. Blooms like it hot. **Science.** Vol. 320, pp 57-58. 2008.

PALERMO, E. F. A. et al Inorganic and methyl Mercury in suspended particulate matter and sediments of a slightly impacted reservoir of Brazil. **RMZ. Materials and Geoenvironment.** Vol. 51, pp. 1289-1291. 2004a.

PALERMO, E. F. A. et al Mercury level increase in fish tissues downstream the Tucuruí reservoir, Brazil. R. M. Z, Materials and Geoenvironment. Vol. 51, p. 1289-1291. 2004b.

PALERMO, E. F. A. et al. Mercúrio e metilmercúrio em plâncton, peixe, material particulado em suspensão e sedimento superficial de um antigo reservatório tropical, Brasil. In: PEREIRA, M. A. (org.). **Estudos sobre contaminação ambiental na Península Ibérica**. Viseu: Piaget, v. 1, p. 219-27. 2002.

PETREIRE JR., M. Pesca e esforço de pesca no estado do Amazonas. II – Locais e aparelhos de captura e estatística de desembarque. **Acta Amazonica**, 8(Supl. 2): 1-54. 1978.

PFEIFFER, W. C. & LACERDA, L. D. Mercury inputs into the Amazon region, Brazil. **Environmental Technology Letters**, v. 9, p. 325-30. 1988.

PORTO, M. F. A. & LA LAINA PORTO, R. Gestão de bacias hidrográficas pp. 43-62. **Estudos Avançados**. 336 pp. USP, vol.22, n. 63. 2008.

REBOUÇAS A. C. Águas subterrâneas. Pp. 111-143. In: REBOUÇAS, A. C. et al. (eds.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras Editoras. 748 pp. 2006.

REBOUÇAS, A. Águas Subterrâneas. In: Reboúças A., Braga B., Tundisi J. (eds.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, Escrituras Editora. p. 117-150. 1999.

REBOUÇAS, A. C. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.11, n.29, p.127-54, 1997.

REBOUÇAS, A.C. Groundwater in Brazil. **Episodes**. Vol. 11, Nº 3. pp. 209-219. 1988.

REBOUÇAS, A. et al. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. 3ª edição Revista e Ampliada**. Escrituras Editora. São Paulo: 748 pp. 2006.

REID W. V. et al. Earth system science for global sustainability: grand challenges. **Science**, vol. 330, pp. 916-917. 2010.

REVENGA, C., A. et al. **Watersheds of the world: ecological valve and vulnerability**. WRI. WWI. 163 pp. 1998.

RICHEY J. E. et al. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. **Nature**. 415. Pp 626-630. 2002.

Caso e Propostas de Manejo. EDUFSCAR. 416 pp. 2005.

ROGERS P. P. et al. **Water Crisis: myth or reality?** Fundação Marcelino Botin. Taylor & Francis. 330 pp. 2006.

ROGER, P. P.; LLAMAS, M. R. & MARTINEZ-SANTOS, P. (Editors). Significance of the silent revolution of intensive groundwater use in world water policy. In: Llamas, M. R. & Martinez-Cortina, L. (eds) **Water Crisis: myth or reality. Fundación Marcelino Botin . Taylor & Francis.** pp. 163-180, 2006.

ROOSEVELT, A. C. Twelve thousand years of human environment interaction in the Amazon floodplain. In PADOCH, C. et al (eds.), **Varzea: diversity, development, and conservation of Amazonia's whitewater floodplains**, Vol. 13 (pp. 371-392). Bronx, NY: The New York Botanical Garden Press. 405 pp. 1999.

ROULET, M. & LUCOTTE, M. Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferrallitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 80, p. 1079-85. 1995.

SALATI E. Mudanças Climáticas e o Ciclo Hidrológico na Amazônia. In: Fleichresser V. (ed.) **Causas, e dinâmica do desmatamento na Amazônia.** Ministério do Meio Ambiente (Brasília) D. F. PP. 153-172. 2001.

SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of Amazon Region. In: SIOLI, H. (ed.) **The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** W. Junk Publishers, 763 p. 1984.

SALAZAR, L.F., et al.. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, vol. 34, 9, 2007. Doi:10.1029/2007GL029695.

SALO J., K. R. et al. River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. **Nature**, v.322, p.254-258, 1986.

SANTOS, M. A.; ROSA, L. P. Greenhouse gas emissions from hydropower reservoirs: a synthesis of knowledge. **International Journal on Hydropower & Dams** 11: 1-4. (2011).

SANTOS, M. A et al. Estimate of degassing greenhouse gas emissions of the turbined water at tropical hydroelectric reservoirs. **Verhandlungen - Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie / Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology** 30: 834-837. (2009).

- SCHAEFFER, C.E.G.R et al. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): **A review**. Clay Miner., 43:1-18, 2008.
- SEELIGER U. et al. (eds.). **Subtropical Convergence environments: The coast and sea in the Southwestern Atlantic**. Springer. 308 pp. 1997.
- SHIKLOMANOV IA. **World Water resources and Water Use, present assessment and outlook for 2050**. State Hydrological Institute, St Petersburg, Russia. 1999.
- SHIVA, Vandana. **Water Wars. Privatization, Pollution and Profit**. Pluto Press. Londres: 156pp 2002l.
- SILVA G. A & KULAY, A. L.. Água na Indústria. In: REBOUÇAS, A. C. et al. **Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3ª ed. p 367-398. 2006.
- SILVA, J. A. A. et al. **O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo**. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, SBPC; Academia Brasileira de Ciências, ABC. 124p. 2011.
- SIOLI H. **The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river basin and its basin**. Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht. 763 pp. 1984.
- SIOLI, H. Tropical river: the Amazon. In: WHITTON, B.A. (ed), **River Ecology**. Blackwell, Oxford., p. 461-488. 1975.
- SPIPK F.R. Virologia Aquática e Saúde Humana: desafios a frente. **Nota Técnica**. Academia Brasileira de Ciências. 4pp .2010.
- STRASKRABA, M & TUNDISI, J. G. **Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos**. Volume 9. **Gerenciamento da qualidade da água de represa**. IIE/ ILEC 300pp. 2008.
- STRASKRABA, M. et al. **Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 293p. 1993.
- STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Reservoir Water Quality Management: Guidelines of Lake Management**. Kusatsu, Japan: International Lake Environmental Committee, v.9, 227p. 1999.
- SUDENE PLIRHINE: **Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste**. Recife: 1980.

TELLES, D. D. & DOMINGUES, A. F. Água na Agricultura e Pecuária. In: REBOUÇAS, A. C. et al. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª ed. São Paulo: Escrituras Editora pp. 325-365, 2006.

TUCCI, C. E. M. & BRAGA B. (orgs.) **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. ABRH. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. ABRH; RHAMA. 389 pp. (1ª edição). 2007.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. PP. 97-112. **Estudos Avançados**. Vol. 22 (63) USP 336 pp. 2008.

TUCCI, C. E. M.; MENDES A. C. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. MMA. PNUD. P.311. 2006.

TUCCI, E. M. C. Recursos hidrológicos e os impactos do uso do solo. pp. 31-76. In: Tucci C. E. M. Braga B. (organizadores). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. ABRH ANA GWP Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 348 pp. 2003.

TUCCI, C. E. M. 2010. Urbanização e Recursos Hídricos. pp. 113-128. In BICUDO, C. E. M. et al. (orgs.) **Águas do Brasil. Análises Estratégicas**. Academia Brasileira de Ciências; Secretaria do Meio Ambiente. Estado de São Paulo. 222 pp. 2010.

TUNDISI, J. G. et al. **How many more dams in the Amazon?** 2013 Submitted.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA TUNDISI T. **Limnology**. Taylor & Francis. 832 pp. 2012.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI T. Potential impacts of changes in the forest law in relation to water resources. **Biota Neotrópica**. Vol. 10 N° 4. Pp. 67-76. 2010.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI T. The lagoon region and estuary ecosystem of Cananéia, Brasil. **Ecological studies**. vol. 14 U. Seeliger and B. Fjefue (Editors). Springer Verlag, Berlim., pp. 119-130. 2001

TUNDISI, J. G. & STRASKRABA M. **Theoretical reservoir ecology and its applications**. BAS. Backhuys Publishers; International Institute of Ecology. 585 pp. 1999.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA TUNDISI T. **Limnologia**. Oficina de Textos Editora 632. PP. 2008.

- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI T. **Recursos Hídricos no Século 21**. Oficina de textos. 328 pp. 2011.
- TUNDISI, J. G. Exploração do potencial hidroelétrico da Amazônia. pp. 109-117. In: **Estudos Avançados, USP. Dossiê Energia**, Vol. 59, 382 pp. 2007a.
- TUNDISI, J. G.. Coupling surface and groundwater research: a new step towards water management. In: **Integrating Science and Technology into development policies: an international perspective**. OECD.. P. 163-169. 2007b.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI T. Ciência, Tecnologia, Inovação e Recursos Hídricos: oportunidade para o futuro. 2010 a PP. 179-197. In: BICUDO C. E. M et al. (orgs.). **Águas do Brasil. Análises estratégicas**. ABC; Inst. Botânica 221 pp. 2010.
- TUNDISI, J. G. **Tema: Água – Recursos Hídricos superficiais e subterrâneos**. Texto para subsidiar a elaboração do Plano Nacional de Pós Graduação. 2011-2020. CAPES 17 pp, 2010.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI T.; TUNDISI J. E. M. Reservoir and human well being: New challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. **Brazilian Journal of Biology**. Vol. 68 Number 4 (Suppl.) pp. 1133-1135, 2008.
- TUNDISI J. G. & SCHEUENSTUHL M. C. La Política Hídrica en Brasil . pp. 97-109. In: JIMÉNEZ CISNEROS, B. y TUNDISI, J. G. (orgs.). **Diagnostico del Agua en las Americas**. IANAS, Water Programme. 445 pp. 2012.
- TUNDISI, J. G. et al. **Limnologia e Manejo de Represas**. Série Monografias em Limnologia.. EESC-CRHEA – São Paulo Academia Brasileira de Ciências vol. 1 tomo 1, 506pp. Tomo 2, 440 pp. 1988.
- TUNDISI, J. G. Water Programme: bridging water research, innovation and management: enhancing global water management capacity . In: **Integrated water resources management**. Royal Scientific Society Jordan, IAP Water Programme, WAITRO. p 1-10. 2009.
- TUNDISI, J. G.; SCHIEL D. A Bacia Hidrográfica como Laboratório Experimental para o Ensino de Ciência, Geografia e Educação Ambiental. In: Schiel, D. et al. (orgs.). **O Estudo de Bacias Hidrográficas - Uma estratégia para educação ambiental**. IEA, CDCC, Ford Foundation, São Carlos: Rima Editora, v. 1, p. 12-17, 2002.
- TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**. Vol. 22 (nº 63) pp. 7-16. 2008.

TUNDISI, J. G. A situação de recursos hídricos no Brasil envolve problemas de qualidade e quantidade. **Revista Nova Escola Meio Ambiente**. 2010.

TUNDISI, J.G. & SAIJO, Y. (eds.). **Limnological Studies in the Rio Doce Valley**. Brazilian Academy of Sciences. Univ. of S. Paulo. 513 pp. 1997.

UNESCO/IHP. **Integrated Watershed Management. Ecohydrology & Phytotechnology Manual**. UNEP / IETC. 246 pp.

UNESCO/UNEP **Water quality for ecosystem and human Health**. IAP, ERCE, GEMS, water. 120 pp. 2008.

UNICEF/WHO **Progress in Drink Water and Sanitation 58 pp. 2012.**

VAL A. L. et al. Hypoxia and petroleum: extreme challenges for fish of the Amazon. In: Rupp G. & White M. D. (eds.). **Fish Physiology, Toxicology, and Water Quality**. EPA, USA, Proceedings of the seventh International Symposium Tallinn. Estonia. Vol. 1, pp. 227-241. 2003.

VAL A. L. & ALMEIDA VAL V. M. F. **Fishes of the Amazon and their Environments: physiological and biochemical features**. Springer Verlag, Heidelberg, 235 pp. 1995.

VAL A. L. et al. Amazonia: Recursos hídricos e sustentabilidade. pp. 95-109. In: Bicudo C. et al. (orgs.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. ABC, Inst. Botânica. 222 pp. 2010.

VAL A. L. Surviving low oxygen levels: Lessons from fishes of the Amazon. pp. 59-70. In Val, A. L et al. (eds.) **Physiology and Biochemistry of the Fishes of the Amazon**. INPA, Manaus. 402p1996.

VECCHIA Assessment of enteric viruses in a sewage treatment plant located in Porto Alegre Southern Brazil. **Braz. J. Biol.** vol.72, N°4. pp 839-846, 2012.

ZALEWSKI, M. et al. (eds.). **Intergrated Watershed Management. Ecohydrology and phytotechnology manual**. UNESCO IHP, UNEP IETC. 246 pp. 2004.

ZALEWSKI, M. Ecohydrology in the face of the Anthropocene. **Ecohydrology & Hydrobiology** 7(2) pp 99-100. 2007.

ZOBY, J. Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 15. Natal: ABAS. CD-ROM. 2008.

