

# Crise nas Águas

Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas.



1<sup>a</sup> Edição

• 2015 •

Ricardo Motta Pinto-Coelho  
& Karl Havens

  
**Recóleo**  
Caixa e Reciclagem de Óleo Vegetal  
• editora •

502.7(28) Pinto-Coelho, Ricardo Motta.

Crise nas Águas. Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas / Ricardo M. Pinto-Coelho & Karl Havens. - Belo Horizonte: [s.n.], 2015.

162 p. : il.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-61502-05-8

1. Crise da água. 2. Ecossistemas aquáticos. 3. Governança. 4. Água e educação. 5. Águas - Aspectos ambientais. 6. Educação ambiental. 7. Escassez da água. I. Havens, Karl. II. Título.

CDU: 502.7(28)

Ricardo M. Pinto-Coelho<sup>1</sup> & Karl Havens<sup>2</sup>

(1) Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Brasil

(2) Sea Grant Programme, University of Florida - UF, USA

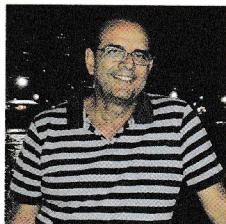
# Crise nas Águas

Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas.

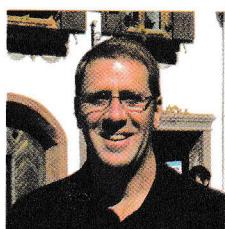
1<sup>a</sup> Edição

Recóleo  
Belo Horizonte (MG)

• 2015 •



**Ricardo Motta Pinto-Coelho** é professor e atua há mais de 30 anos no Departamento de Biologia Geral da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Suas atividades de pesquisa concentram-se nas áreas de Limnologia e gestão de reservatórios, Ecologia de organismos aquáticos e nos impactos da eutrofização sobre a biota aquática. Dedica-se, ainda, ao ensino de Ecologia geral, Limnologia, incluindo vários cursos a distância (e-learning) em Ecologia geral. Atuou como coordenador do curso de Pós-Graduação de Ecologia e Conservação da UFMG (2002-2006). Foi presidente do Fórum Nacional de Coordenadores de Cursos de Pós-Graduação em Ecologia (2005-2006). Participou como membro e coordenador de várias câmaras de assessoramento científico da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – Fapemig, (2004-2009). Foi eleito presidente da Sociedade Brasileira de Limnologia (SBL) para o mandato de 2005-2007, e atuou como presidente executivo e vice-presidente da Fundação UNESCO-HidroEX (2010-2011). Exibe uma extensa lista de artigos científicos publicados em revistas de renome nacionais e internacionais (61 artigos), e tem editado vários livros didáticos (11 livros). Recentemente, vem atuando nas áreas de crescimento sustentável com ênfase na reciclagem ambiental e em vários projetos aplicados, voltados para o desenvolvimento da aquicultura em águas continentais.



**Karl Havens** é professor no Instituto de Agricultura e Ciências Agrárias da University of Florida (UF/IFAS). Tem 25 anos de experiência profissional em ensino, pesquisa e extensão nas áreas de Ecologia de organismos planctônicos e Limnologia de lagos e estuários, especialmente no que se refere aos efeitos da eutrofização nesses ecossistemas. Está particularmente interessado no impacto de agentes estressores naturais e humanos na estrutura e função do plâncton e de outros componentes dos ecossistemas aquáticos. Já publicou mais de 130 artigos científicos em revistas de grande renome internacionais, além de ter escrito vários capítulos de livros, uma série de artigos de revisão como pesquisador convidado e um livro editado com colegas da República da China. Tem atuado, cada vez mais, na área de extensão universitária, sendo atualmente diretor do Sea Grant Program/Florida. Trata-se de um programa de extensão universitária financiado pelo governo americano por meio da Agência Nacional Oceans and Atmosphere Administration (NOAA). Este programa busca uma integração sustentável entre os diversos setores produtivos ligados às áreas costeiras e marinhas dos EUA, com a pesquisa, o ensino e a gestão de recursos hídricos em geral. O professor Havens atua ainda na orientação a bolsistas em diversos programas de pós-graduação. Possui colaboração estreita com cientistas do Canadá, Itália, Holanda, Dinamarca, Brasil, Japão, China, Coreia e Turquia, dentre outros países.

O Homem nunca terá o suficiente se possuir demais

*Man can never have enough having too much*

William James

# Índice

<b>Prefácio</b>	<b>6</b>	Zonas litorâneas e o homem	<b>88</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>	Casos de estudo	<b>90</b>
1.1 O que é uma crise	<b>10</b>	7.3.1 A Baía de Apalachicola, Golfo do	<b>90</b>
1.2 Balanço hídrico e usos múltiplos	<b>16</b>	México, EUA.	
<b>2 Água e a história humana</b>	<b>20</b>	<b>8 Aquíferos</b>	<b>92</b>
<b>3 Água e Economia</b>	<b>24</b>	8.1 Principais aquíferos	<b>95</b>
3.1 - Água e energia	<b>30</b>	8.2 Uso global de aquíferos	<b>97</b>
3.2 Pesca e aquicultura	<b>33</b>	8.3 Casos de estudo	<b>100</b>
<b>4 Rios</b>	<b>36</b>	8.3.1 Contaminação por nitratos	<b>100</b>
4.1 A importância ecológica dos	<b>40</b>	8.3.2 Perfuração de poços de	
grandes rios	<b>43</b>	petróleo e a contaminação	
4.2 Grandes rios e o ciclo do carbono	<b>43</b>	de aquíferos	<b>102</b>
4.3 Casos de estudo	<b>43</b>	8.4 Desafios para a gestão sustentável	<b>104</b>
4.3.1 Rio São Francisco	<b>47</b>	de aquíferos	
4.4 Os rios e o Homem	<b>51</b>	<b>9 Geleiras e calotas polares</b>	<b>105</b>
<b>5 Lagos</b>	<b>59</b>	<b>10 Águas urbanas</b>	<b>112</b>
5.1 Lagos salinos	<b>60</b>	10.1 O mundo está se urbanizando	
5.1.1 Origem do desastre ambiental	<b>61</b>	cada vez mais	<b>112</b>
no Mar de Aral	<b>63</b>	10.2 O consumo de água nas cidades a	
5.2 O Lago como um ecossistema	<b>63</b>	questão do saneamento	<b>116</b>
5.3 Casos de estudo	<b>63</b>	10.3 A vida nas cidades, o automóvel e	
5.3.1 O Lago Okeechobee, Flórida, EUA.	<b>65</b>	as águas urbanas	<b>118</b>
5.3.2 Impactos de espécies exóticas de	<b>71</b>	10.4 Casos de estudo	<b>121</b>
peixes no distrito lacustre do rio	<b>71</b>	10.4.1 A crise das águas em São Paulo	<b>121</b>
Doce, Brasil	<b>74</b>	10.4.2 Represa da Pampulha	<b>123</b>
<b>6 Reservatórios</b>	<b>77</b>	<b>11 Educação para as águas</b>	<b>127</b>
6.1 Importância dos reservatórios para	<b>80</b>	11.1 Educação para as águas no Brasil	<b>132</b>
a humanidade	<b>80</b>	<b>12 Água e governança</b>	<b>135</b>
6.2 Reservatórios e o grau de	<b>81</b>	12.1 Gestão das águas no Brasil	<b>140</b>
comprometimento das principais	<b>82</b>	12.2 Existe governança das águas no Brasil?	<b>144</b>
bacias hidrográficas mundiais	<b>82</b>	12.3 Gerenciamento das águas no Brasil:	
6.3 Impactos ambientais de reservatórios	<b>85</b>	para onde devemos caminhar?	<b>146</b>
6.4 Casos de estudo	<b>85</b>	<b>13 O Futuro das Águas</b>	<b>147</b>
6.4.1 Reservatório de Furnas	<b>85</b>	13.1 Economia "marrom" versus	
6.4.2 Reservatório de Nova Ponte	<b>85</b>	economia "verde"	<b>152</b>
6.4.3 Reservatório de São Simão	<b>85</b>	13.2 Modelos de desenvolvimento,	
<b>7 Estuários e águas costeiras</b>	<b>85</b>	meio ambiente e o futuro	<b>154</b>
7.1 Estuários	<b>85</b>	<b>14 Bibliografia</b>	<b>156</b>



## Prefácio

O documento “Agenda 21”, aprovado pela Conferência sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), entre os dias 3 e 14 de junho de 1992, na cidade do Rio de Janeiro (conhecida como “Rio 92”), é de importância histórica. Marcou o início de uma mudança de paradigmas no trato da questão ambiental, já que convoca diferentes segmentos da sociedade para uma atuação ativa nesta questão. Esse documento abriu caminho para uma série de transformações sociais, políticas e para a vida econômica dos países, transformações que visavam não somente ampliar as ações de conservação e recuperação dos recursos naturais, mas também promover o crescimento sustentável. Entretanto, passados mais de vinte anos, o que podemos contabilizar de progressos efetivos na área ambiental? Temos uma base legal mais adequada; temos vários setores produtivos engajados; temos ações de governos e tratados internacionais mais focados na questão ambiental; temos uma sociedade mais consciente e mais engajada nas lutas em prol da melhoria das condições ambientais. Entretanto, apesar de todos esses avanços, muitos deles desencadeados pela Conferência Rio 92 e que foram reforçados por outros eventos que vieram depois (exemplo: Rio+20 etc.), os problemas ambientais estão aumentando a uma taxa preocupante, e o que é pior, os mecanismos de prevenção, controle e reversão da degradação das águas estabelecidos pelos tomadores de decisão nos níveis local, regional, nacional e internacional parecem não ter a eficácia pretendida.

O objetivo deste livro é demonstrar que estamos vivendo um momento na questão ambiental que chamamos de “fora de controle”. Os cenários modelados e previstos há uma ou duas décadas estão sendo atropelados pela realidade. Centenas de publicações científicas, do mais alto nível, vêm demonstrando que existem aumentos nas temperaturas da superfície da Terra, aumentos de frequência e intensidade dos desastres climáticos (secas, enchentes etc.), aumento do nível dos oceanos e de sua acidez, com a rápida degradação dos corais em todos os continentes. Os cientistas dispõem de dados que mostram uma clara e inexorável redução das geleiras. Vêm constatando uma perda de florestas tropicais com a redução de vazão de seus rios, um aumento global da eutrofização das águas dos rios, lagos e reservatórios e uma crescente salinização ou mesmo poluição em aquíferos importantes. Todos esses índices negativos sinalizam, claramente, a existência de uma crise ambiental que vem afetando toda a biosfera e suas águas de modo particular (Fig. P-1).

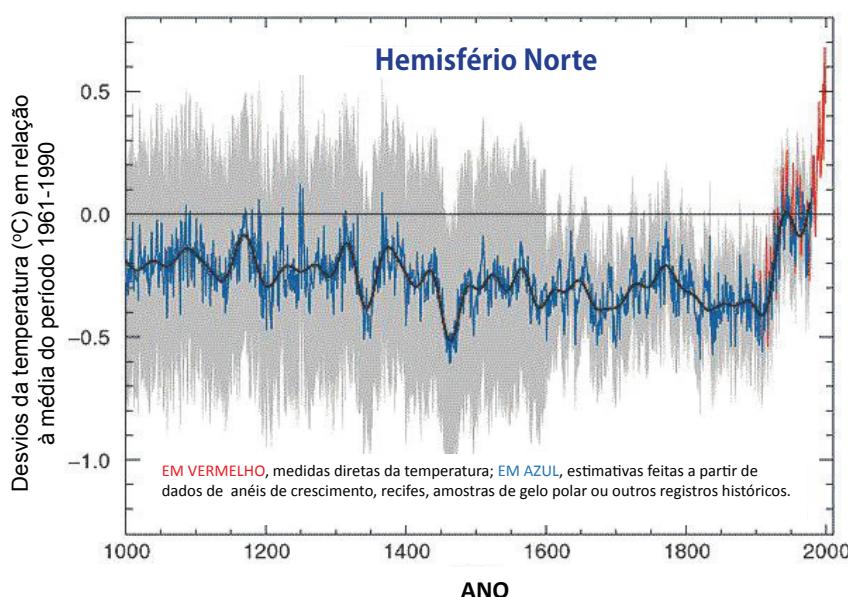


Figura P-1 – O efeito “Hockey Stick”. O gráfico modela as oscilações das temperaturas médias da Terra, em graus Celsius, ao longo dos últimos 2.000 anos (Mann, 2012). É possível notar um claro aumento da temperatura média da Terra nos últimos 100 anos. Os aumentos das temperaturas médias têm impactos importantes em todos os ecossistemas e no mundo aquático em particular.

Os acordos internacionais, que envolveram diversas questões ambientais, assinados nos últimos anos (Fig. P-2) e os progressos na governança deles advindos levaram a um melhor controle sobre alguns processos econômicos importantes (exemplos: limites à pesca, emissão de gases que afetam a camada de ozônio). Não esquecendo também do enorme acúmulo de conhecimentos técnico-científicos na área ambiental ocorrido nesse mesmo período. Entretanto, apesar de estarmos vivendo na era da conectividade digital, existe uma grande falta de conectividade entre as agendas econômicas e a realidade ambiental em quase todos os continentes. Como isso é possível?

### Ratificação de acordos internacionais - questões ambientais (1971-2007)

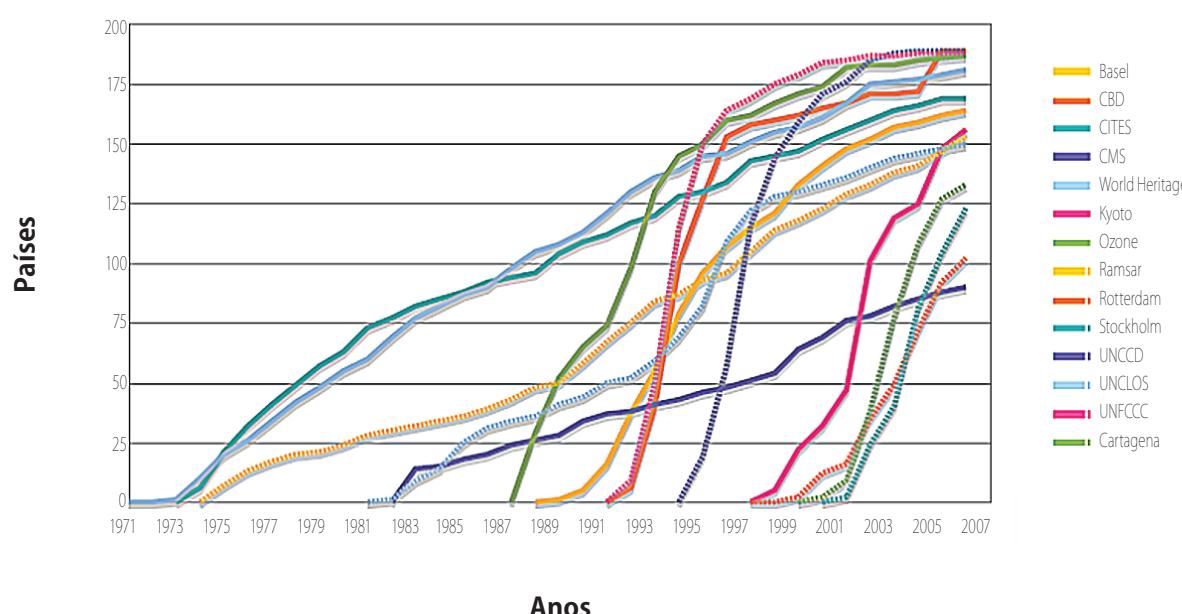


Figura P-2 – Adesão dos países aos principais acordos multilaterais em questões ambientais, no período 1971-2007 (Modificado da Fig.1.1, Pag. 9, UNEP-GEO4 (2007)).

Este livro traz um painel da riqueza dos recursos hídricos do Planeta e do seu crescente comprometimento em função das atividades humanas. Contém uma vasta gama de informações atualizadas, apresentadas da forma mais didática possível.

A obra está dividida em treze capítulos. Após o capítulo introdutório, dois outros tratam, respectivamente, da história do uso da água pelo homem e da importância da água para a economia. Em seguida, há seis capítulos que tratam dos principais tipos de ecossistemas aquáticos (rios, lagos, reservatórios, estuários e áreas litorâneas, aquíferos, geleiras e calotas polares). Em cada um desses capítulos, o leitor irá encontrar considerações sobre a importância ecológica e ambiental dos importantes compartimentos da biosfera. Casos de estudos, cuidadosamente selecionados, são também tratados com detalhes em cada um desses capítulos. Esses exemplos de estudos procuram demonstrar a grande influência do homem nos ecossistemas, não só piorando a condição ecológica do ambiente, mas também gerando numerosos conflitos sociais, econômicos e até geopolíticos.

As águas urbanas são tratadas no Capítulo 10 que apresenta os principais problemas que os recursos hídricos enfrentam em função da crescente urbanização. O leitor irá encontrar alternativas que demonstram que o homem pode ter uma convivência harmônica e usar com mais eficiência os recursos hídricos que estão bem à sua volta dentro das cidades.

O livro traz ainda um capítulo sobre a educação para as águas (Capítulo 11) e outro sobre governança das águas (Capítulo 12). Tais capítulos podem ser vistos como “ferramentas”, para que as mudanças necessárias possam ser feitas na sociedade e nos sistemas de gestão das águas. Essas duas “ferramentas” são essenciais para que as principais metas voltadas à recuperação e conservação dos recursos hídricos possam ser atingidas.

O capítulo final deste livro (Capítulo 13) apresenta e discute alternativas de superação para a atual crise nas águas, procurando enfatizar as estreitas relações entre a atual crise nas águas e a ausência de um verdadeiro comprometimento com o meio ambiente por parte dos nossos governantes.

Este livro foi concebido, desde o seu início, para ser um instrumento de motivação voltado à mudança de comportamento de amplos segmentos da sociedade. Poderá ser usado por estudantes universitários, tomadores de decisão locais ou regionais, por docentes do ensino médio e superior, por empresários e gestores ambientais de empresas e organizações não governamentais (ONGs).

Os autores possuem vasta experiência no trato da questão dos recursos hídricos. Apesar de viverem sob culturas e estudarem ecossistemas bastante diferenciados, compartilham um grande amor e profundo respeito pelas águas do Planeta. Assim, o livro foi escrito não só como um alerta, mas para mostrar quais são os melhores caminhos para a conservação e recuperação das águas doces do nosso Planeta, para as futuras gerações.



O livro resulta de uma extensa pesquisa bibliográfica realizada junto a fontes primárias e secundárias de dados ambientais, cujas citações estão disponíveis na bibliografia, ao final do livro. Entretanto, merecem ser destacados dois conjuntos de citações bibliográficas cuja contribuição foi muito maior do que simples fontes de dados científicos: (1) livros editados pela Organização das Nações Unidas para Ciência e Cultura (UNESCO, 2006; UNESCO, 2009 a e b; UNESCO 2011; UNESCO 2012; UNESCO, 2014 a e b) e (2) obras editadas pelo Programa para o Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) (UNEP, 2006, 2007, 2008, 2014).

Os autores agradecem o apoio das Dras. Marlene A. Ribeiro Gomide e Rosely A. Ribeiro Battista (Epamig-MG) que executaram uma criteriosa revisão gramatical do manuscrito; à profa. Dra. Eliane Vieira (Unifei, Itabira), pela grande ajuda na montagem do banco de dados georeferenciados usado nessa obra e aos biólogos Tarcísio Caires Brasil e MSc. Eliane Elias (ambos da Icatu Meio Ambiente Ltda.) pela confecção e revisão dos inúmeros cartogramas usados nesse livro. Agradecemos também, ao publicitário Cezar Costa da CZK Comunicação, pela criação do projeto editorial e produção gráfica dessa obra. Finalmente, os autores expressam seus agradecimentos especiais à Fundação CAPES (Ministério da Educação, governo federal do Brasil), e a *Fulbright Commission* (EUA) que, juntas, concederam uma bolsa de professor visitante ao prof. Ricardo M. Pinto-Coelho, durante o segundo semestre de 2013, na *University of Florida*, Gainesville (Florida, USA). Esta bolsa possibilitou o planejamento do livro, as inúmeras pesquisas bibliográficas realizadas e a redação inicial dessa obra.

# 1 - Introdução

A Limnologia (Hidrobiologia) é a ciência que estuda a Ecologia das águas continentais. Trata-se de uma ciência nova, multidisciplinar que sempre contou com o apoio da Química, Zoologia, Botânica, Geociências e várias outras ciências exatas (Física, Computação etc.).

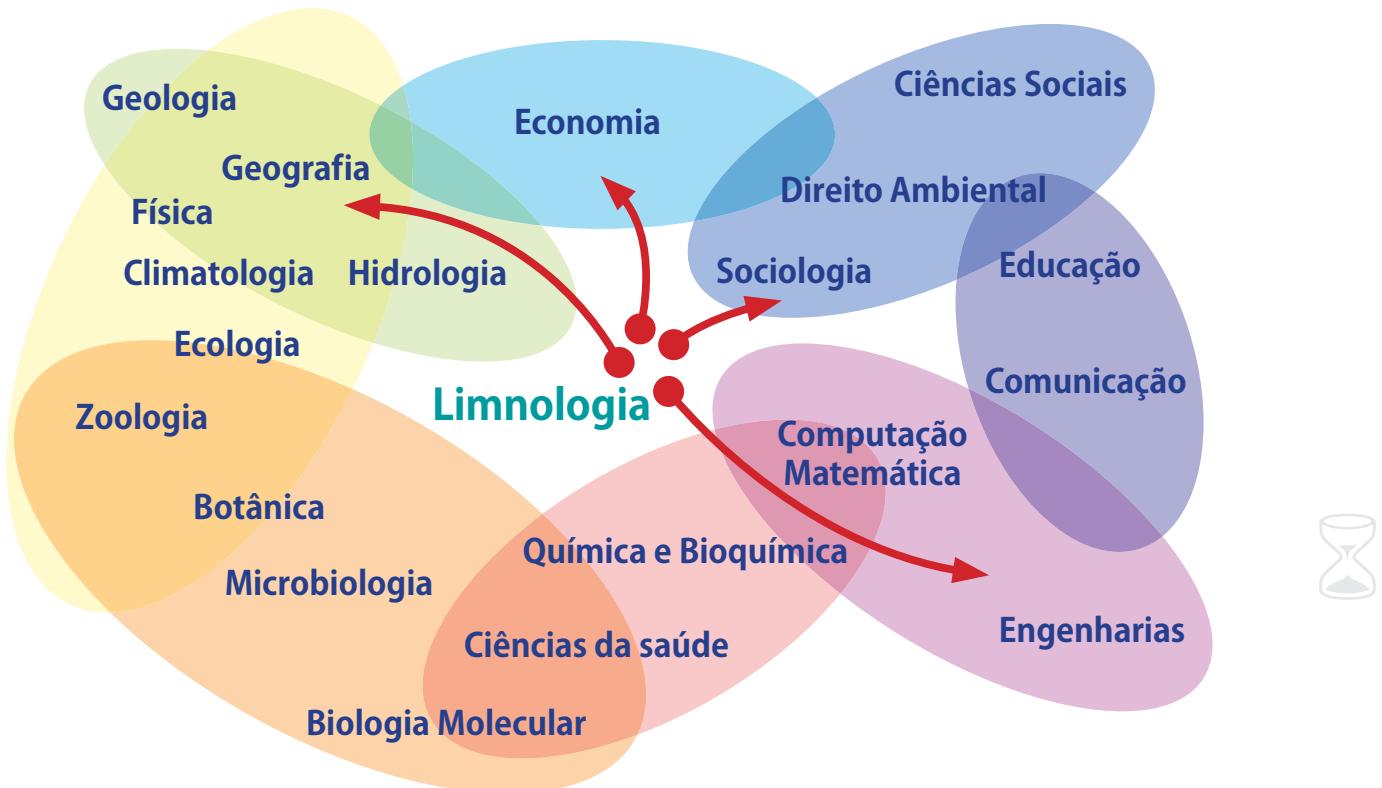


Figura 1.1 - A Limnologia é uma ciência jovem que surgiu da necessidade do estudo das águas interiores ou epicontinentais. Ao longo dos últimos 150 anos, acumulou um vasto conhecimento que só agora começa a ser aplicado nas ciências humanas.

Ao longo dos últimos anos, a Limnologia, assim como várias outras Ciências Ambientais (Ecologia, Biogeoquímica, Geologia, Geografia etc.), acumulou um vasto conhecimento que nos permite constatar uma crescente degradação ambiental em quase todos os tipos de ecossistemas aquáticos continentais. Apesar dos grandes progressos alcançados, a Limnologia ainda não foi capaz de fornecer conhecimentos suficientes para induzir a sociedade atual a adotar mudanças de comportamento capazes de reduzir ou impedir o processo de crescente destruição e de usos não sustentáveis dos ecossistemas aquáticos (Fig. 1.1).

Nesse livro, será demonstrado que, em muitos casos, a degradação causada pelo homem pode ainda ser revertida. Muitos cientistas, no entanto, vêm alertando que estamos nos aproximando de um ponto de “não retorno” para alguns casos, ou seja, de um ponto a partir do qual não será mais possível retornar às condições do passado (exemplo: aumento do nível dos oceanos). Será que teremos que chegar a um ou vários desses pontos para então começarmos a agir? Vivemos uma crise nas águas da biosfera? Mas, afinal, o que é uma crise?

## 1.1 - O que é uma crise?

Uma crise é uma mudança brusca ou uma alteração importante em um processo ou estrutura organizada da sociedade humana. A crise pode ser analisada tanto em termos de alterações estruturais, quanto simbólicas. Uma crise pode também estar associada a algum tipo de escassez (exemplo: a crise do petróleo, de 1973).

Uma crise pode ter várias escalas. No caso de uma pessoa, por exemplo, uma doença séria pode levar a uma crise pessoal. Uma crise de nervos ocorre quando uma pessoa perde o controle sobre suas emoções e passa a ter manifestações comportamentais agressivas, depressivas etc. Existem as chamadas crises da idade. As pessoas, ao chegarem aos 30, 40, 50 ou 60 anos podem sofrer muito, já que muitas delas não são capazes de enfrentar e de se adaptar às mudanças inexoravelmente associadas a essas faixas etárias.

As crises passam a ser sociais, quando transcendem ao indivíduo e passam a afetar grupos maiores de pessoas, grandes ou pequenos segmentos ou mesmo uma sociedade por inteiro. As crises vividas pela sociedade humana afetam o bem-estar das pessoas. Elas podem afetar as relações sociais, a segurança, a saúde e as necessidades materiais das pessoas (Fig. 1.2).



Figura 1.2 - Independentemente do ambiente social, cultural e estágio de desenvolvimento econômico das diferentes populações humanas, são quatro os principais vetores que definem o bem-estar de um dado grupo social: (a) saúde; (b) segurança; (c) relações sociais e (d) necessidades materiais. As crises sofridas pela humanidade, ao longo de sua história, têm sido deflagradas quando o bem-estar de grandes parcelas da população humana têm seu bem-estar ameaçado por um ou mais fatores, tanto internos quanto externos.

Os anos 60 foram caracterizados por grandes mudanças sociais e políticas causadas por crises que afetaram grandes segmentos e grupos sociais (crise dos mísseis soviéticos em Cuba, movimento pelas liberdades do indivíduo, em Paris, em 1968, movimento hippie etc.).

O termo crise, entretanto, tem sido aplicado de forma muito mais frequente às bruscas oscilações na economia dos países, de grupos de países ou mesmo em termos globais. As crises econômicas são caracterizadas pela prevalência generalizada de índices negativos (PIB, renda *per capita*, índices de atividade comercial e de emprego) ligados à performance econômica de um dado país ou grupo de países. As crises econômicas afetam quase que imediatamente as pessoas, porque a contração da

economia afeta os níveis de emprego, as taxas de consumo e os índices de pobreza.

Existem, ainda, as crises políticas que, geralmente, estão associadas a mudanças não só de governos, mas também, em alguns casos históricos, às mudanças de regimes. As crises políticas possuem, em geral, a característica de estar associadas a outras crises (econômicas ou sociais, por exemplo) e suas consequências são mais duradouras e marcantes para toda a sociedade. Quase todos os países do globo já passaram por crises políticas profundas e que deixaram rastros e consequências que permanecem na sociedade às vezes por várias décadas.

Recentemente, fala-se da crise ambiental. Fenômenos, tais como a perda da diversidade, mudanças no clima, aumento dos níveis dos oceanos são tão dramáticos e causam tantas mudanças no Planeta que podemos até mesmo dizer que, ao contrário de todas as outras crises citadas, a crise no meio ambiente é irreversível (Fig. 1.3).



Figura 1.3 – São inúmeros os sinais de degradação ambiental da biosfera associados às atividades humanas. O enorme acúmulo de conhecimentos devidos às Ciências Ambientais ao longo das últimas décadas, trouxe uma verdadeira “enxurrada” de evidências científicas, provando que o desenvolvimento humano, a qualquer custo, causou e vem causando um enorme prejuízo ao meio ambiente. Hoje, os cientistas discutem se alguns desses impactos já são irreversíveis e se a próxima geração irá herdar um Planeta irremediavelmente pior do que a geração atual recebeu.

Assim como o paciente que enfrenta uma doença crônica, quanto mais cedo a humanidade se conscientizar das reais dimensões da crise ambiental, melhores serão as chances para garantir a sua própria sobrevivência. A importância dessa percepção pode ser comparada aquela que um paciente experimenta ao receber a notícia do cardiologista sobre o entupimento de suas artérias coronarianas. A crise ambiental fará, inexoravelmente, com que a sociedade mude seus padrões de vida, assim como o paciente cardíaco deve parar de fumar, ingerir álcool e adotar uma vida mais saudável. Em ambos os casos, estamos falando de uma questão de sobrevivência.

O conceito de saúde ambiental tem sido usado cada vez mais em Ciências Ambientais. Trata-se não de uma ciência nova, mas de um novo enfoque multidisciplinar que envolve muitos campos de estudo. A saúde do meio ambiente sempre parte das informações geradas pelas Ciências Biológicas básicas, tais como a Ecologia, Botânica, Zoologia, Oceanografia ou Hidrobiologia. Por sua vez, as informações advindas dessas ciências são agregadas a estudos epidemiológicos ou de avaliação de riscos; a estudos sobre aspectos legais, éticos, sociais, políticos. Estudos sobre a saúde ambiental são, portanto, estudos longitudinais humanos. Podem ser experimentais, sejam eles *in vitro* sejam *in vivo*, envolvendo a

pesquisa animal ou a pesquisa com plantas, mas são estudos que devem ter uma relação clara com a saúde humana e a medicina ambiental. Um aspecto importante da saúde ambiental é o foco dado às crianças e aos jovens, que são excepcionalmente sensíveis aos seus ambientes. A gestão dos recursos hídricos hoje está fundamentalmente ligada ao conceito de saúde ambiental (Fig. 1.4).

### Gestão de recursos hídricos deve também preservar a saúde dos ecossistemas



Figura 1.4 – O conceito de saúde ambiental tem sido empregado na gestão dos recursos hídricos. Políticas públicas, aspectos legais e diretrizes macroeconômicas dos países devem observar os preceitos da saúde ambiental, tanto no tocante aos recursos hídricos, à atmosfera, à conservação dos solos e à biodiversidade.

A saúde ambiental procura relacionar sinais ambientais com aspectos relacionados com a saúde humana, à segurança alimentar, pessoal e sócioeconômica. Esse enfoque longitudinal da ciência tem ajudado aos tomadores de decisão, políticos e demais atores econômicos e aos demais segmentos da sociedade a implementarem ações que visem a impedir o avanço da degradação ambiental (Tab. 1.1).

Tabela 1.1 – Relações entre os impactos ambientais e os vetores do bem-estar social

Impactos nos Ecossistemas	Impactos no Bem Estar				
	Saúde	Alimento	Segurança	Sócio-economia	Outros
Má qualidade do ar	Doenças cardíacas e respiratórias, asma, mortes prematuras	Queda na produção e aumento de preços	Aumento de conflitos	Aumento nas despesas com saúde e controle de poluição	Queda no Turismo e aumento de desastres naturais
Acidificação		Diminuição de florestas e outros ecossistemas	Corrosão de materiais	Aumento nos custos de operação e para a manutenção de estações de tratamento de água (ETA) e de esgotos (ETE)	Queda no Turismo (ex.)
Eutrofização	Água de má qualidade e doenças de veiculação hídrica	Queda na pesca Presença de organismos exóticos e algas tóxicas Queda na oferta de mananciais de abastecimento	Queda na biodiversidade Aumento de conflitos entre usuários da água	Aumento no custo da água potável	Queda no Turismo, aumento do stress urbano

Os vetores do bem-estar são vistos, hoje, como os pilares do chamado desenvolvimento sustentável ou ecodesenvolvimento (Fig. 1.5). A questão do desenvolvimento sustentável aparece como sendo o fundamento novo, para manter um crescimento saudável da humanidade. Existem, na literatura, inúmeros conceitos de sustentabilidade. O mais simples invoca a união das dimensões ambiental (1), social (2), econômica (3) e cultural (4).



Figura 1.5 – Principais vetores (dimensões) nos quais pode ser definido o desenvolvimento sustentável (Pinto-Coelho, 2009).

Embora seja conceitualmente clara essa união de vetores ligados ao desenvolvimento da humanidade, poucos países (se é que temos algum exemplo perfeito) conseguiram essa união de modo claro e preciso.

A ONU, por meio de seu Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) lançou as metas do milênio – *United Nations Millennium Development Goals* (MDGs). As oito metas MDGs envolvem metas tão ambiciosas quanto a redução, pela metade, da pobreza extrema, a contação da propagação do HIV / AIDS ou disponibilizar a educação primária universal a toda a população. Todas as oito metas possuem uma data limite: o ano de 2015. Elas formam um plano acordado por todos os países signatários envolvendo as principais instituições de desenvolvimento do mundo. Essas metas exigem esforços sem precedentes para atender às necessidades dos mais pobres do mundo. Todas as oito metas têm implicações profundas sobre o meio ambiente (Tab. 1.2).



Tabela 1.2 – Metas do milênio (MDGs) estabelecidas pela ONU com suas implicações para a saúde ambiental - Fonte: UNEP/GEO-4 (2007).

Metas do Milênio MDG's	Implicações Ambientais da Meta
1. Erradicar a extrema pobreza e a fome.	Saúde e segurança alimentar dependem, em primeira linha, de ecossistemas saudáveis e dos bens e serviços que eles fornecem às populações. As mudanças climáticas têm afetado cada vez mais a produção agrícola, assim como o colapso da pesca afeta a segurança alimentar em muitos países.
2. Alcançar a universalização da educação primária	A poluição atmosférica e a má qualidade das águas retardam o alcance dessa meta na maioria dos países pobres ou em desenvolvimento.
3. Promover a igualdade entre os sexos e dar mais poderes às mulheres.	As mulheres pobres são particularmente sensíveis às infecções respiratórias causadas, por exemplo, por fogões a lenha. As mulheres sempre estão submetidas a uma maior carga de trabalho doméstico em regiões que sofrem com a falta de água.
4. Reduzir a mortalidade infantil	Pneumonia mata mais crianças (com menos de 5 anos) do que qualquer outra doença e a sua ocorrência é maior em áreas com forte poluição atmosférica. A diarreia vem logo em segundo lugar. Junto com a cólera, essas doenças matam pelo menos 3 milhões de pessoas todos os anos nos países em desenvolvimento.
5. Melhorar a saúde maternal	A poluição atmosférica doméstica (causada pela queima de lenha sob más condições e o trabalho diurno de carregar lenha e água) pode interferir severamente na saúde maternal e problemas durante a gravidez. A simples oferta de água de boa qualidade melhora e muito a saúde maternal, prevenindo a mortalidade materna e dos infantes.
6. Combater as principais doenças	O simples combate à eutrofização de lagos e reservatórios pode ser muito mais eficaz do que investimentos pesados no tratamento de doenças associadas à degradação ambiental. Outra linha de ação é a descoberta de novos medicamentos a partir de estudos aplicados na biodiversidade.
7. Garantir a sustentabilidade ambiental	Todos os ecossistemas terrestres estão sob risco de terem suas respectivas capacidades de suporte ultrapassadas pela atividade humana. Há uma necessidade urgente de reverter essa tendência.
8. Desenvolver programas multilaterais de parcerias para o desenvolvimento.	Os países mais pobres são forçados a explorar seus recursos naturais para gerar capital necessário, por sua vez, para honrar o pagamento de suas enormes dívidas externas. Os países mais pobres, muitos dos quais com governanças deficientes (ditaduras, corrupção, etc.) foram extremamente prejudicados pela globalização.

Segundo a visão da ONU, a verdadeira sustentabilidade do desenvolvimento humano só será alcançada se conseguirmos eliminar as fragilidades existentes nas diferentes sociedades. Essas fragilidades podem ser vistas em várias dimensões: segurança alimentar, bem-estar das populações (saúde, trabalho, segurança física etc.), desenvolvimento econômico da sociedade em geral e das cidades, disponibilidade de energia barata, confiável e mais limpa e qualidade do meio ambiente, obtida pela manutenção da estrutura e função dos ecossistemas (Fig. 1.6).

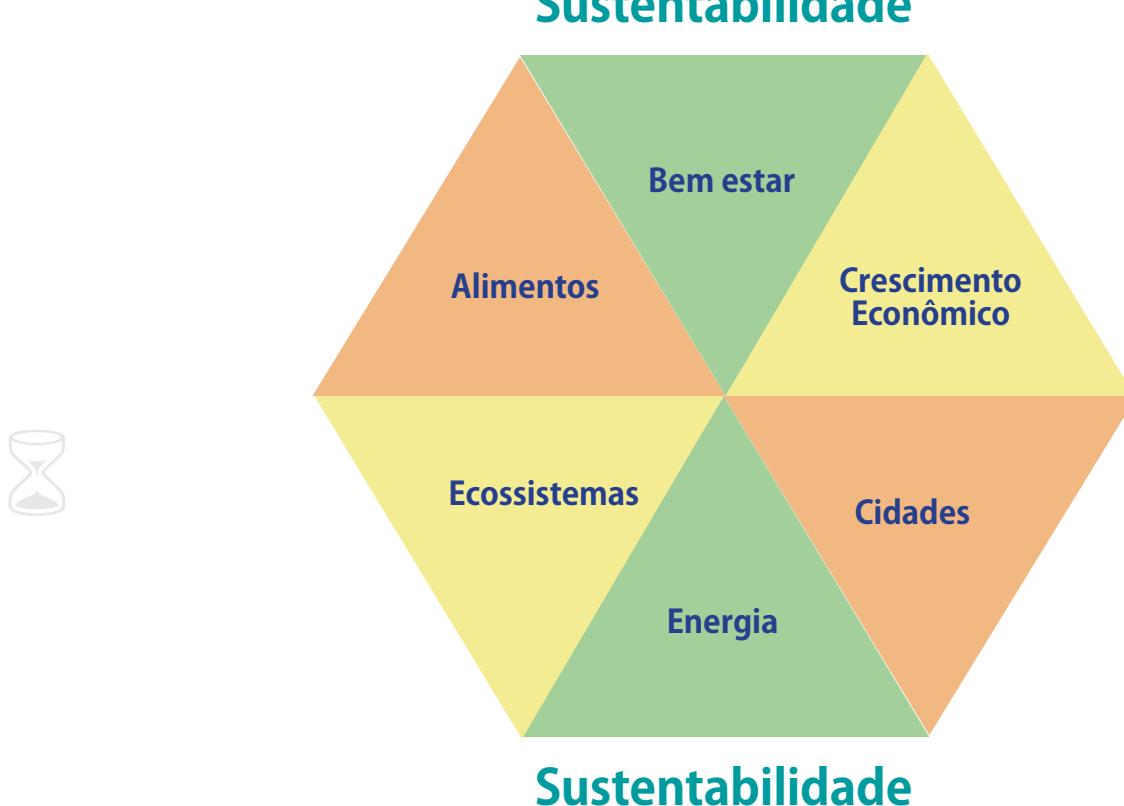


Figura 1.6 – Outra interpretação dos pilares ou vetores do desenvolvimento sustentável e que reflete melhor as MDGs. Esse enfoque enfatiza a importância da segurança alimentar, da questão demográfica e da matriz energética, para que o desenvolvimento sustentável seja verdadeiramente alcançado.

As metas do milênio exigirão, contudo, um enorme aumento na demanda de água doce em todas as regiões do Planeta (Fig. 1.7). Para combater a fome, haverá a necessidade de um grande aumento na produção agrícola que só pode ser alcançado com a expansão da fronteira agrícola, com o aumento do uso de agrotóxicos, da irrigação e de captações a partir de aquíferos, rios, lagos e reservatórios. Tudo isso certamente levará a um decréscimo de vazões em muitos rios e aquíferos, com aumento nos níveis de contaminação ambiental, e uma considerável perda de habitats, principalmente de florestas tropicais.

A diminuição dos níveis de pobreza está associada ao aumento da atividade econômica que, por sua vez, exige mais indústrias que necessitam de mais matérias-primas (minérios, p. exemplo) (Fig. 1.7).

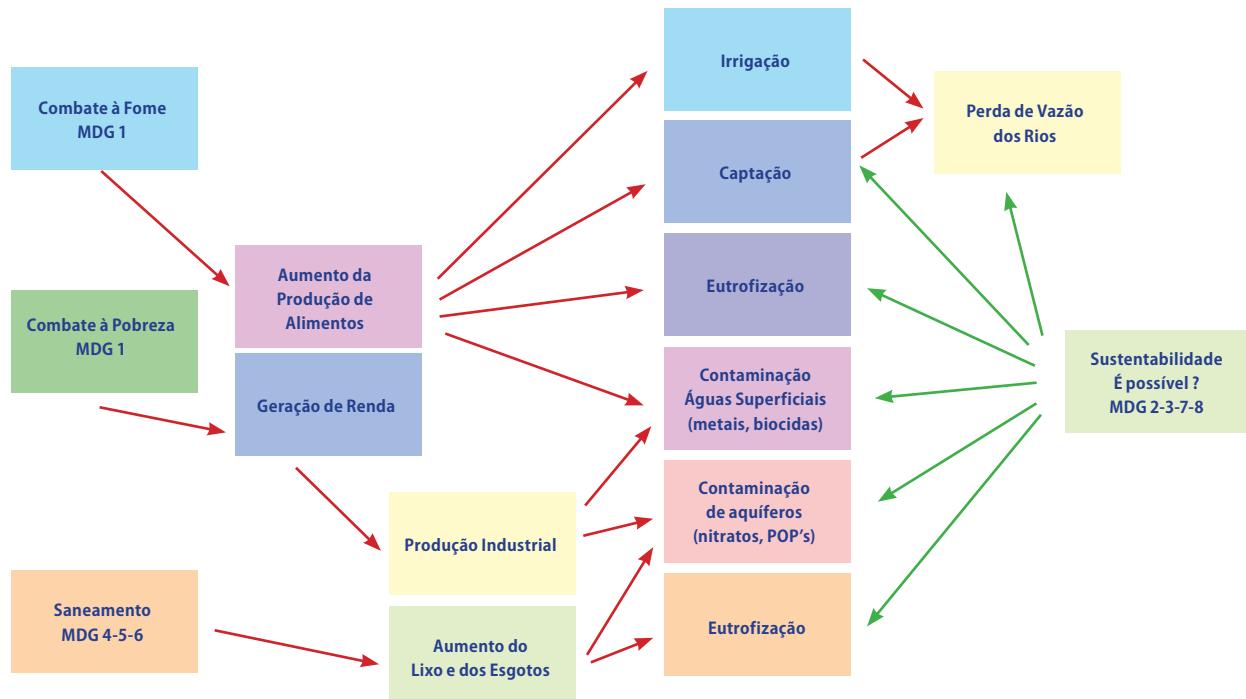


Figura 1.7 - Paradoxo entre as metas do milênio e a preservação dos recursos hídricos. Onde está a verdadeira sustentabilidade ambiental?



O aumento da segurança das populações implica em vultuosos investimentos tanto em saneamento quanto em melhorias na infraestrutura da urbanização de imensas áreas. Os efluentes de estações de tratamento de esgotos (quando elas existem) e o crescimento acelerado na produção de resíduos sólidos das cidades irão afetar, enormemente, os ecossistemas aquáticos, principalmente as zonas litorâneas onde estão localizadas as maiores cidades do Planeta.

O quarto relatório sobre o tema “Desenvolvimento e Meio Ambiente” (UNEP-GEO 4, 2007) é a continuação do trabalho iniciado em 1983, por meio da Resolução 38/161 da ONU. Naquele ano, foi criada a Comissão Brundtland que, em 1987, publicou o documento clássico *Our Common Future* sob os auspícios da *World Commission on Environment and Development* (WCED). O GEO-4 foi publicado em 2007 e é considerado um documento chave na questão do desenvolvimento sustentável. Esse documento foi publicado, exatamente, 20 anos após o documento *Our common Future* e 15 anos após a Conferência Rio 92, que lançou outro documento importante, a Agenda 21.

O documento do GEO 4 procura fornecer, ao longo de seus dez capítulos, um sumário dos principais desafios que a humanidade vem enfrentado e irá enfrentar até o ano 2050, nas dimensões “meio ambiente” e “desenvolvimento” (Fig. 1.8). O ponto central desse e de outros documentos gerados pela ONU e suas agências (UNESCO, FAO etc.) é o reconhecimento, gerado a partir de uma sólida base científica, de que devemos adotar novas estratégias, para que as metas do milênio possam ser atingidas dentro de um crescimento sustentável verdadeiro. Neste livro, iremos abordar algumas dessas novas estratégias.

Sociedade



Meio Ambiente

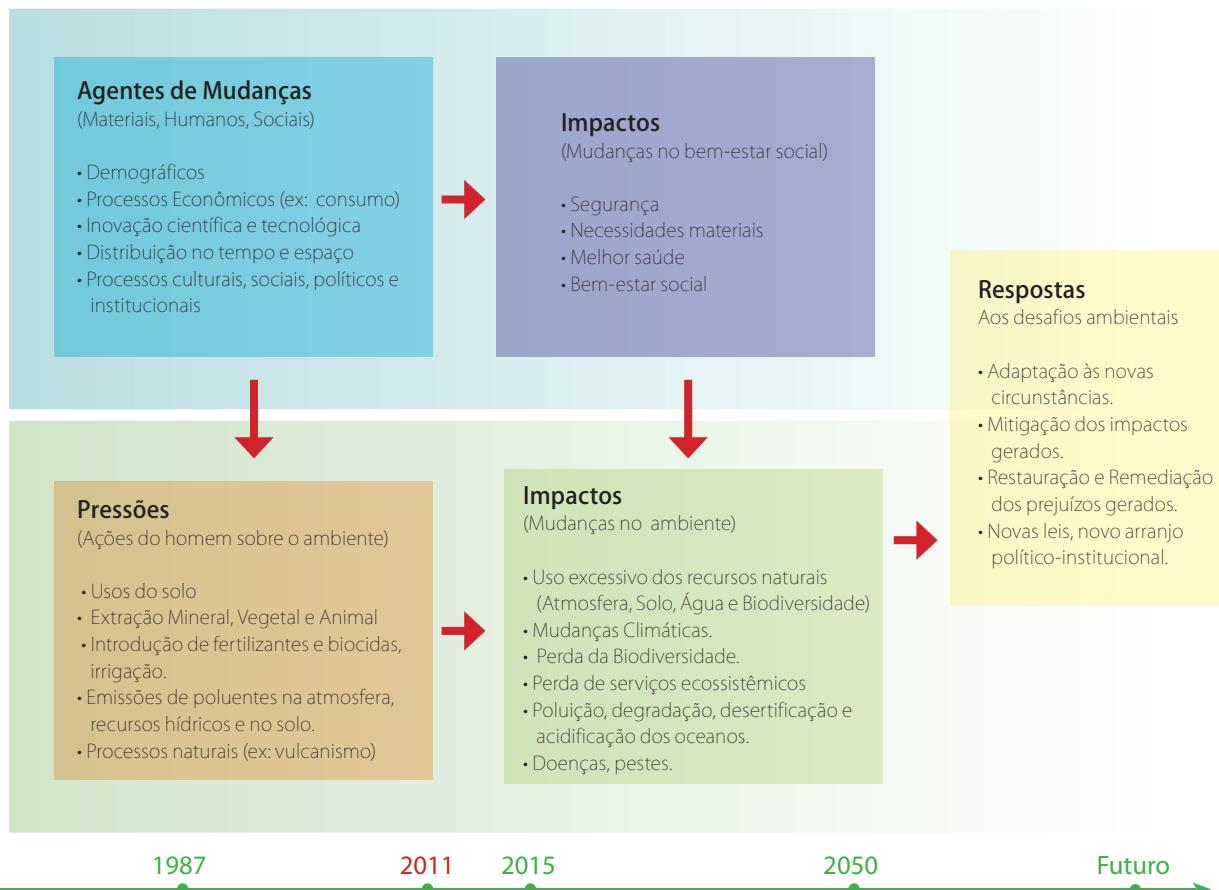


Figura 1.8 – Matriz conceitual do GEO-4 procura sintetizar as ligações entre o meio ambiente e o desenvolvimento humano. As fragilidades e as vulnerabilidades ambientais do processo do desenvolvimento humano estão aqui expostas de modo claro e objetivo. A ideia central é de que mudanças sociais e econômicas mesmo que benéficas geram impactos ambientais importantes. Existem basicamente duas estratégias para enfrentar os impactos ambientais previstos: (a) adaptação à um novo ambiente impactado, (b) recuperação do meio ambiente impactado. A opção (a) será paga com uma queda nos índices de saúde e bem-estar, e a opção (b) será paga com elevados custos econômicos e tributários (Modificado de UNEP/GEO-4, 2007).

## 1.2 - Balanço Hídrico e usos múltiplos da água

Para que possamos entender a magnitude da crise nas águas no Planeta, é necessário saber quais são essas águas, onde se encontram e em quais porcentuais. Precisamos saber também o quanto de água a humanidade usa e onde estão as nossas maiores carências hídricas.

As águas estão distribuídas de modo muito desigual no Planeta (Fig. 1.9). Cerca de 97,5% de toda água que dispomos está nos mares (Shiklomanov & Rodda, 2003). As águas doces completam nossas reservas com os restantes 2,5%. A grande parte das águas doces do Planeta está armazenada sob a forma de geleiras que aprisionam nada menos do que 68,7% de toda a água doce disponível. Outra parte considerável (30,9%) das águas doces está nos aquíferos e nos solos congelados das florestas boreais (permafrost).

As águas superficiais (rios e lagos) correspondem a apenas 0,4% de todas as reservas de água doce da Terra. Se tomarmos essa pequena quantidade e assumirmos como sendo novamente 100%, veremos que a maior parte das águas superficiais está concentrada nos lagos (67,4%), na umidade dos solos (12,2%) ou da atmosfera (9,5%).

É algo impressionante, difícil de imaginar, mas os rios, todos eles, transportam apenas 1,6 % do total da água doce disponível, muito menos do que as áreas úmidas que armazenam uma quantidade bem maior, ou seja, 8,5% de toda água doce superficial.

Não devemos imaginar que os rios sejam pouco importantes para o equilíbrio da biosfera somente porque carregam relativamente uma pequena quantidade das águas doces do Planeta. Os rios são sistemas dinâmicos, sistemas de transporte. A quantidade de água que carregam é apenas uma mera fotografia momentânea do que se passa.

### Distribuição global da água

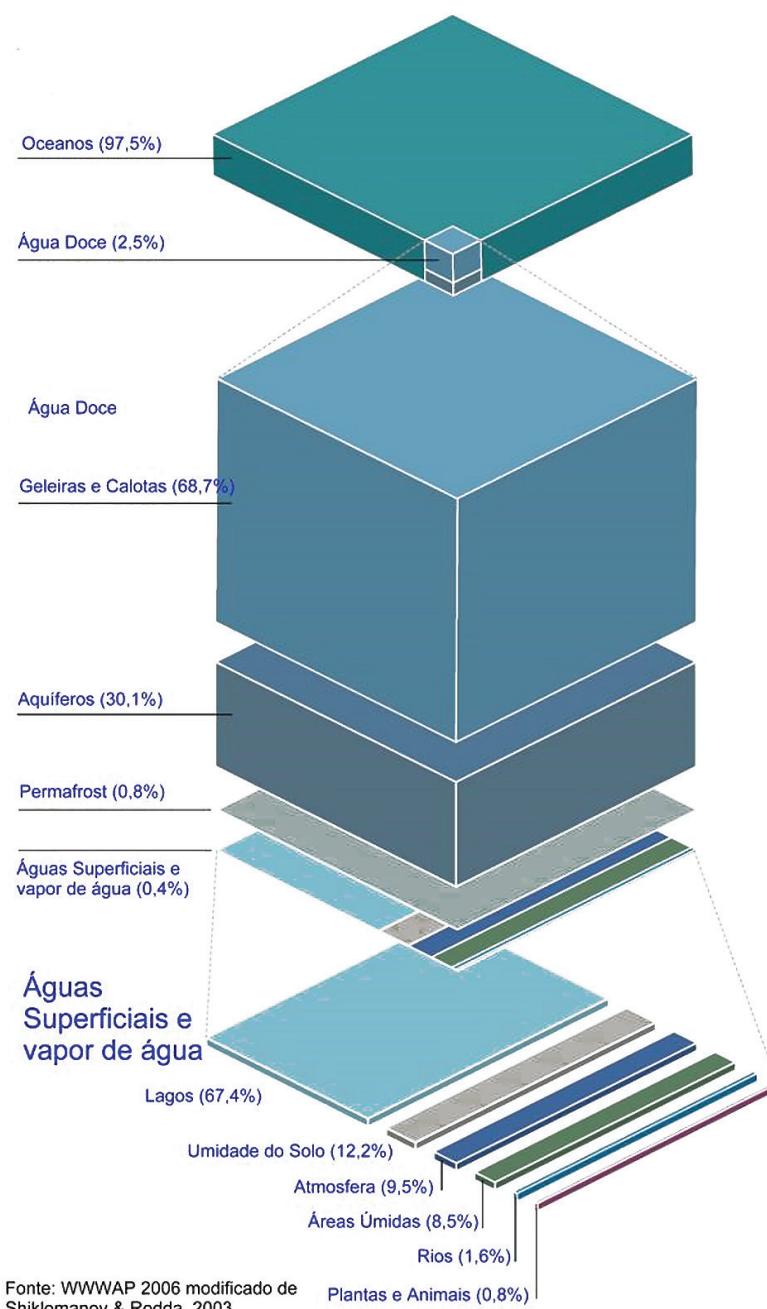


Figura 1.9 – Distribuição das reservas de água da biosfera em seus principais compartimentos. As águas doces correspondem a apenas 2,5% de toda a água existente no Planeta sendo que elas estão armazenadas principalmente nas calotas polares, geleiras e nos aquíferos. (Fonte: UNEP/GEO-4, 2007 e Shiklomanov & Rodda, 2003).

Em relação às águas continentais, os conceitos de “águas azuis” e “águas verdes” têm sido usados para dividir compartimentos importantes e distintos da água nos continentes. Do total de água que chega nos continentes sob a forma de chuvas (119.000 km<sup>3</sup>), cerca de 40.000 km<sup>3</sup> são destinados às águas superficiais e à recarga de aquíferos. A esse total, dá-se o nome de “águas azuis”. Os outros 70.000 km<sup>3</sup> são direcionados ao estoque de água nos solos, voltando, mais tarde à atmosfera, através da evapotranspiração (“águas verdes”) (Fig. 1.10).

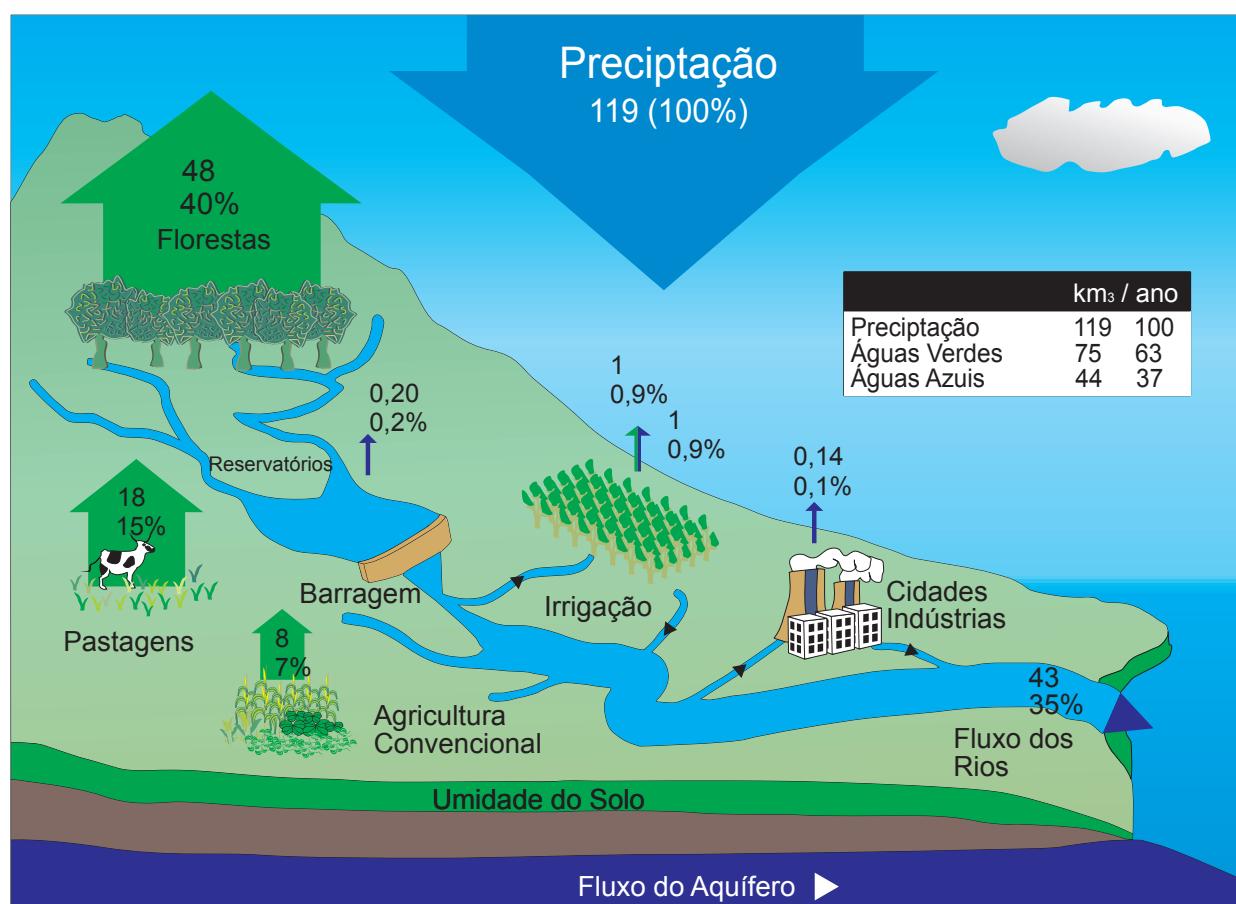


Figura 1.10 – A precipitação atmosférica é essencial para a recarga das águas continentais. A volta dessa água aos mares e à atmosfera dá-se por dois caminhos distintos: (1) pelas “águas azuis”, ou seja, pelo escoamento via águas superficiais (rios e lagos) e pelos aquíferos; (2) pelas “águas verdes” que voltam à atmosfera via evapotranspiração (Fonte: UNESCO, 2006 Fig. 7.4, Pag. 251; Rockstrom, 1999; Ringersma et al. 2003). Unidades em milhares de km<sup>3</sup>)

Vimos que as reservas de água doce são naturalmente distribuídas de modo muito heterogêneo na biosfera. Além disso, há grandes diferenças nas disponibilidades hídricas em relação aos diferentes países e continentes, quando esses são comparados entre si (Fig. 1.11).

Podemos notar que, não só nos países dominados por climas áridos (tais como os países da região do Sahara ou da Península Arábica) já existe uma grande carência de água. Na maioria dos países da Europa, do oriente próximo, Ásia Central, no México e na Austrália há também uma considerável limitação na oferta de água.

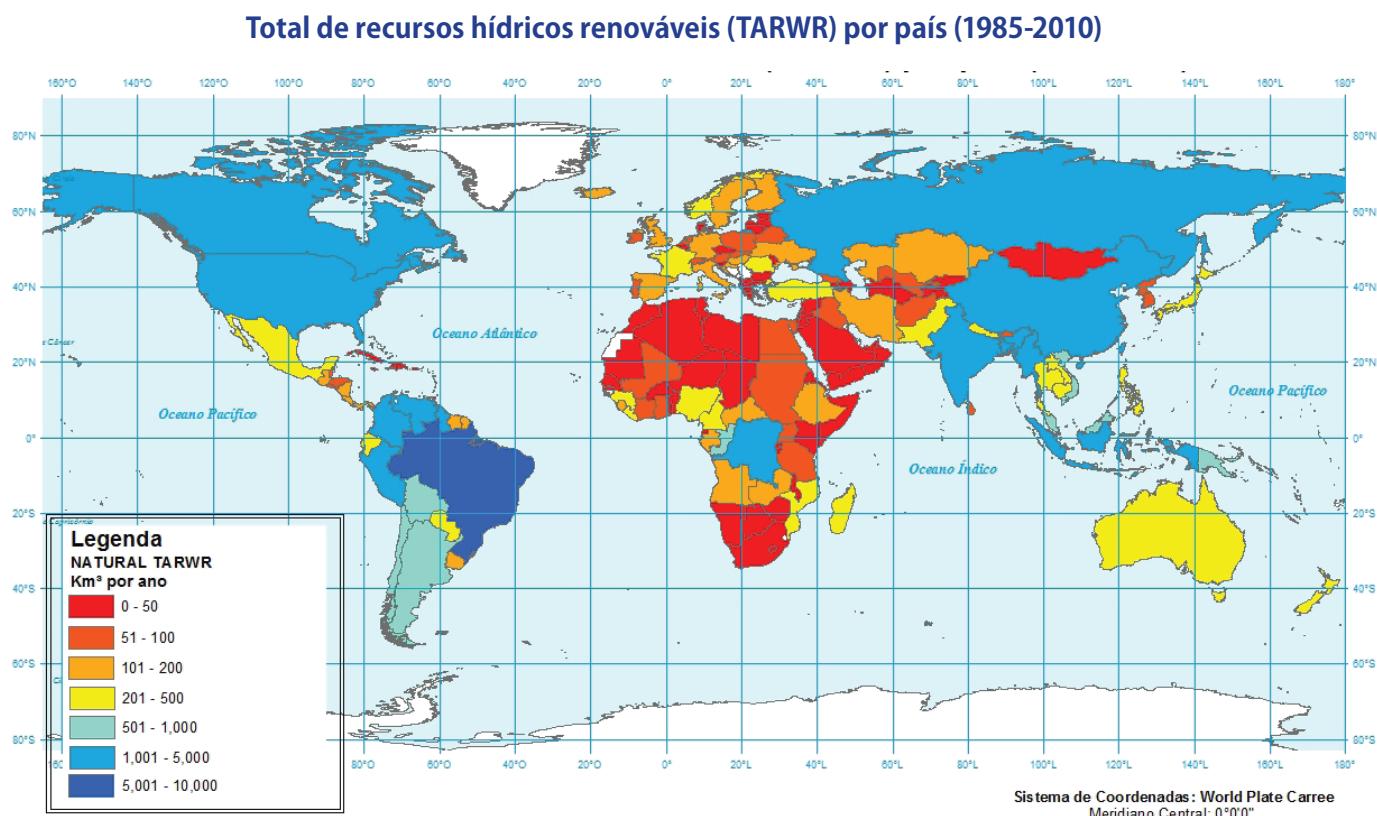


Figura 1.11 – Disponibilidade ( $\text{km}^3/\text{ano}$ ) de recursos hídricos renováveis entre os países e continentes. Estimativas para o período 1985-2010.  
 Fonte: UNESCO (2012).



Mesmo em países como o Brasil, onde a situação em geral pode ser considerada confortável, existem inúmeras áreas caracterizadas por déficit na oferta de água. No caso do Brasil, por exemplo, as duas maiores cidades do País, São Paulo e Rio de Janeiro, já sofrem com limitações severas na oferta de água, principalmente nos períodos mais secos do ano, quando os reservatórios e rios que abastecem essas cidades podem atingir níveis muito baixos.

A importância relativa dos rios, da água contida nos organismos e na biosfera fica clara, quando se olha para os tempos de residência da água nos principais compartimentos. Enquanto que o tempo médio de renovação da água nas geleiras e glaciares é da ordem de 103 a 104 anos, e nos lagos, em geral, em torno de 10 anos, a água da maioria dos rios é renovada entre 1/2 e 1 semana (Fig. 1.12).

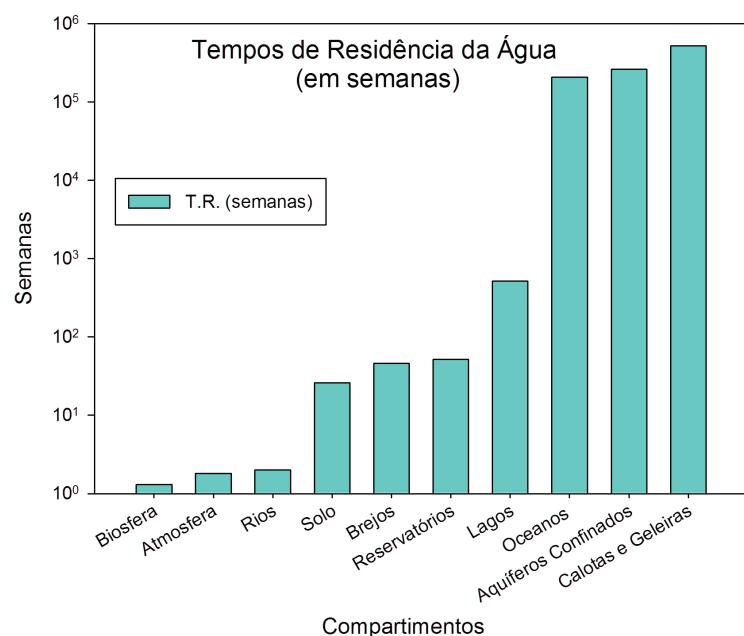


Figura 1.12 – Tempos de residência da água nos principais compartimentos da biosfera. Fonte: UNEP/GEO-4, modificado.

O pequeno tempo de residência da água dos rios sugere que esses sistemas possuem uma elevada dinâmica. Os rios destacam-se pela sua elevada capacidade de transporte de sólidos em suspensão, nutrientes dissolvidos. São verdadeiras “estradas da vida”, já que centenas de espécies de peixes, aves e mamíferos e milhares de espécies de insetos e de outros invertebrados os usam como rotas de migração e locais de reprodução ou ali vivem toda a sua vida.

As diferenças na oferta de água, quando somadas às mudanças climáticas, à crescente destruição de hábitats e à pressão por novos usos formam um cenário sombrio que caracteriza a atual “crise nas águas”. Como todas as crises enfrentadas pela humanidade através dos séculos, essa será uma crise que irá deixar marcas permanentes na história de nossa civilização.

## 2 - Água e a história humana

A história da humanidade pode ser escrita por meio das formas pelas quais o homem vem usando as águas do Planeta. A civilização humana foi, ao longo dos séculos, dominando diferentes formas de uso das águas. No decorrer dos séculos, o homem aprendeu a encontrar, armazenar, tratar e distribuir a água para seu consumo próprio. O primeiro sistema de distribuição de água surgiu há cerca de 4.500 anos. No entanto, o homem, bem antes, aprendeu a armazenar a água para benefício próprio. Potes de barro não cozidos surgem por volta de 9.000 a.C. A cerâmica, propriamente dita, aparece em 7.000 a.C., e passa a ser fundamental para o incremento da capacidade de armazenamento de água (Piterman & Greco, 2005).



O homem também aprendeu a construir poços, canais, represas, aquedutos e toda uma série de obras e artefatos que possibilitaram a primeira grande revolução da humanidade, a revolução agrícola, há cerca de 10.000 anos. A irrigação começa a ser utilizada em 5.000 a.C., na Mesopotâmia e no Egito, juntamente com os canais de drenagem que recuperam áreas pantanosas do delta do Nilo e dos Rios Tigre e Eufrates. Os sumérios (5.000-4.000 a.C.) relacionavam a água às mais importantes divindades, tendo construído, nesse período, canais de irrigação, galerias, recalques, cisternas, reservatórios, poços, túneis e aquedutos. Na Índia, existem evidências de que algumas cidades já possuíam redes de esgotos e sistemas de drenagem por volta de 3.200 a.C. (Piterman & Greco, 2005).

O homem também aprendeu que a água, quando inapropriada, podia causar doenças. A preocupação com a água imprópria, potencial transmissora de doenças, levou os egípcios, em 2.000 a.C., a utilizarem o sulfato de alumínio na clarificação da água. Existem relatos escritos em sânscrito sobre os cuidados que deviam ter com a água de consumo, tais como seu armazenamento em vasos de cobre, sua exposição ao sol e sua filtração através do carvão. Tais escritos descrevem a purificação da água pela fervura ao fogo, aquecimento ao sol ou a introdução de uma barra de ferro aquecida na massa líquida, seguida por filtração através de areia e cascalho grosso. A primeira represa para armazenar água foi construída no Egito em 2.900 a.C., pelo faraó Menes, para abastecer a capital, Memphis (Rosen, 1994; Resende & Heller, 2002).

As residências construídas na Antiguidade, inclusive as classes nobres e ricas não possuíam sanitários. Nas cidades e no campo, era comum as pessoas evacuarem diretamente no solo. A camada mais rica da população usava recipientes para fazer suas necessidades fisiológicas e, em seguida, descarregavam-nas em local próximo às moradias. Quando chovia, as fezes eram levadas pelas enxurradas até os rios, contaminando a água e disseminando doenças. Para tornar a água limpa antes de ser utilizada nas atividades domésticas, certos povos (como por exemplo, os egípcios e japoneses) filtravam o líquido em vasos de porcelana.

Os gregos contribuíram muito para a organização social e política da humanidade. Eles perceberam que era importante organizar e disciplinar o uso da água não só nas cidades, mas também no campo.

# 1 - Introdução

A Limnologia (Hidrobiologia) é a ciência que estuda a Ecologia das águas continentais. Trata-se de uma ciência nova, multidisciplinar que sempre contou com o apoio da Química, Zoologia, Botânica, Geociências e várias outras ciências exatas (Física, Computação etc.).

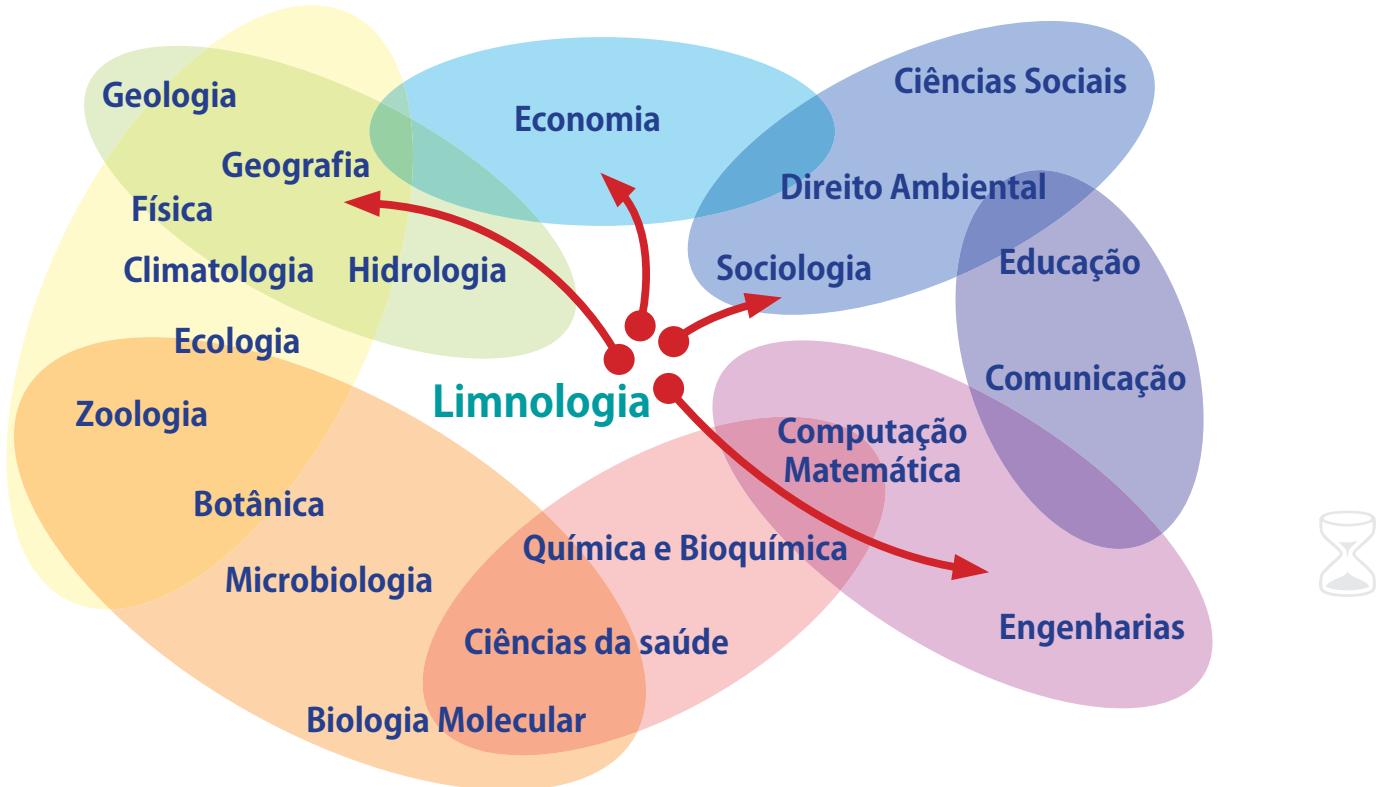


Figura 1.1 - A Limnologia é uma ciência jovem que surgiu da necessidade do estudo das águas interiores ou epicontinentais. Ao longo dos últimos 150 anos, acumulou um vasto conhecimento que só agora começa a ser aplicado nas ciências humanas.

Ao longo dos últimos anos, a Limnologia, assim como várias outras Ciências Ambientais (Ecologia, Biogeoquímica, Geologia, Geografia etc.), acumulou um vasto conhecimento que nos permite constatar uma crescente degradação ambiental em quase todos os tipos de ecossistemas aquáticos continentais. Apesar dos grandes progressos alcançados, a Limnologia ainda não foi capaz de fornecer conhecimentos suficientes para induzir a sociedade atual a adotar mudanças de comportamento capazes de reduzir ou impedir o processo de crescente destruição e de usos não sustentáveis dos ecossistemas aquáticos (Fig. 1.1).

Nesse livro, será demonstrado que, em muitos casos, a degradação causada pelo homem pode ainda ser revertida. Muitos cientistas, no entanto, vêm alertando que estamos nos aproximando de um ponto de "não retorno" para alguns casos, ou seja, de um ponto a partir do qual não será mais possível retornar às condições do passado (exemplo: aumento do nível dos oceanos). Será que teremos que chegar a um ou vários desses pontos para então começarmos a agir? Vivemos uma crise nas águas da biosfera? Mas, afinal, o que é uma crise?

O pequeno tempo de residência da água dos rios sugere que esses sistemas possuem uma elevada dinâmica. Os rios destacam-se pela sua elevada capacidade de transporte de sólidos em suspensão, nutrientes dissolvidos. São verdadeiras “estradas da vida”, já que centenas de espécies de peixes, aves e mamíferos e milhares de espécies de insetos e de outros invertebrados os usam como rotas de migração e locais de reprodução ou ali vivem toda a sua vida.

As diferenças na oferta de água, quando somadas às mudanças climáticas, à crescente destruição de hábitats e à pressão por novos usos formam um cenário sombrio que caracteriza a atual “crise nas águas”. Como todas as crises enfrentadas pela humanidade através dos séculos, essa será uma crise que irá deixar marcas permanentes na história de nossa civilização.

## 2 - Água e a história humana

A história da humanidade pode ser escrita por meio das formas pelas quais o homem vem usando as águas do Planeta. A civilização humana foi, ao longo dos séculos, dominando diferentes formas de uso das águas. No decorrer dos séculos, o homem aprendeu a encontrar, armazenar, tratar e distribuir a água para seu consumo próprio. O primeiro sistema de distribuição de água surgiu há cerca de 4.500 anos. No entanto, o homem, bem antes, aprendeu a armazenar a água para benefício próprio. Potes de barro não cozidos surgem por volta de 9.000 a.C. A cerâmica, propriamente dita, aparece em 7.000 a.C., e passa a ser fundamental para o incremento da capacidade de armazenamento de água (Piterman & Greco, 2005).



O homem também aprendeu a construir poços, canais, represas, aquedutos e toda uma série de obras e artefatos que possibilitaram a primeira grande revolução da humanidade, a revolução agrícola, há cerca de 10.000 anos. A irrigação começa a ser utilizada em 5.000 a.C., na Mesopotâmia e no Egito, juntamente com os canais de drenagem que recuperam áreas pantanosas do delta do Nilo e dos Rios Tigre e Eufrates. Os sumérios (5.000-4.000 a.C.) relacionavam a água às mais importantes divindades, tendo construído, nesse período, canais de irrigação, galerias, recalques, cisternas, reservatórios, poços, túneis e aquedutos. Na Índia, existem evidências de que algumas cidades já possuíam redes de esgotos e sistemas de drenagem por volta de 3.200 a.C. (Piterman & Greco, 2005).

O homem também aprendeu que a água, quando inapropriada, podia causar doenças. A preocupação com a água imprópria, potencial transmissora de doenças, levou os egípcios, em 2.000 a.C., a utilizarem o sulfato de alumínio na clarificação da água. Existem relatos escritos em sânscrito sobre os cuidados que deviam ter com a água de consumo, tais como seu armazenamento em vasos de cobre, sua exposição ao sol e sua filtração através do carvão. Tais escritos descrevem a purificação da água pela fervura ao fogo, aquecimento ao sol ou a introdução de uma barra de ferro aquecida na massa líquida, seguida por filtração através de areia e cascalho grosso. A primeira represa para armazenar água foi construída no Egito em 2.900 a.C., pelo faraó Menes, para abastecer a capital, Memphis (Rosen, 1994; Resende & Heller, 2002).

As residências construídas na Antiguidade, inclusive as classes nobres e ricas não possuíam sanitários. Nas cidades e no campo, era comum as pessoas evacuarem diretamente no solo. A camada mais rica da população usava recipientes para fazer suas necessidades fisiológicas e, em seguida, descarregavam-nas em local próximo às moradias. Quando chovia, as fezes eram levadas pelas enxurradas até os rios, contaminando a água e disseminando doenças. Para tornar a água limpa antes de ser utilizada nas atividades domésticas, certos povos (como por exemplo, os egípcios e japoneses) filtravam o líquido em vasos de porcelana.

Os gregos contribuíram muito para a organização social e política da humanidade. Eles perceberam que era importante organizar e disciplinar o uso da água não só nas cidades, mas também no campo.

Hipócrates (460-377 a.C.) observou as relações existentes entre o ambiente e os hábitos alimentares, a forma da habitação, a condição física e psíquica dos indivíduos, o meio social, político e religioso. Ainda constatou a relação entre a qualidade de água e a saúde da população.

Platão (427-347 a.C.) ressaltou a necessidade de disciplinar o uso da água. Prescreveu algumas formas de penalização para aqueles que causassem algum dano a um recurso por ele considerado essencial para a manutenção das plantações (Arruda, 1977).

Os romanos destacaram-se por erguer grandes construções destinadas ao transporte de água, chamadas aquedutos (Fig. 2.1). No entanto, o primeiro aqueduto conhecido foi construído em 700 a.C., por Ezequiel, rei de Judá, para abastecer Jerusalém.



Figura 2.1 – Os aquedutos são uma das formas mais antigas de transporte de água a grandes distâncias  
(Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Aqueduto>).

Os aquedutos abasteciam dezenas de termas (ou banhos públicos), muito apreciadas pela população da época. Além disso, supriam as cidades com a água dos lagos em fontes artificiais.

Os romanos também desenvolveram técnicas arrojadas na construção de redes de esgotos e de canalizações para escoamento das águas de chuvas na cidade. Os banhos públicos eram comuns em Roma, por volta de 300 d.C. As termas eram construções dotadas de piscinas de água com temperatura controlada (Fustel, 1981).

Embora as populações da Idade Média tenham investido pouco em saneamento, rapidamente aprenderam a utilizar o rio como meio de transporte e captação de água (Rosen, 1994). Assim, a Idade Média pode ser caracterizada por um período com notável desenvolvimento do comércio. Vários pequenos povoados floresceram ao longo das planícies dos rios, das orlas marítimas. Nasceram então as principais rotas comerciais. Algumas cidades surgiram em torno de mosteiros fortificados ou em castelos de senhores feudais.

O Renascimento foi uma época marcada por uma nova conquista do homem em relação aos diferentes usos da água. Esse período foi caracterizado pelo apogeu das monarquias de Portugal e Espanha. Esses

países financiaram estudos e projetos que culminaram com as grandes expedições de navegação transcontinental que possibilitaram, aos europeus, a conquista de vastos territórios nas Américas, na África e na Ásia.

A navegação pelos grandes rios nessas novas terras possibilitou a rápida conquista de novos territórios, localizados no interior desses continentes. E foi a força motriz dos engenhos movidos à água aliada ao trabalho escravo dos negros que possibilitou o primeiro grande ciclo econômico das Américas: a produção e exportação da cana de açúcar.

As relações entre saúde e saneamento fortaleceram-se no Renascimento. Esse foi marcado pela volta aos valores greco-romanos. Nessa época, os engenheiros da Renascença descobriram a obra "De aquis urbis Romae" tendo acesso aos detalhes da construção e manutenção desse sistema em 1425 (Silva Rodrigues, 1998). O retorno à arte grega e romana inspirava os artistas da época a construírem chafarizes e fontes com influências mitológicas.

A água foi, novamente, a principal matéria-prima da segunda grande revolução tecnológica da humanidade: a Revolução Industrial. O domínio da técnica de produzir trabalho mecânico a partir do vapor de água mudou para sempre a humanidade (Fig. 2.2).

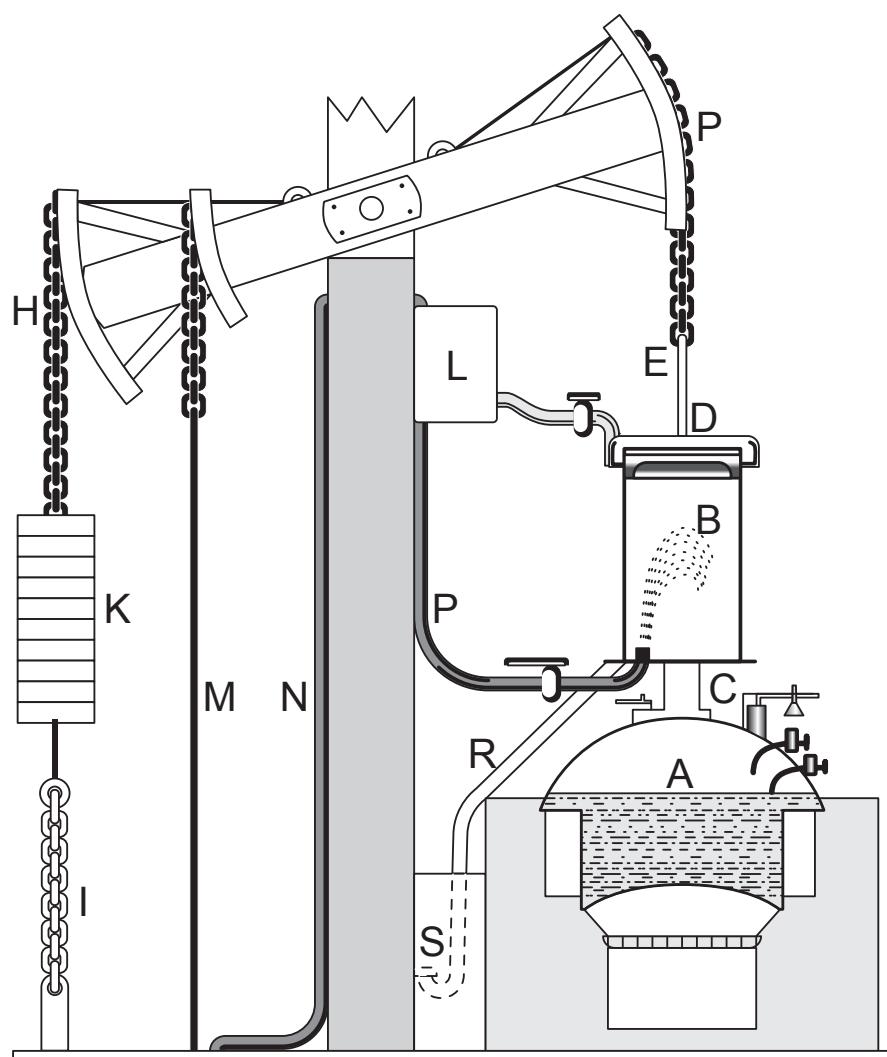


Figura 2.2 – As máquinas a vapor possibilitaram um grande desenvolvimento das manufaturas que até então eram movidas pela força motriz de animais e mesmo seres humanos. O aproveitamento do vapor de água possibilitou o aparecimento de grandes indústrias têxteis, o desenvolvimento das ferrovias. Os transportes marítimo e fluvial também foram enormemente impulsionados pelo aparecimento das máquinas a vapor (Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor\\_a\\_vapor](http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_a_vapor)).

A Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII (1760-1850), propagou-se pela Europa e pelos Estados Unidos. Essa época foi caracterizada por enormes transformações técnicas, comerciais e agrícolas que induziram profundas transformações na sociedade. A passagem da sociedade rural para a sociedade industrial, com o aparecimento do trabalho assalariado, a utilização da energia a vapor no sistema fabril em lugar da energia humana possibilitou um grande crescimento urbano (Arruda, 1977).

Apesar do crescimento econômico promovido pela Revolução Industrial, as populações dos países europeus continuavam em situação muito precária. As epidemias continuaram a assolar essa região. Os grandes proprietários de terras e de indústrias se opunham às desapropriações demandadas pela execução de obras de drenagem e de abastecimento. Frequentemente, essas obras eram postergadas, dado o seu caráter impopular (Resende & Heller, 2002).

Os ingleses, contudo, promoveram grandes avanços em saneamento e tratamento de água no século XIX. A primeira estação de tratamento da água foi construída em Londres, em 1829, e filtrava a água do Rio Tâmisa com areia. Esse avanço, contudo, não impediu que em 1854, ocorresse um grave surto de cólera em uma área restrita de Londres, causando a morte de grande número de pessoas em curto período, e provocando pânico à população local (Silva Rodrigues, 1998). Um médico inglês, John Snow, observou que a cólera era uma doença associada ao consumo de água contaminada com fezes humanas. Suspeitou que essa água poluída continha um microrganismo, que hoje se conhece como *Vibrae cholerae*. Ao consumir água contaminada, o parasita era introduzido pela boca e conduzido direto ao trato digestivo (Snow, 1999). A adição de cloro no tratamento da água só iria começar a ser feita ainda no final século XIX. Somente em 1951, o flúor, um importante agente para a prevenção de caries e outras infecções, passou a ser regularmente usado nas estações de tratamento.

Outros países, como a França, a Alemanha e os Estados Unidos, inspirados na Inglaterra, também iniciaram reformas sanitárias. Cidades costeiras como Nova York e Boston enfrentavam graves problemas de moradia e insalubridade e começaram também a implementar melhorias no saneamento básico (Silva Rodrigues, 1998).

O século XX foi caracterizado por um uso, ou melhor seria, por um abuso dos diferentes recursos hídricos do Planeta. Um dos usos da água que mais se desenvolveu no século XX foi o uso da energia potencial da água para a produção da hidreletricidade. Inicialmente, essa forma de produção de energia elétrica causou uma grande euforia desenvolvimentista pois era uma forma de produção de energia considerada "limpa" e "sustentável". Essa argumentação se sustentava na comparação entre a hidreletricidade e outras formas mais poluentes de produção de energia elétrica, tais como as centrais termelétricas movidas a carvão ou a óleo combustível. No entanto, com o avanço das pesquisas em Limnologia e Ecologia aplicada, a humanidade foi percebendo a gravidade dos impactos ambientais ("pegada ecológica") associados aos barramentos necessários para a produção da hidreletricidade.

A industrialização que era concentrada na Europa e América do Norte, no século XIX, espalhou-se por todos os continentes no século XX. Essa globalização da industrialização causou uma rápida degradação das águas continentais que passaram a sofrer muito com os impactos gerados por esse novo ciclo econômico. Apesar de todo esse progresso, a maioria dos países do globo tem enfrentado problemas de doenças infecciosas transmitidas através das águas (Rosen, 1994). Muitas populações vêm enfrentando uma crescente escassez de abastecimento de água pura, os porcentuais de atendimento às populações em termos de esgotamento e de tratamento de esgotos são ainda muito reduzidos. A elevação do padrão geral de vida a um nível mínimo aceitável depende ainda de grandes investimentos em saúde pública e em saneamento e, em breve, irá depender também de grandes investimentos ambientais para recuperar ou restaurar lagos, reservatórios, rios e aquíferos degradados.

O século XXI foi inaugurado com uma perspectiva sombria em relação ao futuro dos recursos hídricos. Muitos dos problemas já relatados apareceram ter chegado a um ponto de irreversibilidade e já se fala em uma necessidade da humanidade em adaptar-se a esse novo cenário. A perspectiva histórica, entretanto, nos obriga a uma maior reflexão sobre o futuro das águas do Planeta. Ao contrário de nossos antepassados, não existem mais novas fronteiras a ser conquistadas. O maior desafio que está à frente é o da recuperação e mitigação dos impactos gerados nas águas do Planeta para que possamos entregar esses recursos às gerações futuras em um estado que possa lhes garantir condições dignas de sobrevivência.

## 3 - A Água e a Economia

A água desempenha um papel muito mais importante na vida econômica de um país do que o de representar apenas uma matéria-prima ou insumo essencial. Em primeiro lugar, temos que reconhecer que a água é essencial para a manutenção da vida e do bem-estar dos indivíduos que fazem a economia funcionar. Em segundo lugar, a água é um insumo vital para a agricultura e, consequentemente, garante a segurança alimentar da civilização humana. Em terceiro lugar, a abundância ou escassez da água representa quase que diretamente o mesmo para a produção de energia. Sem água, não há produção de energia. Isto não é válido apenas para a hidreletricidade. As termelétricas e mesmo as usinas termonucleares não funcionam sem água em abundância.

A civilização industrial depende dos minérios, particularmente do ferro e do alumínio. A extração e o beneficiamento primário desses dois minerais, bem como de dezenas de outros elementos essenciais a nossa civilização dependem da água. Enfim, em todo e qualquer segmento das múltiplas atividades econômicas, a água comparece seja como uma matéria-prima essencial, seja como um bem que possui um valor intangível, porém indispensável para todas essas atividades. O que seria da indústria do turismo e do lazer, se houvesse uma grande escassez de água nos locais onde florescem tais atividades?

Em termos de recursos hídricos, os principais usos humanos são o gasto de água nos domicílios, seu emprego na agricultura e na indústria (Fig. 3.1). De modo geral, a agricultura é a atividade com maior consumo de água em comparação com outros usos. Não somente os montantes, mas também os porcentuais de uso da água dessas diferentes formas variam amplamente. Um grande exportador de “commodities” minerais e de alimentos, como o Brasil, é, antes de tudo, um grande exportador de água.

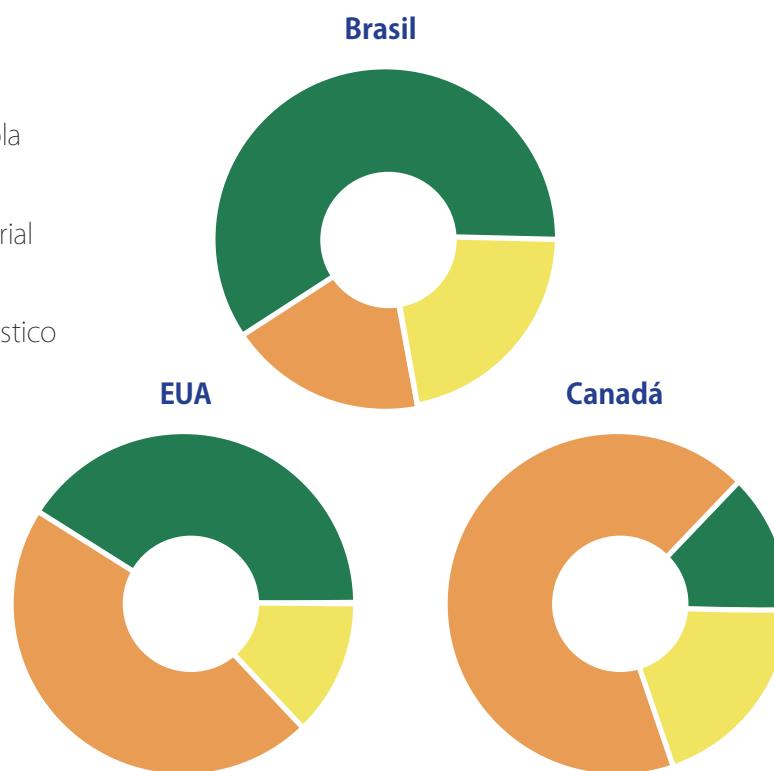


Figura 3.1 – Porcentuais de usos da água em diferentes setores da economia no Canadá, EUA e Brasil (IBGE e AQUASTAT-FAO).

As expectativas de crescimento no consumo de água são bem elevadas para os próximos anos (Fig. 3.2). O aumento no gasto de água em decorrência da agricultura e da pecuária será expressivo, quando comparado com o aumento previsto para outros usos. Uma das principais características do consumo de água usado na produção de alimentos é o porcentual baixo de retorno, quando comparado aos usos industriais e domésticos. Espera-se também um elevado crescimento do uso de água em domicílios, sendo que, nesses casos, as taxas de retorno da água usada nos domicílios também deverão aumentar de modo proporcional.

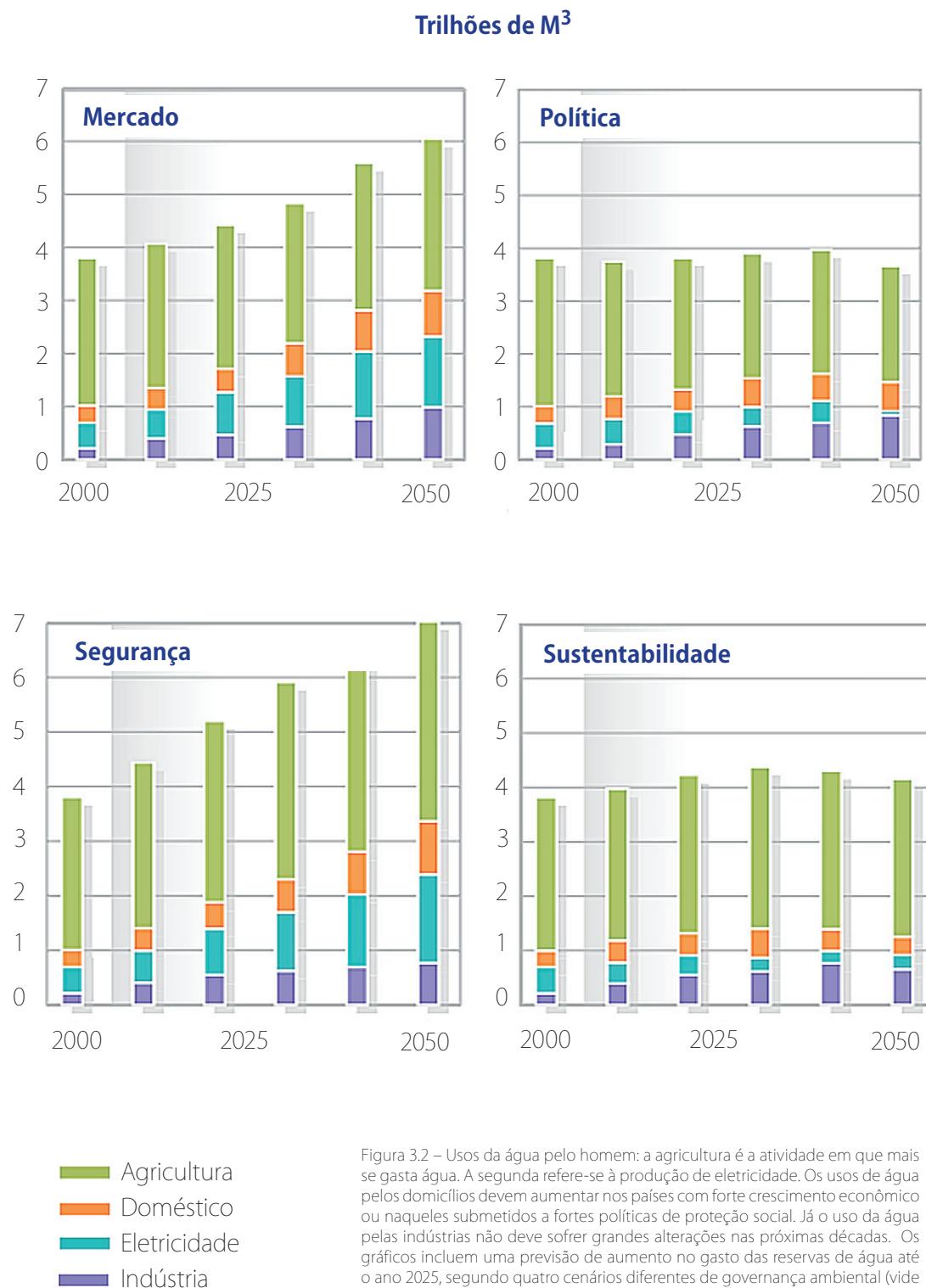


Figura 3.2 – Usos da água pelo homem: a agricultura é a atividade em que mais se gasta água. A segunda refere-se à produção de eletricidade. Os usos de água pelos domicílios devem aumentar nos países com forte crescimento econômico ou naqueles submetidos a fortes políticas de proteção social. Já o uso da água pelas indústrias não deve sofrer grandes alterações nas próximas décadas. Os gráficos incluem uma previsão de aumento no gasto das reservas de água até o ano 2025, segundo quatro cenários diferentes de governança ambiental (vide Cap. 13). Fonte: UNEP/Geo-4 (2007).

Para entender o quanto de água que determinadas atividades econômicas têm embutido em suas atividades, vamos tomar dois exemplos na indústria e na agricultura: (a) a siderurgia, mais precisamente a produção de aço e (b) a produção de alimentos.

O aço faz parte de quase todos os objetos que usamos na vida cotidiana: construção civil, utensílios domésticos, veículos, ônibus, caminhões, trens, embarcações e até em aviões. O aço é usado na indústria química, nos diversos materiais de telecomunicações, equipamentos hospitalares etc. O principal consumo de água na produção do aço ocorre na fase de coqueria, na torre, quando é realizado o apagamento úmido de coque. Informações obtidas a partir de uma planta típica indicam que essa demanda pode chegar a 807 toneladas de água por hora, dos quais 161 toneladas por hora são perdidas somente por evaporação durante o apagamento (Fig. 3.3).

Para completar o quadro do gasto de água necessário para se produzir uma tonelada de aço, devemos ainda adicionar a quantidade de água requerida na produção do minério de ferro e do carvão mineral ou vegetal. No caso do carvão vegetal, principalmente aquele produzido a partir de monocultivos de eucalipto, o gasto é ainda maior, pois deve-se considerar, ainda, a perda de água por evapotranspiração ocorrida durante o crescimento dessa árvore. Por conseguinte, para se produzir uma tonelada de aço são gastas, pelo menos, 50 toneladas de água.

### Gasto de água (Siderurgia)

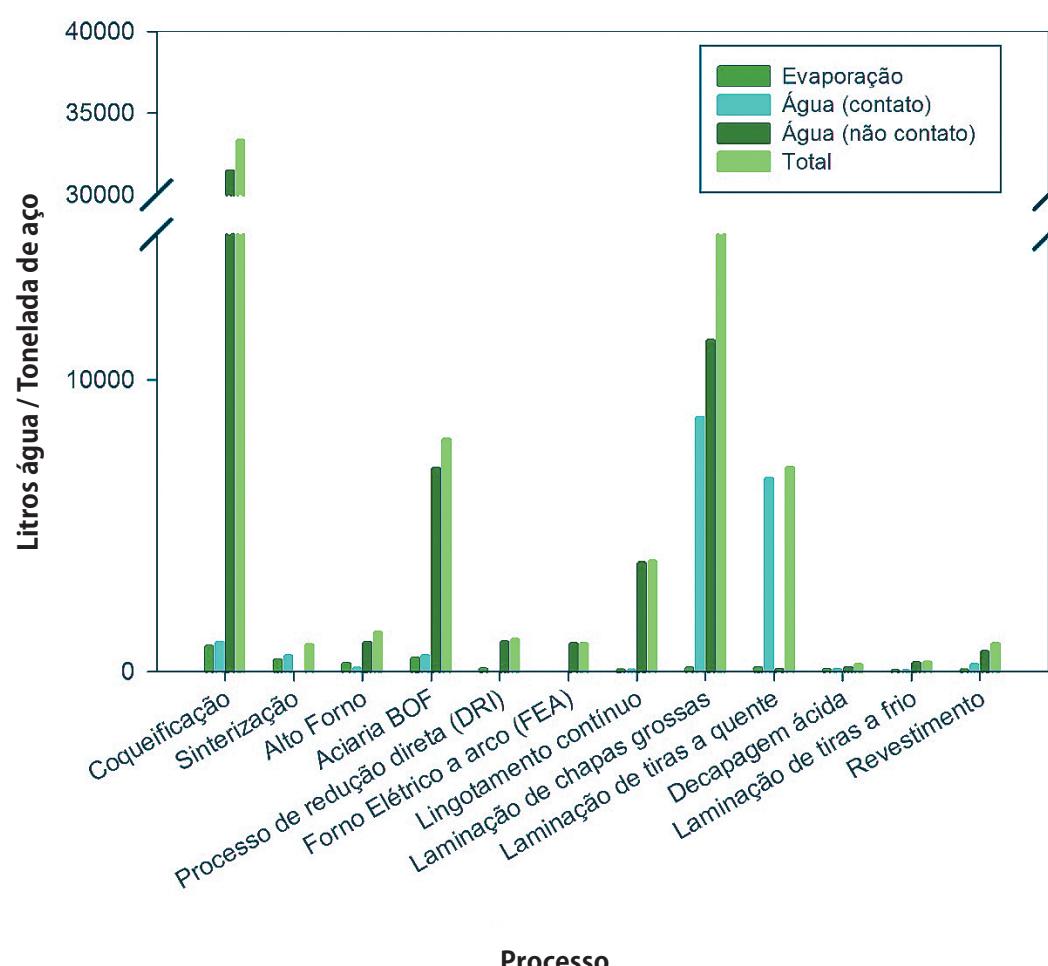


Figura 3.3 – Gasto de água por evaporação e descarte (geração de efluentes) para várias opções siderúrgicas (modificado de Johnson, 2003).

Necessitamos de alimentos para viver. A produção de alimentos é a base da segurança de toda sociedade humana. Inúmeras guerras já foram realizadas para disputar territórios férteis ou com elevada aptidão agrícola. A produção de uma tonelada de grãos (trigo) requer mil toneladas de água (Fig. 3.4).

A pecuária bovina é a atividade que mais gasta água e ainda está associada à maior destruição de habitats (Fig. 3.4). Os gastos de água com a pecuária bovina nos trópicos são ainda mais elevados por causa das temperaturas mais elevadas.

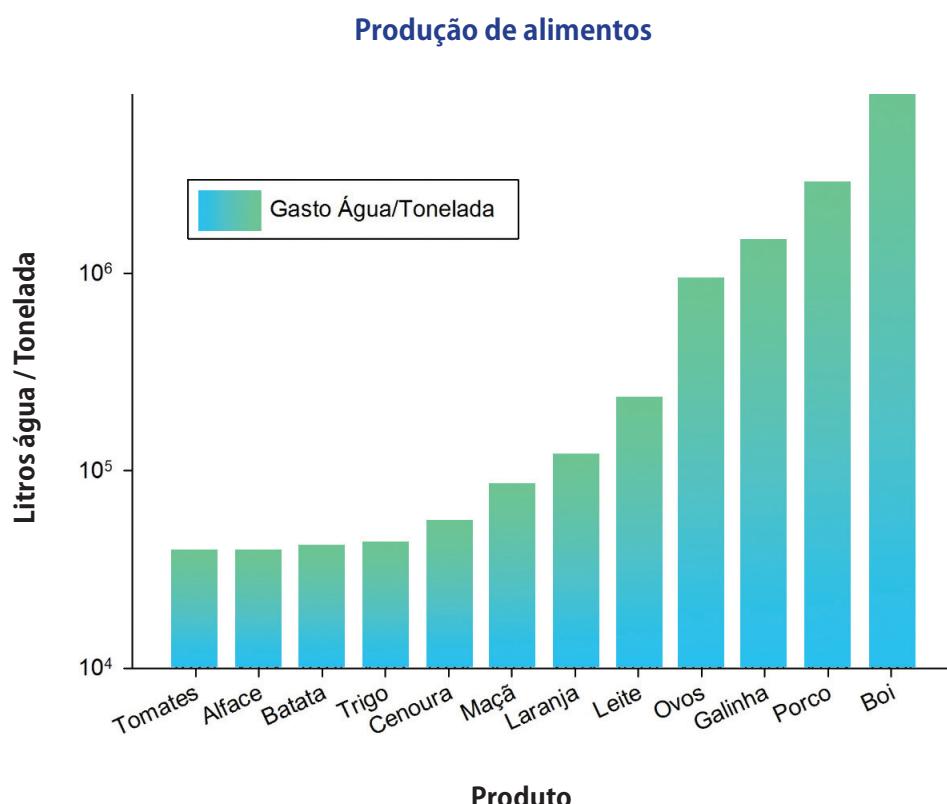


Figura 3.4- Volume em litros de água necessários para produzir uma tonelada (com base nos dados de produção do estado da Califórnia, EUA). Fonte: *World Watch Institute*.



As exportações anuais de grãos dos Estados Unidos (2003), totalizaram 90 milhões de toneladas/ano. Essa produção requer pelo menos 90 bilhões de toneladas de água, um volume que suplanta o fluxo anual do Rio Missouri, que é de 67 bilhões de toneladas anuais. O Brasil produziu, em 2003, cerca de 70 milhões de toneladas de grãos (segundo a FAO, foram 67,45 milhões de toneladas, em 2003). Essa produção demanda cerca de 70 bilhões de toneladas de água. O Rio São Francisco joga no mar todo ano cerca de 89 bilhões de toneladas de água ( $Q_{SF} = 2.850 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , segundo Salati et al., 2009).

Um bom exemplo que ilustra a quantidade de água usada para a produção de alimentos pode ser visto na irrigação, uma atividade que vem se expandindo em todos os continentes, muitas vezes de forma totalmente insustentável (Fig. 3.5).

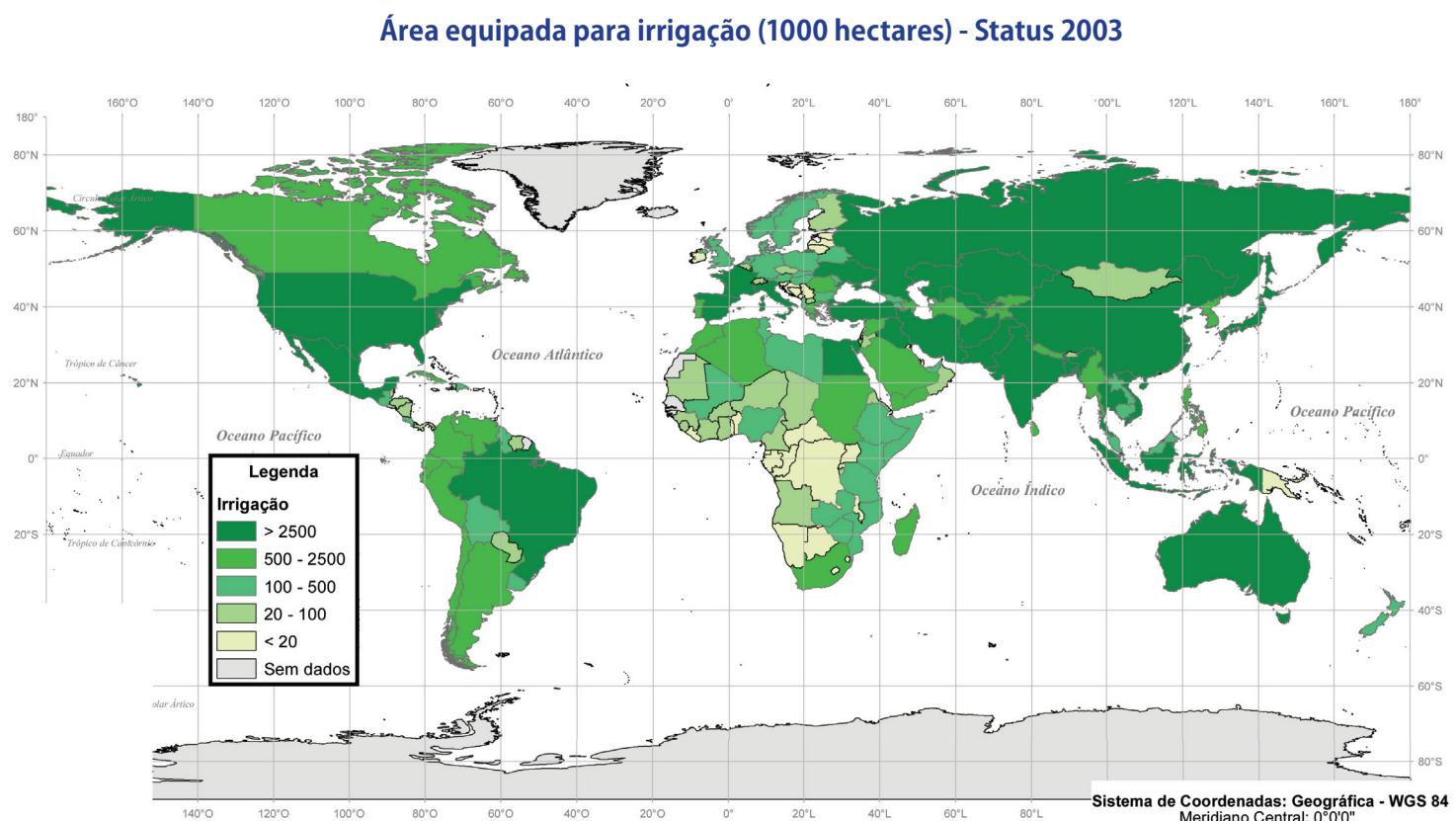


Figura 3.5 – Extensão em milhares de hectares destinada aos empreendimentos de irrigação nos diferentes países. Status de 2003.  
Fonte: AQUASTAT-FAO (2008).



A irrigação exige uma enorme captação de água ante o que efetivamente é absorvido pelas plantas irrigadas. É verdade que uma grande parte da água usada na irrigação volta aos aquíferos, lagos e rios de onde é retirada (descontando-se a evapotranspiração que pode ser muito alta nas regiões tropicais). Entretanto, essa água retorna com uma qualidade muito pior, normalmente contaminada pelo excesso de nutrientes (N e P), metais traços e outros xenobióticos (exemplo: agrotóxicos), usados nesses empreendimentos. No Brasil, a expansão da irrigação tem causado uma série de conflitos entre irrigantes e municípios e, em alguns casos, com queda expressiva da vazão média de rios importantes (Cunha, 2009).

Os exemplos da agricultura e da siderurgia não foram escolhidos por mero acaso. Essas duas atividades estão na base da civilização moderna, e seus produtos são essenciais para o nosso bem-estar e para a nossa segurança alimentar. Dessa forma, não se questiona a importância dessas atividades. O que se questiona é o fato de que as pessoas, em geral, possuem uma noção muito vaga do elevado custo ambiental, principalmente em termos de gasto de água, necessário para que essas e outras atividades econômicas possam existir.

Alguns países já perceberam que é melhor economizar água do que abusar de suas reservas disponíveis. Ao contrário do que muitos pensam, adotar medidas de sustentabilidade na política macroeconômica de um país não implica necessariamente em crescimento econômico menor. O gráfico ao lado (Fig. 3.6) ilustra uma tendência mundial para menores gastos per capita de água mesmo mantendo uma expansão do produto interno bruto. Esse decréscimo é mais notável nos países que enfrentam escassez de água, tais como o Egito, a Espanha ou mesmo a Itália. Entretanto, países com grande disponibilidade de recursos hídricos também optaram por um modelo econômico que implica em menores gastos de água.

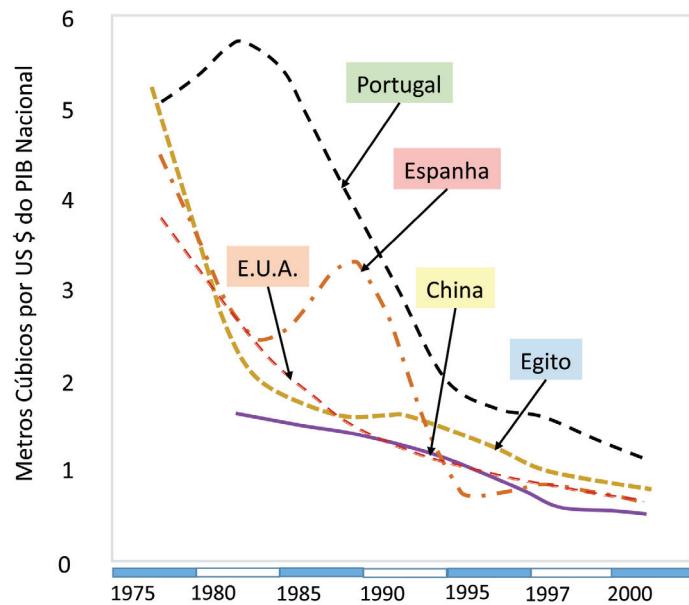


Figura 3.6 – Razão entre o consumo de água e o produto nacional bruto (PNB) em alguns países entre os anos de 1975 e 2000. Fonte: UNEP/GEO4 (2007).

O modelo econômico do Brasil está na contramão dessa tendência mundial observada por muitos países que adotaram uma estratégia para menores gastos per capita de água. Pecuária bovina extensiva, mineração, hidreletricidade, biomassa, siderurgia e petroquímica estão na base de nossa economia. O Brasil é um dos maiores exportadores de alimento e outras commodities básicas do Globo (minérios, celulose). Isso quer dizer que o País é um dos que exporta maiores quantidades de "água virtual", uma água que não se vê, mas que está embutida nos alimentos exportados (Fig. 3.7).

## Balanço regional de água virtual e fluxo interregional de água virtual Relativos ao comércio de produtos agrícolas (1997 - 2001)

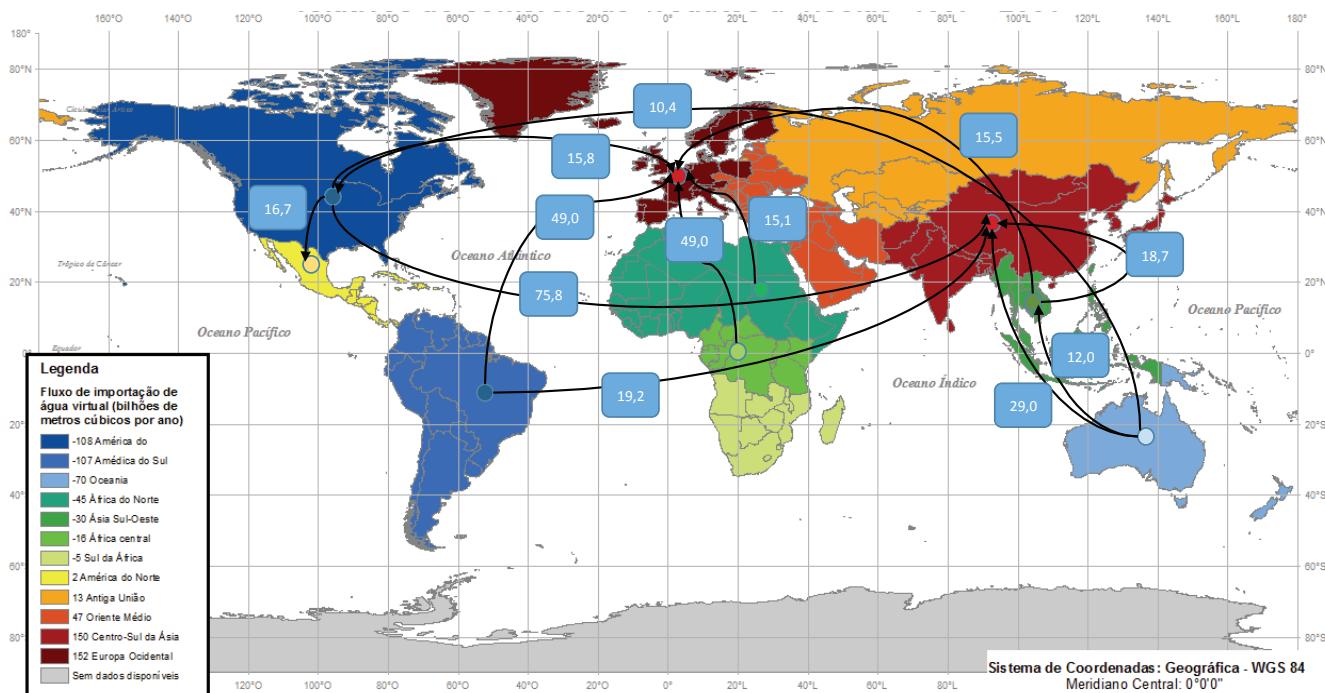


Figura 3.7 – Balanço hídrico de “água virtual”, ou seja, aquela associada à exportação de produtos agropecuários. Em azul, os países fontes de “água virtual” e em diferentes tons de vermelho, os países que mais importam a “água virtual”. Fonte: Modificado da Box 2.1, Pag. 35, UNESCO/WWDR, 2009 e de Hoekstra & Chapagain, 2008. Unidades em bilhões de metros cúbicos por ano.

Todas essas atividades estão associadas não só a um maior gasto de água mas também a uma grande depreciação da qualidade de água nos efluentes gerados por esses empreendimentos. Acreditamos que está mais do que na hora de rever profundamente essas prioridades da economia brasileira, adotando-se no País, de fato, uma visão de progresso econômico atrelado à capacidade de suporte dos recursos hídricos existentes.

### 3.1 - Água e Energia

Uma das mais importantes atividades econômicas da civilização humana refere-se à produção de energia. Necessitamos de energia para quase tudo o que fazemos em nossa vida cotidiana: transporte, saúde, educação, segurança, lazer, produção de alimentos e de bens de consumo. Apesar de sua importância, não estamos muito preocupados em saber o custo ambiental da energia que usamos. Toda forma de energia, usada pelo homem, necessita de volumes consideráveis de água para ser produzida. A Figura 3.8 nos fornece uma ideia desses valores.

**Consumo de água na produção de energia**

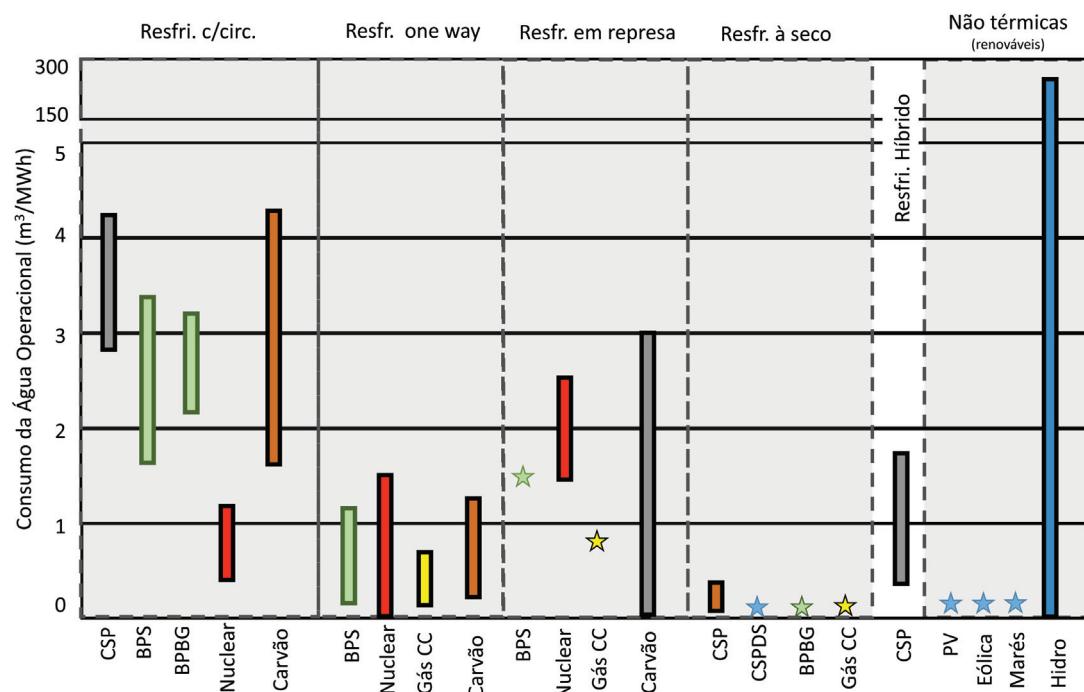


Figura 3.8 – Consumo de água (renovável e não renovável) nas várias formas industriais de produção de energia (Fonte: IPCC, 2011)

Podemos dividir o consumo de água usada na produção de energia em duas grandes categorias: (a) água renovável, (b) água não renovável. Algumas formas de produção de energia usam quase que exclusivamente a primeira modalidade, tal como é o caso da energia hidroelétrica. Já outros casos, como na produção de energia a partir do biogás ou a partir do carvão, a maior parte da energia usada está sob a forma de não renovável.

A produção de energia hidroelétrica requer um enorme aporte de água. Inicialmente, temos de considerar que para se produzir 1 Mwh necessitaremos de, pelo menos, 200 m<sup>3</sup> de água para mover as turbinas. E essa água não é qualquer água. Ela deve estar represada. A construção e a operação de

represas hidrelétricas pode ser considerada uma das obras de engenharia que maior impacto ambiental causa, sendo a maioria desses impactos não reversíveis. A água usada nas hidrelétricas sofre substanciais transformações para ser turbinada, a construção de reservatórios, particularmente nas regiões tropicais, também aumenta muito as perdas de água simplesmente por evaporação. Além disso, pesquisas recentes sugerem que os reservatórios tropicais são grandes fontes de gases formadores do efeito estufa e, dentre estes, o metano (Tremblay et al. 2004; Fearnside, 2004; Fearnside, 2005\_a; Fearnside, 2005\_b; Giles, 2006; Lima et al., 2008;).

As modalidades de energia nuclear e energia produzida a partir do carvão, gás natural ou por queima de biomassa também geram importantes gastos de água. Nesses casos, e particularmente no caso da energia térmica derivada do carvão, gás natural e biomassa, volumes consideráveis de água são perdidos. O gasto de água das usinas térmicas irá depender do modelo e da tecnologia de resfriamento (as alternativas em circuitos fechados, abertos ou semiabertos de resfriamento). Dessa forma, os investimentos em produção de energia devem também ser melhor direcionados não só na melhoria da eficiência dessa produção, mas também em menores demandas de uso de água e outros insumos (Fig. 3.8).

Muitos países atravessam sérias crises de abastecimento de energia. O Brasil já passou por esse tipo de crise em 1973, quando houve um brusco e inesperado aumento nos preços do petróleo. Outra grande crise energética foi enfrentada pelo País, em 2001 (crise do “apagão elétrico”), quando houve uma ameaça de colapso no sistema nacional de produção de energia elétrica, causado por um período de grande escassez de chuvas associado aos efeitos da corrente do “El Niño”.

Na crise do petróleo de 1973, o País não tinha uma produção de combustíveis suficiente para cobrir a demanda interna e também não dispunha de recursos suficientes para importar o petróleo com o novo preço. Foram necessárias algumas décadas de planejamento e altos investimentos em pesquisa e infraestrutura para que o País aprendesse a lição de não ter um planejamento energético a longo prazo. Uma das consequências dessa crise foi a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), um programa bem-sucedido de biocombustíveis que veio a ser copiado por vários outros países, anos depois.



A crise do “apagão elétrico” de 2001 mostrou a fragilidade da matriz energética brasileira, já que o Brasil dependia muito de um conjunto de usinas hidrelétricas concentradas nas Regiões Sul e Sudeste. As soluções encontradas pelo governo para enfrentar essa questão não foram tão originais como o lançamento do programa de biocombustíveis na década de 70. A principal estratégia encontrada foi a opção por empreender um ambicioso programa de construção de hidrelétricas na Amazônia. Esse programa vem sendo executado a todo vapor mas o preço ambiental associado à construção de grandes usinas no meio da Floresta Amazônica é muito alto.

Os impactos ambientais associados à construção de barragens na Amazônia não estão somente no afogamento de matas nativas, nas ameaças de extinção de peixes endêmicos importantes ou no deslocamento de grandes contingentes de populações indígenas. Uma vez que a Amazônia está muito distante dos centros consumidores do sudeste do Brasil, a construção dessas usinas requer a implantação de longas linhas de transmissão; demanda a abertura de novas estradas. Em última análise, a sequência de hidrelétricas na Amazônia implica na implantação de um modelo de intenso desenvolvimento econômico em um ecossistema muito mais frágil do que aqueles do Sul e do Sudeste do Brasil. No caso das usinas situadas ao longo do Rio Madeira (UHE Santo Antônio e UHE de Jirau), existem ainda importantes alterações de vazões a jusante das barragens que têm causado sérios problemas na estabilização das margens desse caudaloso rio.

Não podemos deixar de considerar, no entanto, que a disponibilidade adequada de energia é essencial para o bem-estar das populações humanas. A maior parte se não todas as metas MDGs, propostas pela ONU, depende de suficiente aporte energético. Isso, no entanto, não quer dizer que não possamos adotar um planejamento estratégico mais sustentável. O gráfico abaixo (Fig. 3.9) ilustra as diferenças nos gastos de energia quando se adota um planejamento voltado à sustentabilidade, nesse caso, com maior eficiência energética em relação ao mesmo gasto de água.

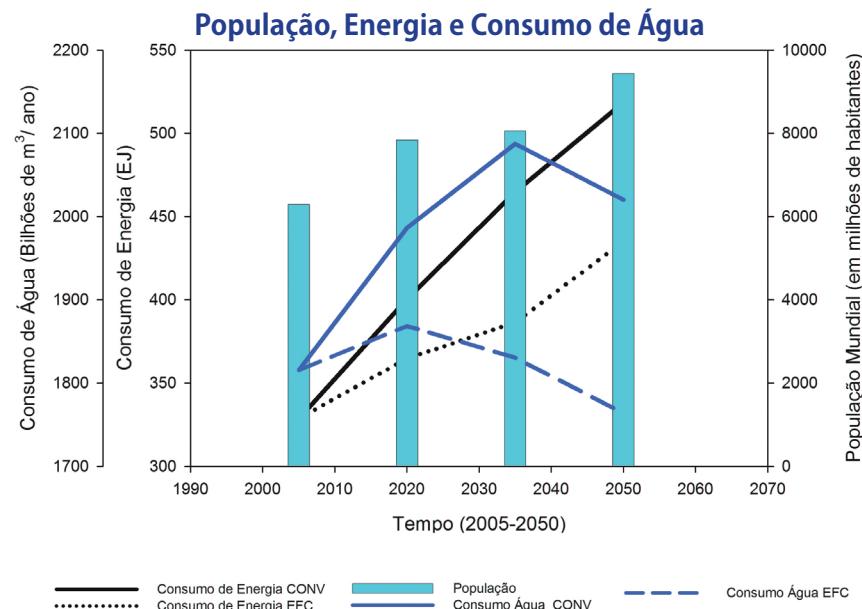


Figura 3.9 – Estimativas para o período 2005-2015 de crescimento populacional, consumo de energia e requerimentos de água para a produção dessa energia segundo dois modelos: (a) modelo convencional (CONV); (b) modelo com eficiência energética (EFC) (Fonte: WEC 2010).

Em agosto de 2014, o Brasil se viu diante de uma ameaça de racionamento de energia elétrica por causa da seca advinda graças a uma diminuição observada nos totais de chuvas nos anos de 2012 e 2013, ou seja, experimentamos uma repetição da "crise do apagão de 2001". O cartograma abaixo (Fig. 3.10) traz o resultado de simulações climáticas feitas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (IPCC, 2007) sobre variações esperadas nos totais de chuva nos oceanos e continentes para as próximas décadas. É evidente que, além dos aumentos de temperaturas previstos e já em curso, grande parte do território brasileiro sofrerá (e, na realidade, já vem sofrendo), com as secas que se tornarão cada vez mais frequentes e intensas. Aparentemente, o governo brasileiro não tem levado a sério essas previsões feitas pelo IPCC, já que não vemos grandes mudanças no planejamento estratégico da matriz energética brasileira.

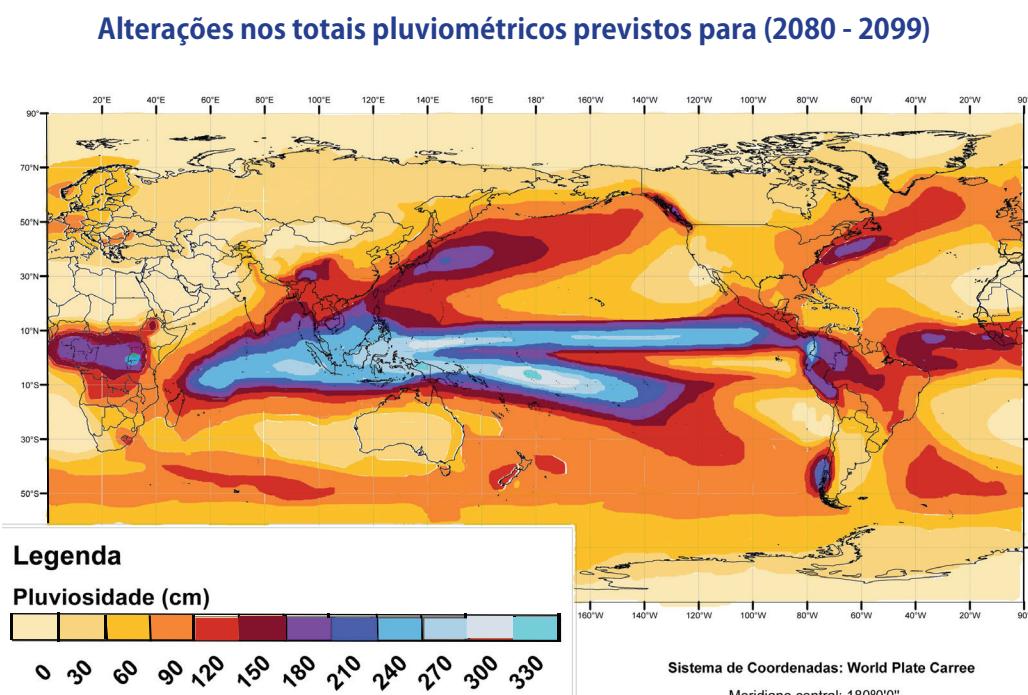


Figura 3.10 – Mudanças previstas para aumento (em azul) ou diminuição dos totais pluviométricos previstos para o período 2080 a 2099, em relação ao período 1980 a 1999, segundo modelos climáticos que simulam o aumento das temperaturas e variações de precipitação atmosférica (IPCC, 2007).

## 3.2 - Pesca e Aquicultura

A pesca, seja marinha seja continental, não está crescendo para suprir as demandas de consumo mundial de pescado. Desde meados dos anos 90, os totais desembarcados de pescado têm permanecido no mesmo patamar. Enquanto isso, os estoques disponíveis para a pesca comercial têm sofrido um declínio constante (Fig. 3.11). A crescente industrialização da frota pesqueira, os fortes investimentos de muitos governos nacionais no aumento da indústria da pesca mesmo aquela não sustentável (principalmente em alguns países da Ásia) e, ainda, mudanças no clima e na dinâmica dos oceanos podem ser alguns dos fatores que explicam o grande declínio observado nessa atividade em todo o mundo (Pauly et al. 2002).

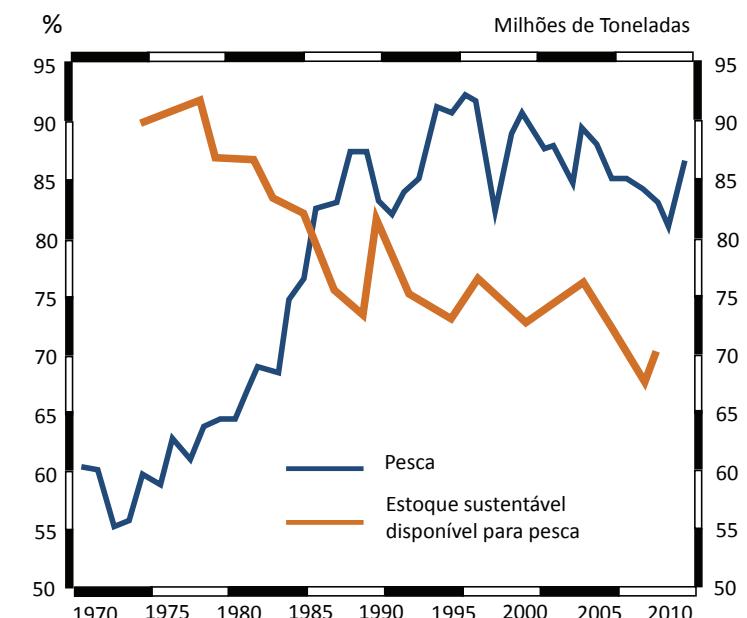


Figura 3.11 – Evolução dos desembarques pesqueiros em todo o mundo (1970-2011), em contraposição com os estoques sustentáveis disponíveis para a pesca (1970-2009). Valores em toneladas métricas de pescado (Fonte: FAO-UNO, 2010).



Em contraste com a estagnação da pesca mundial, o avanço de novas tecnologias advindas do crescente conhecimento em algumas áreas, particularmente na Zootecnia, Genética e Ecologia, bem como a crescente demanda por peixes e outros animais aquáticos, são alguns dos fatores que explicam o enorme avanço da aquicultura nas últimas décadas. Aquicultura é a produção de organismos de valor econômico com habitat predominantemente aquático, em cativeiro, em qualquer um de seus estágios de desenvolvimento (Beveridge, 2004; Boyd & Tucker, 1998).

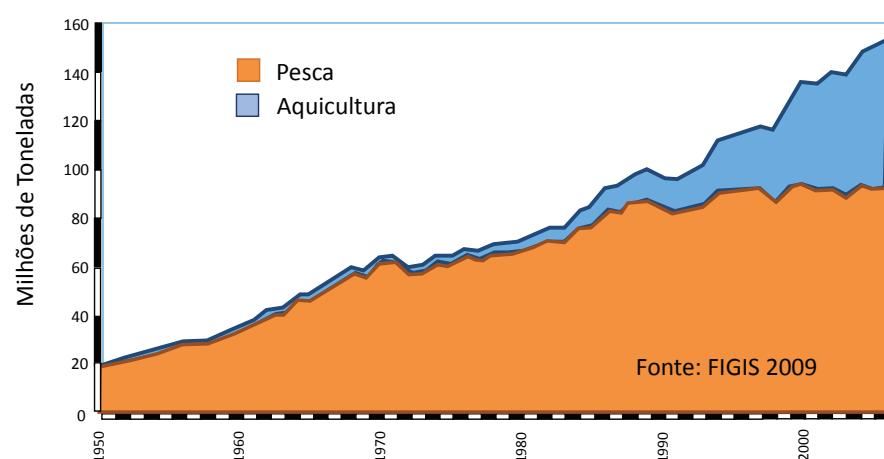


Figura 3.12 – Crescimento da atividade aquícola em contraste com a estagnação da pesca comercial em todo o mundo (Outras fontes: FAO/UNO, 2010 e FIGIS, 2009)

A aquicultura depende fundamentalmente da boa saúde ambiental dos ecossistemas nos quais está inserida. É fundamental que seja mantido um equilíbrio entre produção sustentável de peixes ou de outros produtos, desde que seja também preservado todo o conjunto de organismos e de processos essenciais para a integridade dos ecossistemas explorados. Assim, é um pressuposto básico da aquicultura entender que a preservação ambiental é parte do processo produtivo, e os custos dessa preservação devem ser considerados em qualquer plano de negócio de um projeto viável de aquicultura.

A aquicultura experimentou, em todo o mundo, um enorme crescimento a partir dos anos 80 (Fig. 3.12; Fig.3.13). Hoje, a China é o maior produtor de pescado de origem aquícola, e sua produção corresponde a 70% da produção mundial. Em segundo lugar, destacam-se os demais países da Ásia, notadamente a Índia.

O Brasil ocupa o 2º lugar no ranking na América do Sul, ficando logo atrás do Chile (Crepaldi et al., 2006; Kubitza, 2007). O País possui condições favoráveis para o desenvolvimento da aquicultura, pelas suas condições naturais propícias à atividade, como a grande riqueza e variedade de ecossistemas aquáticos existente, uma elevada riqueza em espécies nativas e heterogeneidade de microclimas. O Brasil está investindo bastante na capacitação de pessoal e vem desenvolvendo pesquisas inovadoras na área. Dentre a elevada riqueza de espécies nativas de peixes, já é sabido que algumas delas possuem alto potencial para a aquicultura. Podemos citar os peixes redondos, tais como o tambaqui e o pacu, e alguns peixes silurídeos, tais como o pintado. Entretanto, essa atividade no País é ainda dominada por espécies exóticas, principalmente a tilápia e a carpa. Para que possamos desenvolver bons modelos zootécnicos com os peixes nativos brasileiros, é preciso investir em estudos com as espécies locais que possibilitem sua plena viabilidade zootécnica e econômica. Um bom exemplo, é o estudo que a UFMG vem fazendo com algumas das espécies com bom potencial para a prática da aquicultura, tais como o pacamã, uma espécie nativa da Bacia do Rio São Francisco (Souza e Silva et al., 2014) ou o cascudo que também ocorre nessa bacia (Luz & Santos, 2010).



**Aquacultura no mundo (1970-2008)**

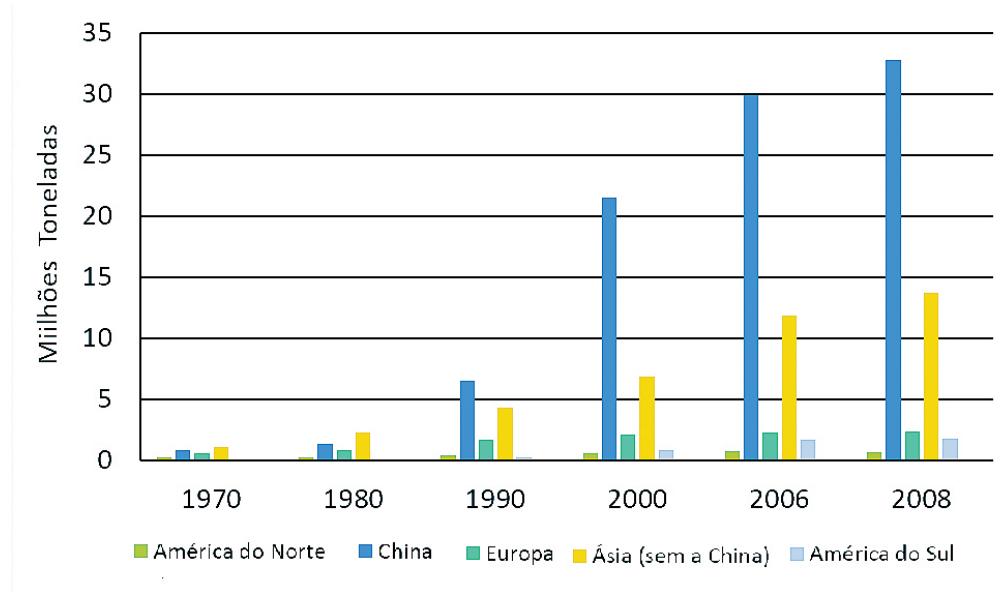


Fig. 3.13 – Evolução da aquicultura no mundo (1970-2008) (FAO-UNO, 2010).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda o consumo anual de pescado de pelo menos 12 quilos por habitante/ano. O brasileiro ainda consome abaixo disso. Entretanto, houve um crescimento de 6,46 kg para 9,03 kg por habitante/ano entre 2003 e 2009. O Programa “Mais Pesca e Aquicultura”, do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), previa o consumo de 9 kg por habitante/ano apenas, em 2011. Portanto, essa meta foi atingida com dois anos de antecedência.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) prevê que até 2030, a demanda internacional de pescado advindo de projetos aquícolas aumente em mais 100 milhões de toneladas por ano. A produção mundial hoje é da ordem de 126 milhões de toneladas, e deverá dobrar em 15 anos.

Segundo a FAO, o Brasil poderá tornar-se um dos maiores produtores em aquicultura do mundo, até 2030, ano em que a produção pesqueira nacional teria condições de atingir 20 milhões de toneladas. Entretanto, a produção nacional mostra-se muito acanhada diante da grande demanda que está por vir. Os preços ainda são muito elevados e a população ainda não tem o hábito de consumir produtos de origem aquícola com regularidade.

Dentre os principais fatores que impedem o avanço da aquicultura no Brasil pode-se citar a falta de tecnologia apropriada, com o uso frequente de metodologia ainda muito artesanal (Tab. 3.1). Além, disso, faltam empreendedores e linhas de crédito apropriadas. Há uma crônica ausência de técnicos

Tabela 3.1 - Fatores positivos e negativos que afetam o desenvolvimento da aquicultura no Brasil.

<b>Pontos Positivos</b>	
1	Qualidade de produtos
2	Segurança alimentar
3	Possibilidade de produção em áreas tidas como impróprias;
4	Avanço da genética e da zootecnia
5	Existência de políticas públicas
<b>Pontos Negativos</b>	
1	Alto custo de terras
2	Questões ambientais
3	Custo energético
4	Falta de mão-de-obra capacitada
5	Falta de capital para investimento
6	Falta de visão estratégica empresarial



Fica claro que a atenuação ou agravamento da atual crise nas águas que estamos vivendo está na dependência de uma grande mudança dos fundamentos da ordem econômica mundial. Está mais do que na hora da sociedade não só exigir claras mudanças junto aos políticos e formuladores da política econômica, em todos os níveis de governo e junto à comunidade internacional, mas também participar ativamente dessas transformações.

A principal mudança deve ser a do alinhamento de toda e qualquer atividade econômica aos fundamentos do desenvolvimento sustentável e uma observância ortodoxa à capacidade de suporte dos ecossistemas. Embora seja fácil de propor, essa mudança irá exigir grandes sacrifícios de todos nós. O prêmio é a garantia de um futuro digno para as próximas gerações.

## 4 - Rios

Os rios, apesar de contribuírem muito pouco para os estoques totais de água doce existentes na biosfera, são extremamente importantes para a civilização humana. Influenciaram culturas diferentes e a história de nações inteiras (Fig. 4.1). A origem de muitos centros urbanos na Europa Ocidental está intimamente ligada ao estabelecimento de uma classe burguesa que fugia da servidão campesina. Essa nova classe social, ainda na Idade Média, estabeleceu-se e desenvolveu novos centros comerciais ao longo de rios, tais como o Reno, Danúbio, Sena, Tejo, Tâmisa e muitos outros. Pode-se mesmo dizer que os rios da Europa foram os condutores do progresso e, mais do que isso, os cursos d'água foram os agentes libertadores que possibilitaram o desenvolvimento do comércio libertando milhões de pessoas do regime feudal e da servidão.

Em outras partes do mundo, os rios foram importantes não só para o desenvolvimento regional, mas também foram usados pelo homem para conquistar outros povos e terras. Nas Américas, foram os rios que possibilitaram aos europeus a conquista de novas terras. Na Ásia, várias culturas e religiões estão intimamente ligadas aos rios. E na África, até o tráfico de escravos era feito seguindo a geografia fluvial.

Os rios sempre foram disputados pelo homem. Eles foram conquistados e perdidos pelos povos em guerra através dos tempos. Batalhas impressionantes registradas pela História aconteceram às margens dos rios. Um bom exemplo é dado pela Guerra do Paraguai (1864-1870), que ocorreu entre o Paraguai e a Tríplice Aliança (Argentina, Brasil e Uruguai). Essa guerra teve inúmeras batalhas fluviais (ex: batalhas de Riachuelo e de Humaitá) e foi o maior conflito bélico que já ocorreu na América do Sul. Cerca de 50.000 brasileiros morreram em combate ou em decorrência da cólera. A população do Paraguai que era de 450.000 habitantes antes da guerra passou a contar com apenas 150.000 habitantes, depois desse conflito, considerado como um dos mais destrutivos para uma nação na história moderna (Whigham, 2002).



**Localização dos 25 rios mais importantes do mundo**

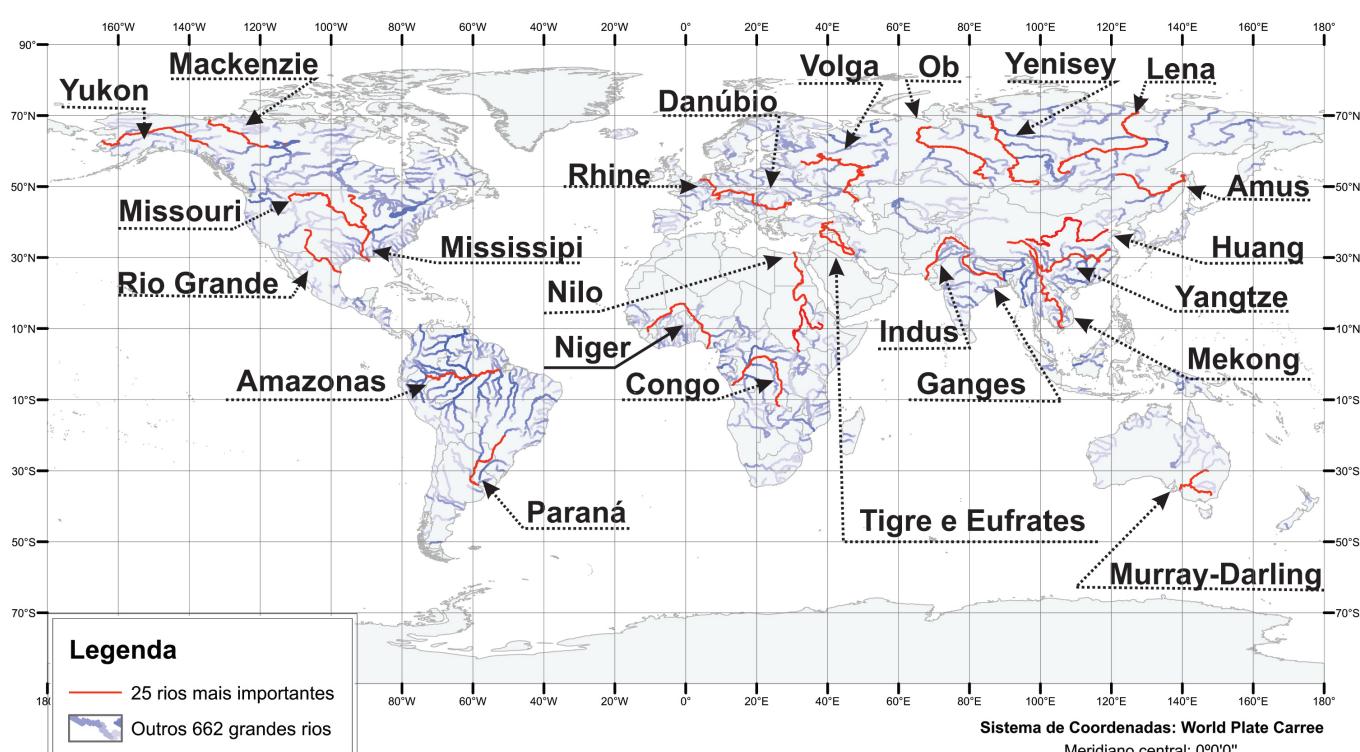


Figura 4.1 – Localização dos 25 rios mais importantes do mundo. Fonte: GRDC (2007).

Vamos analisar alguns exemplos de rios que moldaram e ainda moldam a história de grandes países ou mesmo continentes inteiros (principais fontes consultadas: WWF (2014\_a), WWF (2014\_b) e Wikipedia (2014)).

O Rio Volga é o maior rio da Europa. Trata-se de uma importante via fluvial de comércio que possui longos trechos navegáveis e também desníveis, que permitem o uso da força de suas águas para a geração de energia elétrica. Esse rio atravessa as grandes planícies da Rússia, indo desaguar, em forma de delta, no mar Cáspio (lago salino interior). Graças a uma série de canais, o Volga interliga mares e lagos tais como os mares Branco, Báltico, Cáspio, Azov e Negro. Esse sistema interligado forma uma das maiores hidrovias do Planeta, sendo essencial para o transporte de bens no interior da Rússia. O vale do Rio Volga, na Confederação da Rússia, concentra uma parte importante da indústria russa. Também tem um papel central no imaginário russo, inspirando a literatura e música do país.

O Rio Yangtzé, também conhecido como Rio Azul, é o maior da Ásia. A sua bacia hidrográfica varia de 1.800.000 a 1.942.500 km<sup>2</sup> e irriga as regiões mais férteis da China. O Rio Yangtzé é a fronteira natural entre as regiões culturais do norte e sul da China. Junto com o Rio Amarelo, o Yangtzé é o mais importante da história, cultura e economia da China. O próspero Delta do Yangtzé gera 20% do produto interno bruto (PIB) chinês. Por milhares de anos, o homem tem utilizado a água desse rio para irrigação, saneamento, transporte, indústria e para a guerra. A Barragem das Três Gargantas, no Rio Yangtzé, é a maior central hidrelétrica do mundo. Nos últimos anos, esse rio tem sofrido com a poluição industrial, agrícola, o assoreamento e a perda de zonas úmidas, o que agrava inundações sazonais. Segundo a organização WWF, o Rio Yangtzé recebe 25 bilhões de toneladas de dejetos domésticos e industriais todos os anos. Os principais poluentes são os sólidos em suspensão, compostos oxidantes orgânicos e inorgânicos e nitrogênio sob a forma amoniacal (WWF, 2014).

O Rio Amarelo, berço da civilização chinesa, é também conhecido como Huang He. É o segundo mais longo rio da China e o sexto maior do mundo. Sua bacia hidrográfica possui 752.000 km<sup>2</sup>. Seu nome deriva da grande quantidade de materiais em suspensão, que conferem ao rio a cor amarelada. O Rio Huang He é muito importante para a economia chinesa, pois o seu vale possui terras férteis, bons pastos e importantes jazidas minerais. Foi nesse rio que a civilização chinesa começou. O Rio Amarelo recebe no verão um grande volume de águas originadas do degelo nas montanhas no oeste da China, originando inundações periódicas em toda a bacia. Os sedimentos (*loesse*) trazidos pelo rio causam o constante assoreamento de sua calha, que muda frequentemente de posição, agravando as enchentes. No passado, as enchentes repentinas no Rio Amarelo causavam tantas mortes que os chineses o apelidaram de *"Rio das Lamentações"*. Essa foi a principal razão pela qual os chineses demoraram muitos séculos para ocupar de forma permanente a grande e fértil planície central da bacia do Rio Amarelo.

O Rio Ganges não é só um dos maiores rios do mundo em fluxo de água, mas moldou de tal forma a religião, a cultura e a história da região que ele passou a ser conhecido como o "Rio da Índia". Nasce na Cordilheira do Himalaia e deságua na Baía de Bengala. Suas águas banham diversas capitais de províncias da nação indiana. O Ganges e seus afluentes abrangem uma bacia hidrográfica fértil de cerca de um milhão de km<sup>2</sup>, que é a mais densamente povoada do Planeta, com mais de 400 milhões de pessoas e uma densidade populacional que atinge a cifra de 390 habitantes por km<sup>2</sup>. O principal problema ambiental sofrido pelo Rio Ganges é a entrada de esgotos parcialmente ou não tratados a partir de várias municipalidades. O volume de esgoto que entra todos os dias nesse rio é assustador: 1,34 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> por dia (Sharma, 1997).

O Rio Congo (ou Zaire) é o mais profundo e o segundo maior rio do mundo em vazão (67.000 m<sup>3</sup>/s, na sua foz). Trata-se também da segunda maior bacia hidrográfica do Planeta atingindo uma superfície de mais de 4,0 milhões de km<sup>2</sup>. O Rio Congo possui uma extensão total de 4.700 km e desenvolve um curso típico em "U" invertido, cruzando duas vezes a linha do equador. O Rio Zaire (Congo) não só atravessa a República Democrática do Congo, mas também a sua bacia hidrográfica ocupa quase que a totalidade dos territórios nacionais desse grande país africano, juntamente com a República do Congo. O rio Congo deságua no Oceano Atlântico em uma estreita faixa territorial compartilhada pela República Democrática do Congo, por Angola e pela República do Congo, ao norte. O Congo recebe as águas do



Lago Tanganica, através do Rio Lukuga. É no Rio Zaire que estão localizadas as cataratas de Livingstone (no total 32 cataratas). Encontram-se, ainda, em sua bacia hidrográfica os maiores remanescentes de floresta equatorial da África. O rio banha duas capitais nacionais: Brazzaville, na República do Congo, e Kinshasa, na República Democrática do Congo. Os principais problemas ambientais existentes na bacia do Rio Zaire são o desmatamento acelerado, a poluição causada por lançamento de lixo e esgotos domésticos não tratados, a sobre pesca e exaustão dos recursos pesqueiros (UNEP/GCLME, 2014).

O Rio Nilo é o mais extenso do mundo (7.088 km), com uma bacia hidrográfica chegando a  $3,3 \times 10^6 \text{ km}^2$ . Origina-se da confluência de três outros rios, o Nilo Branco (que se origina no lago Victoria), o Nilo Azul e o Rio Atbara. O Nilo Azul nasce no Lago Tana (Etiópia), confluindo com o Nilo Branco em Cartum, capital do Sudão. O Rio Nilo corre no sentido sul-norte, na região nordeste do Continente Africano. A sua foz ocorre no Mar Mediterrâneo, após atravessar dez diferentes países africanos.

Os principais problemas ambientais enfrentados pelo Rio Nilo são relacionados com a intensa captação de água, usada para abastecimento doméstico e para a irrigação, e à poluição doméstica e industrial. Esses problemas afetam principalmente os trechos médio e inferior e, notadamente, a região do delta do rio Nilo (Elewa, 2010).

O Rio Mississippi junto com Rio Missouri, seu afluente, formam a maior bacia hidrográfica da América do Norte. A extensão conjunta desses dois rios é de 6.270 km. O Mississippi junta-se com o Rio Illinois e o Rio Missouri próximo a Saint Louis, e com o Rio Ohio, em Cairo. O Rio Arkansas une-se ao Rio Mississippi no estado de Arkansas. O Rio Atchafalaya em Louisiana é o maior tributário do Rio Mississippi. Esse grande rio americano drena uma vasta região entre as Montanhas Rochosas e os Apalaches, exceto a área drenada pelos Grandes Lagos, ao norte. Ele corta, ou margeia, dez estados americanos, antes de desaguar no Golfo do México, cerca de 160 km rio abaixo de New Orleans. É dividido em alto Mississippi, trecho que vai da sua nascente sul até no Rio Ohio. O trecho médio Mississippi tem seu início logo abaixo da confluência com o Rio Missouri, até a cidade de St. Louis, onde começa o baixo Mississippi, que se estende até sua foz, próximo a New Orleans. Uma série de comportas e represas foram construídas ao longo do trecho mais elevado do rio para permitir a navegação. Abaixo de St. Louis, o Mississippi é relativamente livre para navegação, embora isto seja também garantido por numerosas barragens e canais ou braços de represas. O delta do Mississippi vem sendo alterado através das diferentes eras geológicas, e a tendência atual é a de avanço da linha da costa em direção ao Golfo do México.

O Rio Mississippi apresenta uma longa história de contaminação ambiental decorrente das atividades agrícola e industrial. Os níveis de contaminação existentes nesse rio atingiram valores críticos nos anos 70. Nesse período, foram detectadas concentrações bem elevadas para uma série de poluentes nos sedimentos (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos – PAHs, pesticidas orgânicos policlorados – PCBs, metais traços, com especial atenção para o Cd, dentre outros poluentes) (NOAA, 1998). Entretanto, deve ser ressaltado que a saúde ecológica desse rio vem melhorando de modo significativo, devido a uma série de ações de governança ambiental, que vem sendo adotada ao longo dos últimos anos.

O Rio Amazonas é o segundo rio mais extenso do mundo, com 6.992,06 km e mais de mil afluentes sendo o rio com maior fluxo de água por vazão do mundo. A Amazônia é a maior bacia de drenagem do mundo e possui cerca de 7.050.000 km<sup>2</sup>. Ali ocorre um quinto do fluxo pluvial total do mundo. As descargas do Rio Amazonas ocorrem através de dois grandes braços (norte e sul), em vazões que variam entre 100.000 e 220.000 m<sup>3</sup>/s, com um valor médio de 180.000 m<sup>3</sup>/s. Em termos anuais, essas descargas chegam ao volume de 5.700,0 km<sup>3</sup>, que corresponde a 16% do total de água doce descarregada pelos rios em todo o mundo no mesmo período (Fig. 4.2) (Torres & El-Robrini, 2004).

O Rio Amazonas tem sua origem na nascente do Rio Apurímac (alto da parte ocidental da Cordilheira dos Andes), no sul do Peru, e deságua no Oceano Atlântico junto ao Rio Tocantins, no estado do Pará, Brasil. O rio entra pelo Brasil com o nome de Rio Solimões. Somente na altura da cidade de Manaus, após sua junção com o Rio Negro, passa a receber o nome de Amazonas. Este rio é o único com uma foz mista no mundo (delta e estuário). Sua bacia hidrográfica é a maior do mundo, ultrapassando os 7,0 milhões de km<sup>2</sup>. A área coberta por água no Rio Amazonas e seus afluentes mais que triplica, durante a estação chuvosa. Em média, na estação seca, 110.000 km<sup>2</sup> estão submersos, enquanto que na estação das chuvas essa área chega a ser de 350.000 km<sup>2</sup>. No seu ponto mais largo, o Amazonas atinge, na época seca, 11 km de largura, que se transformam em 50 km durante as chuvas.

A conquista do Rio Amazonas, primeiro pelos espanhóis e depois pelos portugueses foi difícil e cheia de aventuras. O nome do rio advém das índias guerreiras que derrotaram os espanhóis em uma de suas primeiras tentativas de conquista. O Rio Amazonas embora, desempenhe um papel fundamental para a economia, cultura e imaginário dos povos da Amazônia representa, juntamente com as florestas do seu entorno, uma das últimas fronteiras da natureza que ainda vem resistindo ao avanço da civilização. Ainda é possível encontrar, na região amazônica, povos indígenas com quase nenhum contato com a civilização, e milhares e milhares de quilômetros quadrados de matas ainda intocadas.

## Rio Amazonas e seus principais tributários

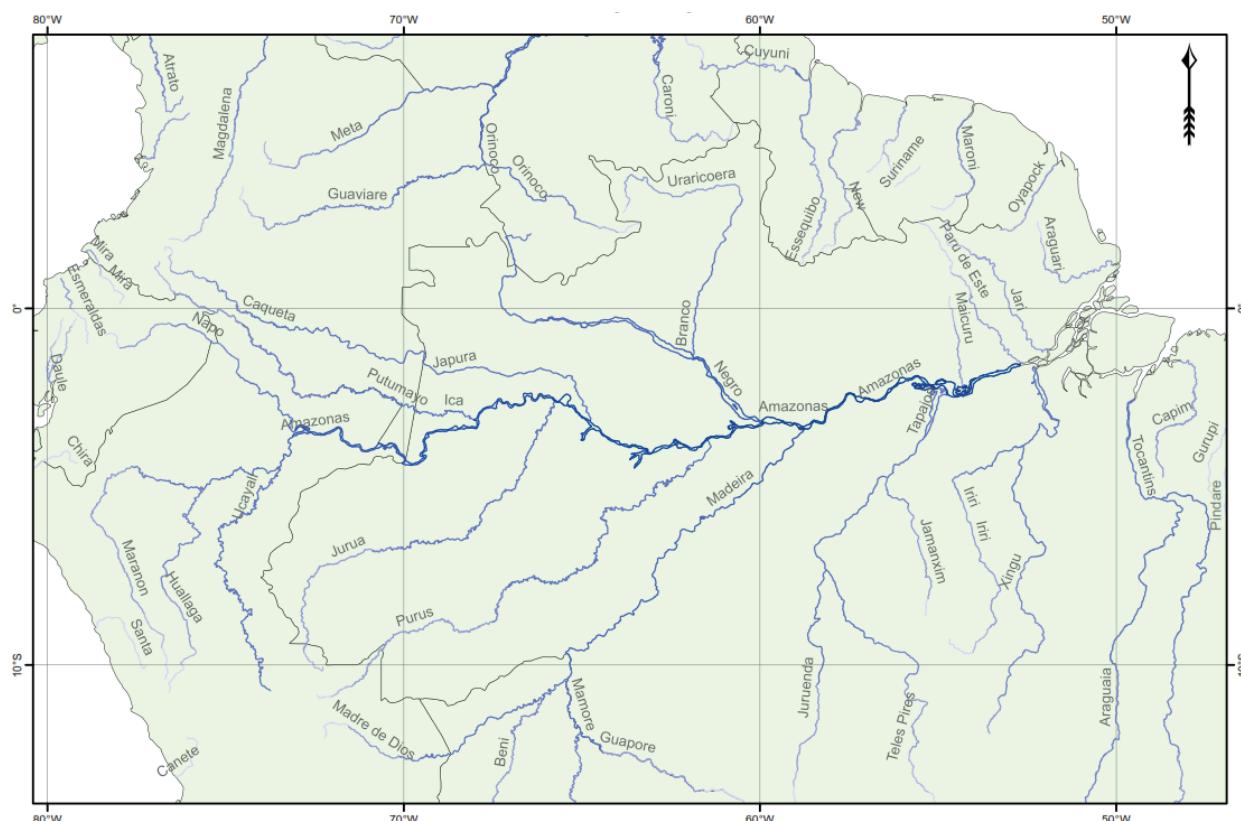


Figura 4.2 – Cartograma com a bacia do rio Amazonas e seus principais tributários e quadro comparativo das vazões do rio Amazonas comparadas a outros grandes rios.

A história do desenvolvimento econômico da Amazônia reveste-se de fatos espetaculares, de mitos, utopias e, sobretudo, de alguns fracassos estrondosos. A Ferrovia Madeira-Mamoré, a Fordlândia com o sonho da borracha, as rodovias transamazônicas, o avanço descontrolado da pecuária e os monocultivos de cana, soja e eucalipto, a derrubada contínua das florestas por madeireiros e índios corrompidos, o desrespeito às práticas tracionais e sustentáveis (seringueiros, pesca tradicional), os grandes projetos de mineração e as hidrelétricas no Rio Madeira. Todas essas iniciativas, além de não gerarem um desenvolvimento social sintonizado à Ecologia da região, estão associadas a uma situação fundiária que sempre acaba gerando conflitos. Esses projetos quase sempre estimulam um crescimento populacional descontrolado nas metrópoles regionais, e atuam, muitas vezes, em grande simbiose com esquemas seculares de corrupção nos governos regionais e locais.

A Amazônia vem sendo submetida a uma intensa pressão antrópica que pode resultar em consequências catastróficas para todo o Planeta. A expansão da pecuária, dos monocultivos de soja e cana, da mineração e a construção de grandes reservatórios têm casado um aumento do desmatamento e dos incêndios florestais. Além disso, todo esse desenvolvimento econômico tem induzido uma rápida expansão dos centros urbanos regionais (Manaus, Belém, Porto Velho, Parintins, Itacoatiara, Coari, Santarém, Marabá, dentre outras). Essas pressões regionais, aliadas às pressões resultantes do aquecimento global podem estar nos aproximando de um ponto de ruptura do equilíbrio dos ecossistemas amazônicos. Um colapso da floresta poderá ter consequências adversas e permanentes para o Planeta Terra. O princípio da precaução nos aconselha a levar mais a sério as previsões e modelagens climáticas existentes (Nobre, 2007; IPCC, 2007).

O Rio Paraná é o segundo maior rio sul-americano, que nasce na confluência de dois importantes rios brasileiros: o Rio Grande e Rio Paranaíba. Possui uma extensão total de mais de 4.800 km. O Rio Paraná drena ou limita quatro estados brasileiros (Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná) e ainda passa pelo Paraguai e termina no Rio da Prata, Argentina. A Foz do Rio Iguaçu marca a fronteira tríplice entre a Argentina, Brasil e o Paraguai. O rio continua correndo para o sul, nas divisas entre Argentina e o Paraguai. Próximo à cidade de Posadas, o rio muda para direção oeste. Na confluência do Rio Paraguai, o rio volta-se, novamente, para o sul e passa a correr inteiramente em terras argentinas, desaguando no Rio da Prata. Sua vazão, na foz, atinge 16.000 m<sup>3</sup>/s, sendo comparável às vazões do Rio Mississippi (18.000 m<sup>3</sup>/s) e o Rio Ganges (16.000 m<sup>3</sup>/s), respectivamente. Existem importantes empreendimentos hidrelétricos em toda a bacia do Rio Paraná, bem como de seus maiores tributários. Pode-se dizer que a energia hidrelétrica gerada nessa bacia é vital para as economias do Brasil, Argentina, Uruguai e, ainda, fazem do Paraguai o maior exportador de energia elétrica do mundo.

## 4.1 - A importância ecológica dos grandes rios na biosfera

Os rios são importantes não só pelo que representam como unidades da paisagem e da biosfera. Embora não armazenem muita água, transportam grandes quantidades de água no somatório do tempo. Ao transportarem água, transportam também sedimentos, nutrientes e carbono. Esse transporte é importante para a manutenção da vida na plataforma continental dos mares. A fertilidade dos oceanos depende desse transporte. Por outro lado, os rios modificam, modelam os ecossistemas terrestres ao seu entorno. Dessa forma, podemos identificar três grandes dimensões de um rio (Fig. 4.3): (a) longitudinal; (b) transversal; (c) vertical.

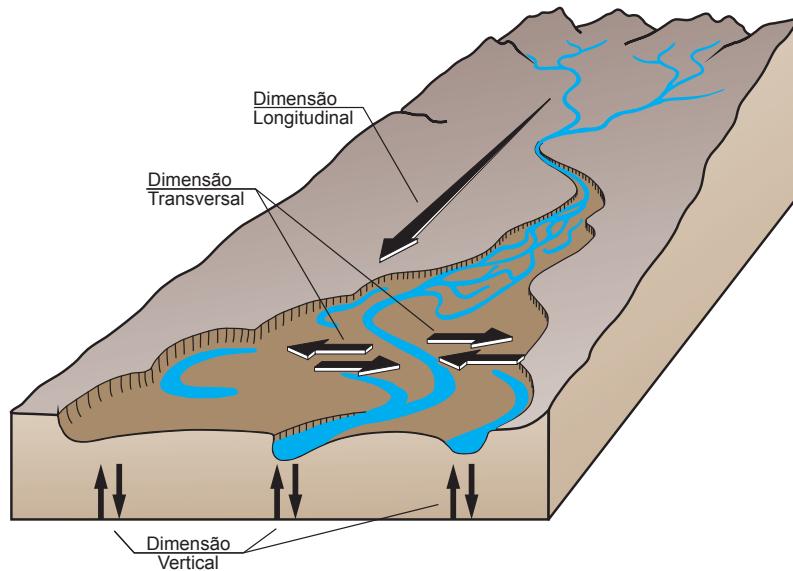


Figura 4.3 – As três dimensões de um grande rio: (a) longitudinal, ou seja, a dimensão que vai da nascente à foz; (b) transversal ou lateral, ou seja, a dimensão que conecta o rio aos ecossistemas do entorno; (c) vertical, ou seja, a dimensão que une o rio às características geológicas, pedológicas e geomorfológicas do substrato (Modificado de Lévéque, 2003).

A dimensão lateral de um rio tem a ver com as inúmeras interfaces estruturais e dinâmicas que este possui com os ecossistemas do entorno (Fig. 4.4). Uma das principais funções de um rio são os pulsos das cheias. As cheias de um grande rio constituem um mecanismo de renovação não só do rio mas de todos os ecossistemas laterais. Ao sair de sua margem principal, um rio leva consigo sedimentos, nutrientes e vida. Muitos peixes aproveitam esse período para se reproduzirem. De outra parte, muitas plantas produzem frutos e sementes que, além de alimentarem os peixes, irão ser transportadas pelo rio a jusante, garantindo a dispersão dos seus indivíduos. O aumento da produção biológica possibilitado pelas enchentes não tem sido usado só pelos homens, na agricultura de várzeas alagáveis. Muitas aves, mamíferos e centenas de espécies de insetos aproveitam-se dessa riqueza periódica trazida pelas cheias dos rios para se proliferarem.

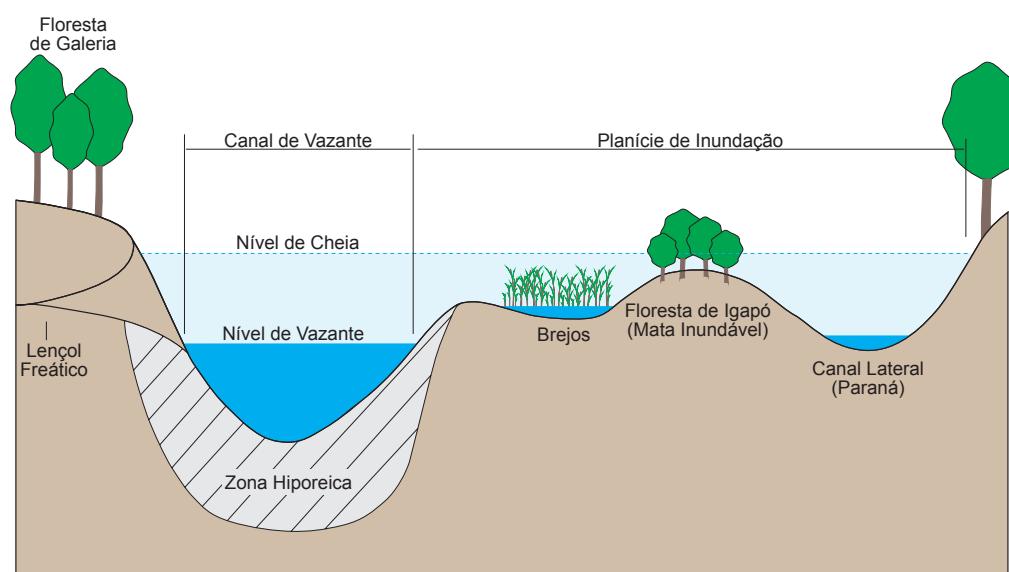


Figura 4.4 – A dimensão lateral de um grande rio, com destaque para a planície aluvial, as matas de galeria (ripárias), as matas alagadas, as áreas úmidas e o lençol freático. Todos esses elementos se interagem de modo intenso com o canal principal. Modificado de Lévéque, 2003.

A dimensão longitudinal de um rio é caracterizada por uma série de mudanças que esse corpo d'água sofre, desde a sua nascente até a foz (Fig. 4.5). As características físicas e biológicas de um rio, próximas à sua nascente, são muito diferentes do trecho mediano que, por sua vez, mudam, uma vez mais, ao se aproximar de sua foz (Vanotti et al. 1980). Por essa razão, é muito complicado conservar apenas partes dos rios. Não podemos simplesmente conservar um trecho do rio, como, por exemplo, a sua nascente.

A saúde ecológica de um grande rio (como o Rio São Francisco, no Brasil) necessita de um enfoque diferenciado e pode exigir até mesmo mudanças profundas na economia de toda uma nação. Da mesma forma que os grandes rios moldaram as civilizações, agora que temos grandes problemas ambientais em muitos rios do Planeta, é necessário o caminho reverso, ou seja, é necessário mudar o ambiente socioeconômico dos países para que os rios que os banham sejam salvos.

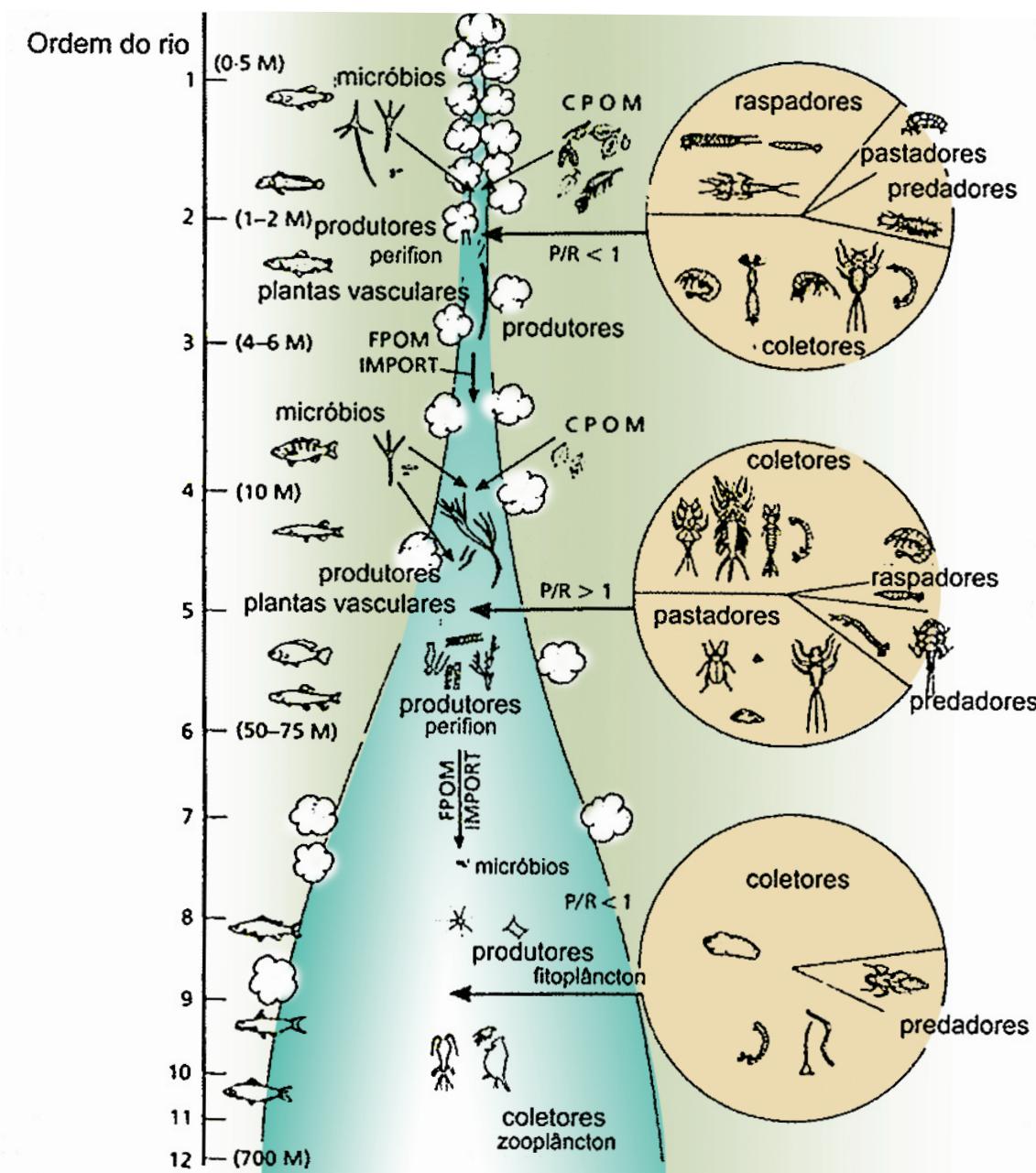


Figura 4.5 – A dimensão longitudinal de um rio. O rio sofre importantes mudanças em sua composição físico-química e biológica, à medida que passa da zona de nascentes para o trecho intermediário e deste para a sua porção terminal, perto da foz. Segundo Vanotti et al. (1980).

## 4.2 - Grandes rios e o ciclo do Carbono

Uma das funções ecológicas mais importantes dos rios refere-se ao seu papel como via de transporte de materiais. A importância dos rios nos ciclos biogeoquímicos é inquestionável. O transporte de sedimentos e nutrientes, realizado pelos rios, fertiliza os estuários e grandes áreas da plataforma continental, ao longo das costas dos continentes. Sem eles, os mares, próximos aos continentes, seriam muito menos produtivos e a civilização do homem iria sofrer com a escassez de alimentos.

Um dos papéis mais importantes desempenhados pelos rios é a sua capacidade de transportar carbono para os oceanos (Schlesinger & Melack, 1981; Sabine, 2004; Sarmiento & Gruber, 2006) (Fig. 4.6). Nesse sentido, os rios também agem como importantes canais para a regularização dos fluxos de carbono entre os continentes e os oceanos (Fig. 4.6). A comparação entre os teores totais de carbono trazidos pelos rios aos oceanos (0,8 GtC/ano) e o total de carbono emitido pelo homem por meio da queima de combustíveis fósseis (6,4 GtC/ano) nos dá uma clara ideia do impacto gerado pelo homem no ciclo biogeoquímico do carbono.

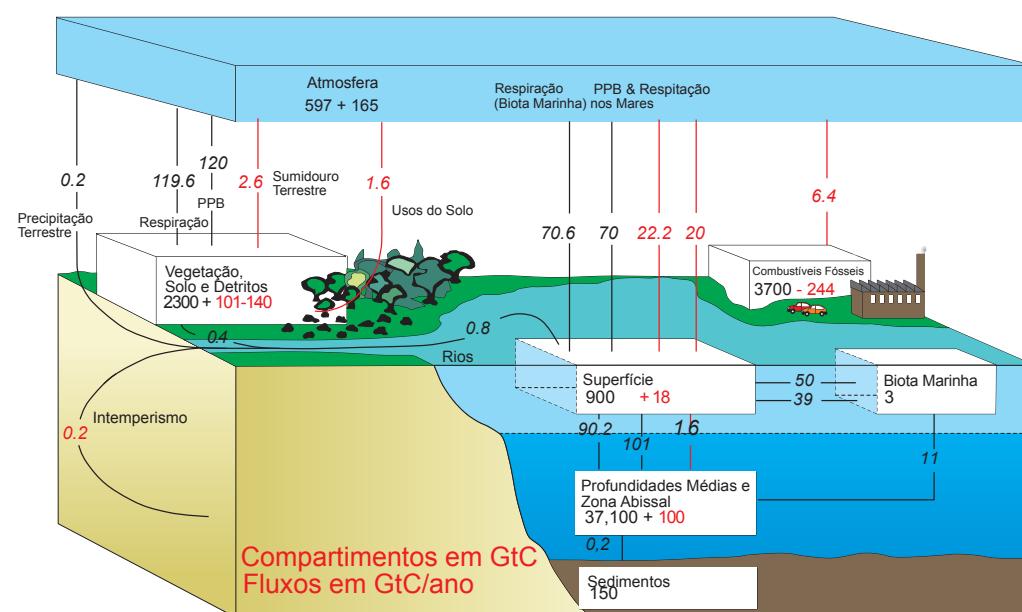


Figura 4.6 – O ciclo do carbono é um dos principais ciclos biogeoquímicos essenciais para a manutenção da vida tal como a conhecemos. O homem está interferindo intensamente no ciclo do carbono. E não é somente pela emissão de  $\text{CO}_2$  advindo da queima de combustíveis fósseis. A emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ), a partir de áreas úmidas, pecuária intensiva e também através da decomposição de biomassa nos reservatórios tropicais são fontes importantes (e pouco conhecidas ainda) para esse ciclo. Os grandes rios também transportam uma quantidade importante de carbono que irá interferir na acidez das águas dos oceanos. O gradual aumento da acidez dos oceanos é uma das maiores ameaças que o homem irá enfrentar no próximo século. Em preto, fluxos da era pré-industrial. Em vermelho, fluxos antropogênicos (Modificado do IPCC, 2007 Pág. 515).

## 4.3 - Casos de Estudo

### 4.3.1 - Rio São Francisco

O Rio São Francisco não é somente um dos rios mais importantes da América Latina (Fig. 4.7). Com características geográficas e ambientais peculiares, esse curso d'água exerceu e ainda exerce uma importância fundamental na história, cultura e economia da nação brasileira. Com uma extensão de 2.800 km, o rio tem sua origem na Serra da Canastra, no sul do estado de Minas Gerais (MG). Após percorrer o estado de Minas Gerais sempre na direção norte, atravessa todo o estado da Bahia (BA), inicialmente na direção norte, e, depois, na direção nordeste, onde faz divisa com o estado de Pernambuco. Antes de desaguar no oceano Atlântico, o Rio São Francisco percorre e delimita toda a divisa entre os estados de Alagoas (AL) e Sergipe (SE). A sua bacia hidrográfica é de 641.000 km<sup>2</sup>. O rio já foi navegável entre

as cidades de Pirapora (MG) e Juazeiro (BA)/Petrolina (PE) e de Piranhas (AL) até a sua foz. O Rio São Francisco apresenta uma vazão média de 2.850 m<sup>3</sup>/s (Salati et al. 2009).

A bacia do Rio São Francisco é composta de vários tributários que também possuem grande importância regional, tais como o Rio das Velhas e Rio Paraopeba que drenam a região metropolitana de Belo Horizonte. Outros rios importantes dessa bacia seriam: Rio Pará, Rio Abaeté, Rio Paracatu, localizados em Minas Gerais (MG) e o Rio Grande e Rio Corrente (BA).

Em termos históricos, o Rio São Francisco já foi uma hidrovia de grande importância econômica. Durante o período colonial, no império e nos primeiros anos republicanos era a principal de via de ligação entre o Nordeste e o Sudeste, pelo interior. Do sul, vinham alimentos e produtos manufaturados e do norte, vinham o gado, o açúcar, sal e produtos importados. São famosos, os vapores que singravam essas águas e um deles ainda permanece ativo, o vapor Benjamim Guimarães, que hoje está fundeado no porto fluvial de Pirapora. Com o passar do tempo, essa hidrovia caiu em decadência, sobretudo, devido ao assoreamento da calha do rio, uma das consequências do desmate ocorrido em toda a sua bacia, principalmente no estado de Minas Gerais. Por outro lado, a importância econômica do rio permanece. Um importante complexo de hidrelétricas foi construído entre os anos 1955 e 1995, composto por vários represamentos importantes: Três Marias, MG, Sobradinho, BA, Itaparica BA, Paulo Afonso (complexo com quatro usinas), AL, Moxotó, AL e Xingó, SE.

## Bacia do Rio São Francisco - usinas hidrelétricas

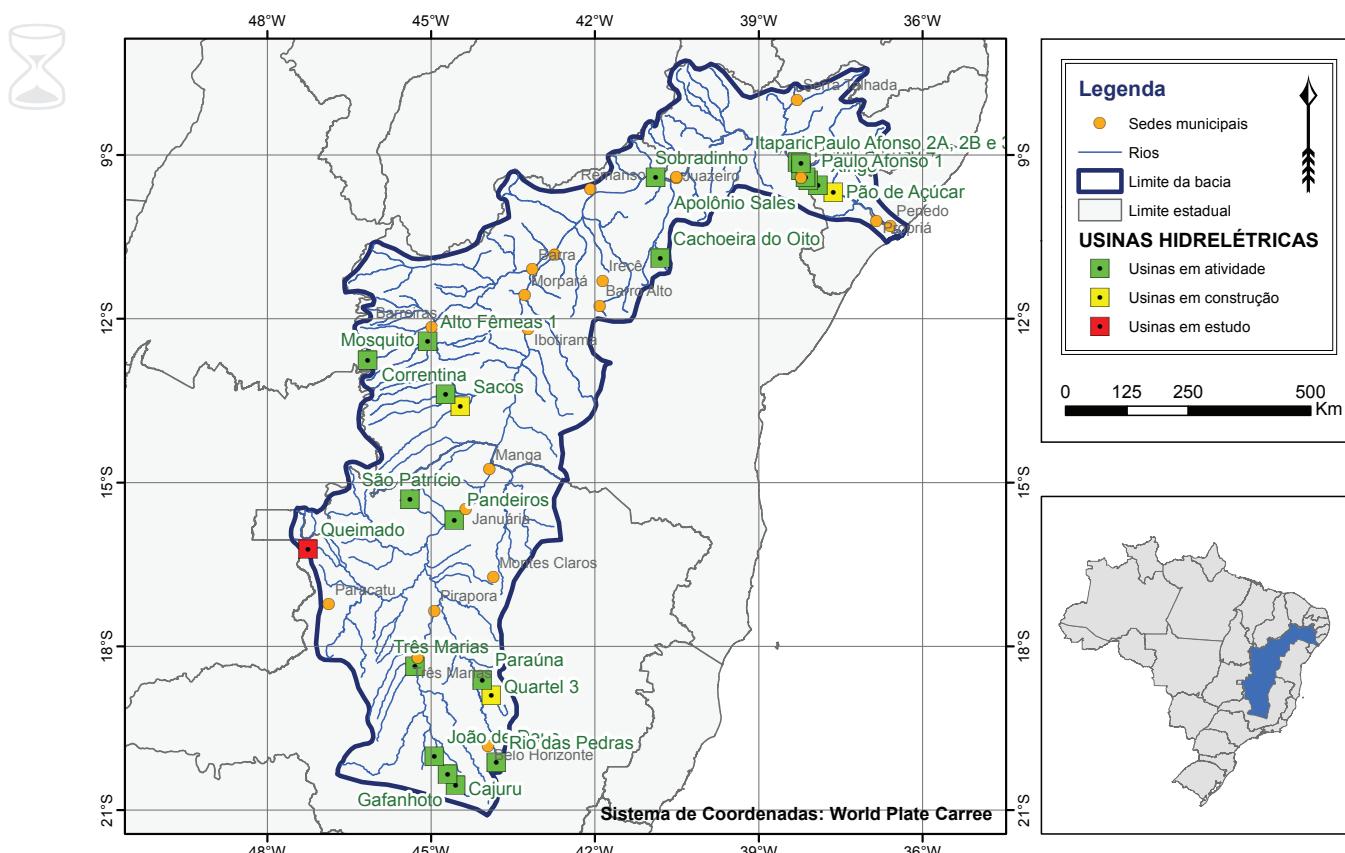


Figura 4.7 – Bacia do Rio São Francisco com principais cidades, seus principais afluentes, usinas hidrelétricas em operação, em construção e planejadas (Fonte: PBHSF, 2004).

Outra atividade que vem ganhando importância na economia do vale do Rio São Francisco é a agricultura irrigada. Grandes projetos de irrigação vêm sendo instalados nos estados de Minas Gerais e da Bahia. A produção advinda desses projetos, principalmente de frutas tropicais, vem impulsionando a economia regional.

A aquicultura intensiva, principalmente aquela praticada em fazendas de tanques-rede também vem se expandindo muito rapidamente em todos os reservatórios ao longo do Rio São Francisco.

As atividades da agricultura irrigada (Fig. 4.8), da aquicultura intensiva e principalmente a abundância de energia elétrica vem causando uma grande transformação econômica em todo o vale do Rio São Francisco, induzindo um crescimento rápido e intenso de cidades tais como Pirapora, Bom Jesus da Lapa, Juazeiro e Petrolina.

### Área irrigada na Bacia do Rio São Francisco

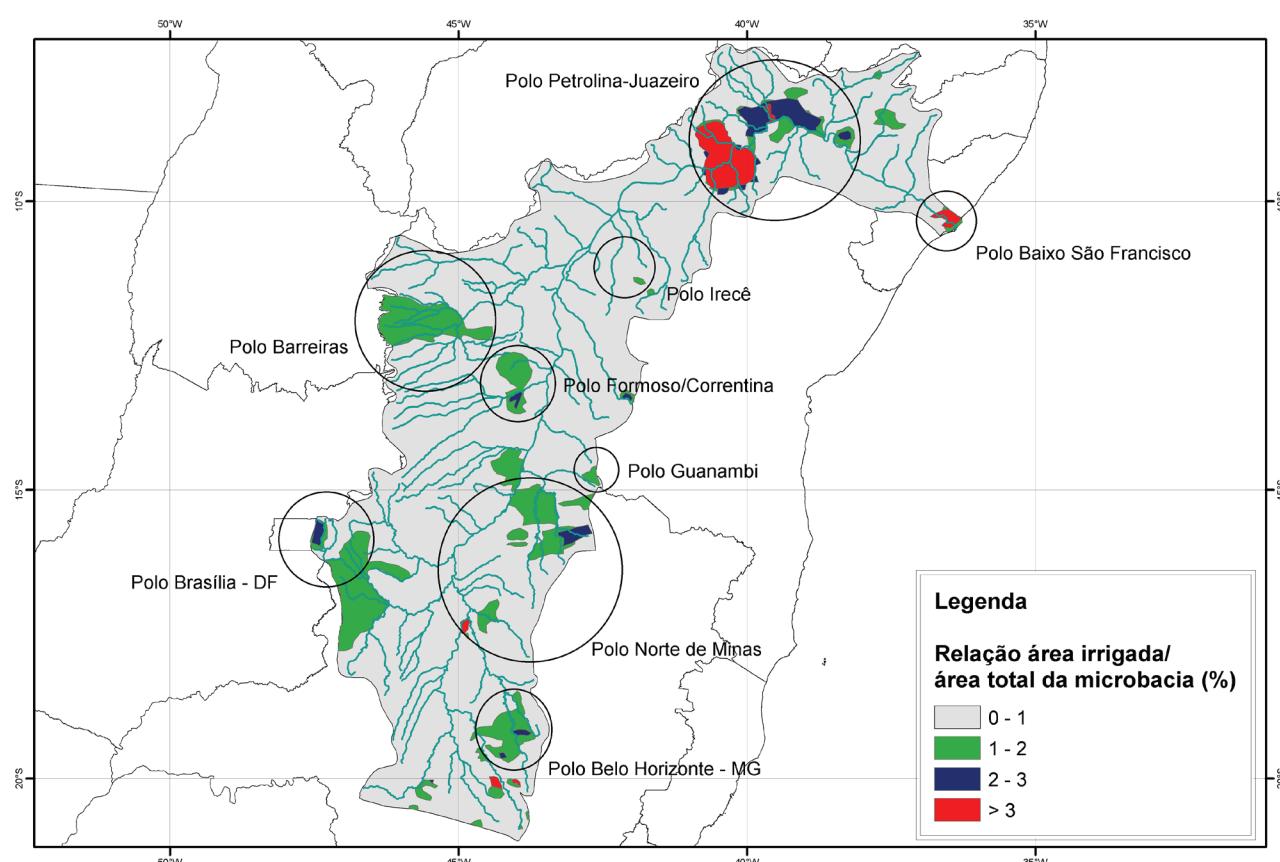


Figura 4.8 – Principais projetos de irrigação existentes na bacia do Rio São Francisco (Fonte: PBHSF, 2004).

### 4.3.1.2 - Transposição do rio São Francisco

Um dos aspectos mais importantes da geografia do Rio São Francisco é o fato de ser um rio caudaloso que atravessa grande parte do Semiárido brasileiro. A transposição do rio São Francisco que levará um dia suas águas a regiões semiáridas dos estados do Nordeste é um projeto muito antigo. O imperador D. Pedro II já havia ordenado, ainda no século XIX, estudos sobre tal possibilidade.

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) é composto de dois sistemas de canais, estações de bombeamento, túneis que levarão a água do Rio São Francisco a um conjunto de represas novas e já existentes (Fig. 4.9). Os dois sistemas são, respectivamente, formados pelos os eixos leste e norte que irão atender a dezenas de municípios e a uma população de 10,6 milhões de habitantes (ANA, 2005).

O PISF conta com uma Outorga Preventiva (Resolução ANA n.º 29, de 24 de janeiro de 2005), que reservou a retirada de uma vazão mínima de 26,4 m<sup>3</sup>/s no Rio São Francisco, correspondente à demanda projetada para o ano 2025, para consumo humano e dessedentação animal na região receptora beneficiada. Além da vazão firme reservada de 26,4 m<sup>3</sup>/s, a referida Resolução determina, que a captação poderá chegar a 127 m<sup>3</sup>/s quando o nível de água do Reservatório de Sobradinho estiver com capacidade de armazenamento igual ou superior a 94,0% do volume útil (ANA, 2005).



Como todo projeto de magnitude, a transposição do Rio São Francisco levanta polêmicas e grandes resistências na sociedade, principalmente no Congresso Nacional. Muitos argumentam que o projeto, que já consumiu 8,2 bilhões de dólares, irá atender a apenas 5% do território e 0,3% da população do semiárido brasileiro, apesar de impactar severamente o trecho a jusante do Rio São Francisco (Sobrinho, 2014). Outros argumentam que o projeto irá beneficiar apenas os grandes latifundiários ou empresários ligados à agroindústria e que irá concentrar ainda mais poder numa região, onde já é crônica a desigualdade e o feudalismo.

Acreditamos que o PISF seja um projeto importante e necessário para a população do semiárido brasileiro, desde que seja implantando dentro de uma ótica de sustentabilidade ambiental, o que parece não ser o caso. A transposição das águas seria uma boa medida, caso fosse um vetor de mudanças de comportamentos sociais e trouxesse novos modelos econômicos para a região. Se as águas transpostas forem usadas em grandes projetos de irrigação voltados à exportação e à manutenção do status quo das desigualdades sociais e degradação ambiental hoje vistos em todo o nordeste brasileiro, daí será mais uma obra desnecessária e inadequada para o futuro do Brasil.

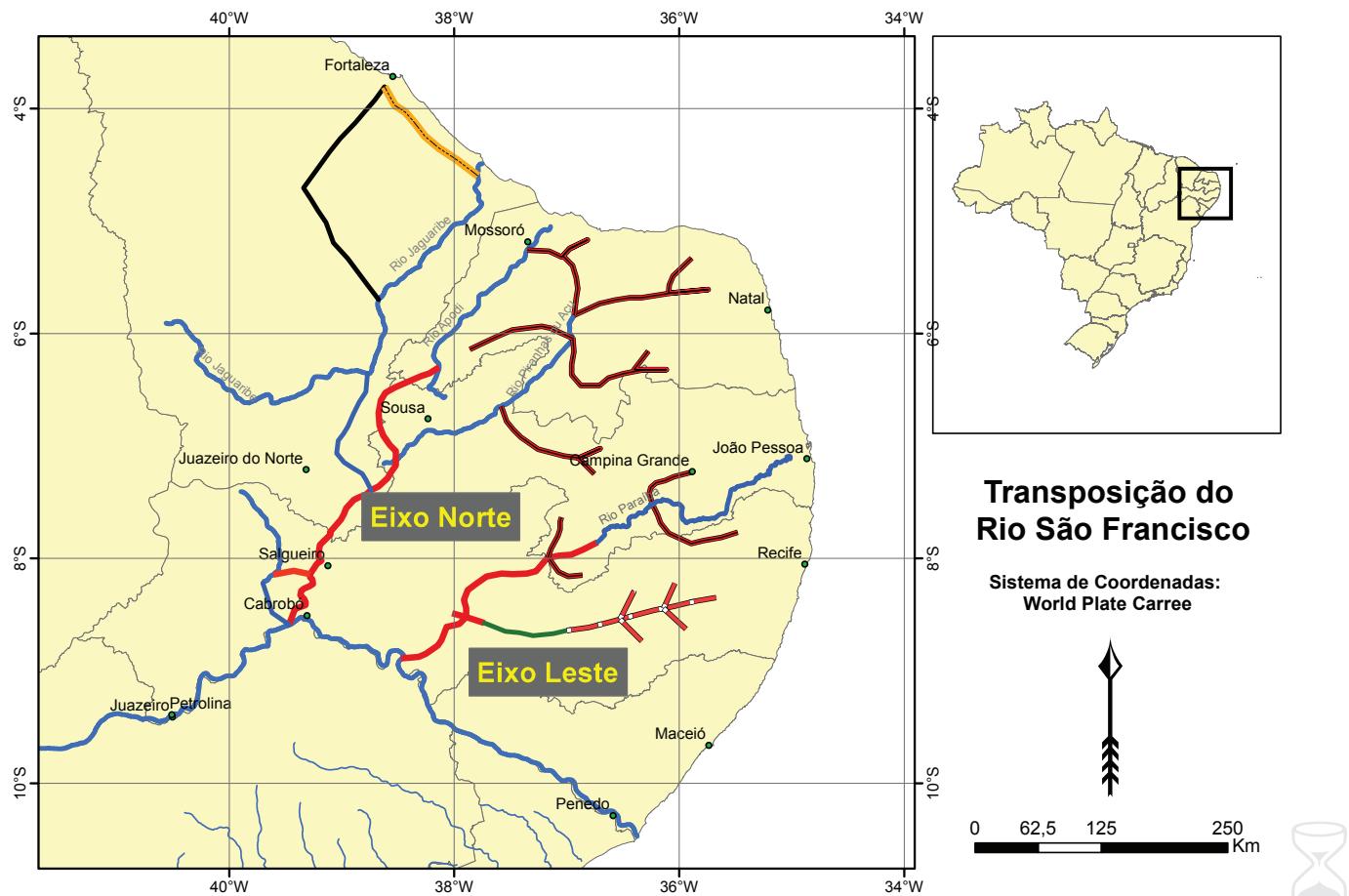


Figura 4.9 – Transposição do Rio São Francisco. O projeto prevê a construção de dois sistemas de canais, o eixo norte que atenderá principalmente o estado do Ceará (CE) e Rio Grande do Norte (RN) o eixo leste que atenderá aos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte (RN). Um total de 31 sub-bacias e uma população de 10,6 milhões de pessoas devem ser atendidos na área de influência do projeto (Fonte: Nota Tec. 390, ANA, 2005).

## 4.4 - Os rios e o homem

No início do capítulo, enfatizamos a grande importância dos rios para o desenvolvimento da civilização humana. Agora, temos que pensar na direção inversa. Qual tem sido a contribuição da nossa civilização para a integridade dos rios? Infelizmente, os sinais ambientais que temos não são otimistas. O homem vem usando de modo cada vez mais intensivo os rios da biosfera e quase sempre sem observar a real capacidade de suporte desses sistemas. Atividades tais como a navegação, construção de represas, as captações, a expansão urbana e o crescimento da atividade industrial, o desmatamento e o uso indiscriminado de suas margens bem como das planícies de inundação vêm colocando em risco a saúde ecológica dos rios em todos os continentes.

As inúmeras atividades humanas vêm causando uma série de impactos nos rios, dentre os quais podemos destacar o aumento dos teores de sólidos em suspensão e o assoreamento, alterações importantes de vazão, extinção de espécies, introdução de outras espécies exóticas, poluição e contaminação por metais, pesticidas e compostos orgânicos persistentes, os POP's e a eutrofização.

A intensa construção de barragens nos rios afeta não somente a qualidade das águas mas a diversidades de espécies e toda hidrodinâmica tanto à montante quanto a jusante causando aumento da erosão em alguns pontos e o assoreamento em outros. Muitos barramentos estão condicionados a formação de longos trechos de vazão reduzida (TVR's) que muitas vezes causam grandes mortandades de peixes e piora sensível da qualidade da água.

Em muitos lugares do planeta, existem rios com vazões extremamente reduzidas, um efeito do excesso de captações para uso agrícola, urbano e industrial. As atividades de mineração tais como a extração de areia e de outros minerais e o crescente desmatamento das margens são as principais causas do assoreamento das calhas de muitos rios, processo que agrava muito os impactos negativos das cheias.

Finalmente, a expansão urbana, a agricultura intensiva e outras atividades correlatas levaram o homem a executar grandes projetos de drenagem de várzeas o que em muito diminuiu a capacidade de tamponamento de cheias e de regeneração da própria biota fluvial.

E, para complicar ainda mais a situação, é muito comum deparamos com todos esses efeitos descritos acima agindo ao mesmo tempo. É óbvio que esse antagonismo entre o “progresso” e a integridade ambiental dos rios leva a consequências negativas importantes para o bem-estar da humanidade. Dentre essas consequências, podemos citar o aumento da frequência e gravidade de inundações, a expansão das doenças de veiculação hídrica, o agravamento da contaminação das águas e da escassez de água, a queda acelerada da pesca comercial em outras áreas e a criação de um ambiente muito favorável para a gestação de conflitos muito sérios entre os usuários.

A Figura 4.10 apresenta um quadro sombrio já que extensas regiões em vários continentes apresentam um elevado estresse associado ao uso antrópico exacerbado observado nas suas respectivas bacias hidrográficas. Grandes bacias hidrográficas já estão comprometidas na América do Norte (exemplo, o estado da Califórnia, EUA), na Europa (Espanha e Alemanha), na Índia (rio Ganges) e na China (rio Amarelo). Na América Latina, destaca-se a Argentina e o Peru, enquanto que a bacia do rio Orange na África do Sul e a bacia do rio Murray-Darling na Austrália são aquelas que já apresentam sinais claros de estresse ambiental.



### Nível de stress hídrico das grandes bacias hidrográficas - 2002

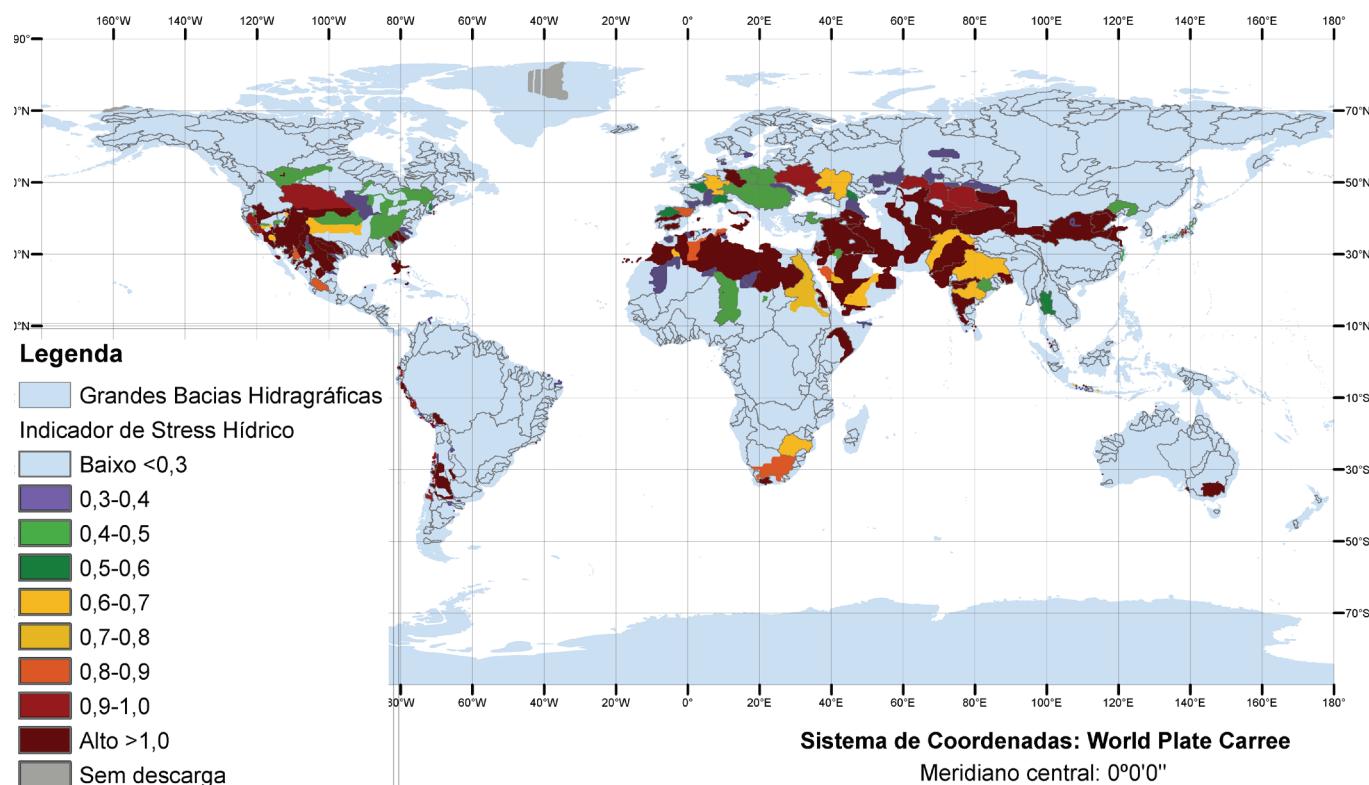


Figura 4.10 – Estresse ambiental observado nas principais bacias hidrográficas mundiais.

O mapa da Fig. 4.10 nos fornece uma falsa impressão de que não existe estresse hídrico no Brasil. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), existem várias bacias hidrográficas brasileiras que já estão sob forte estresse hídrico (Fig. 4.11).

O rio Tietê no estado de São Paulo, muitos dos rios pertencentes das bacias do Atlântico Leste (exemplo: rio Paraíba do Sul) ou da região nordestina (semi-árido) podem ser enquadrados nessa categoria.

### Rios do Brasil - demanda de uso

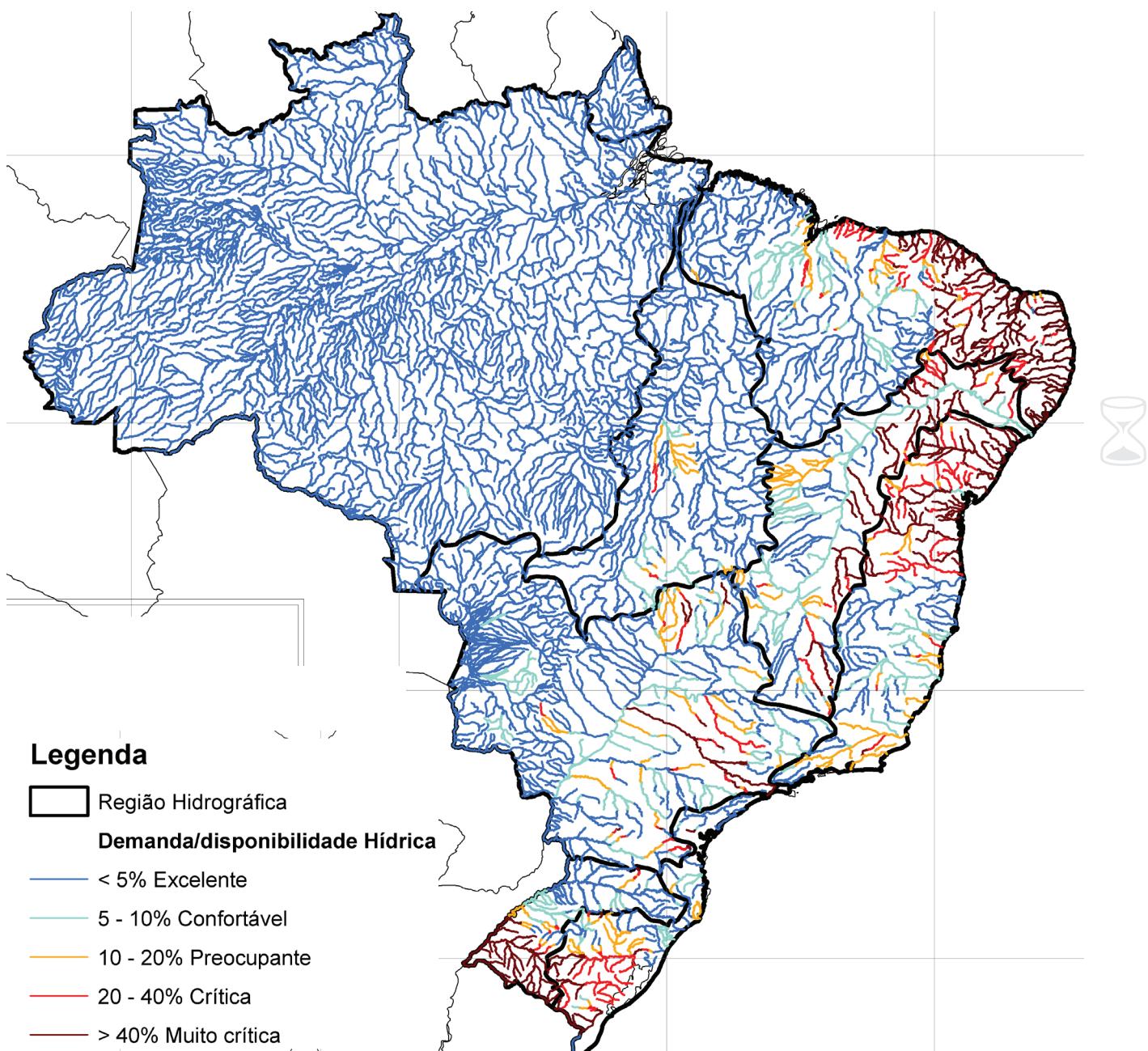


Figura 4.11 – Graus de estresse em relação à disponibilidade hídrica nas principais bacias hidrográficas do Brasil (Fonte: ANA, 2010).

Os rios podem ser vistos como canais amplificadores de degradação ambiental promovida pelo homem. São capazes de transportar os impactos humanos a centenas ou mesmo milhares de quilômetros à jusante. Os efeitos da enorme degradação ambiental ocorrida nas cabeceiras do Rio São Francisco, em Minas Gerais, entre os anos de 1960 e 2000, foram amplificados a jusante, com consequências desastrosas para todo o desenvolvimento socioeconômico do vale de um rio tido, no passado, como sendo o rio da "unidade nacional". Embora, a crise nas águas dos rios seja um fenômeno mundial, é preciso reconhecer que existe uma "crise" ainda mais aguda na saúde ecológica de numerosos rios, no Brasil. Apesar de existir no País uma base legal abrangente e detalhada além vários centros de pesquisa e de formação de pessoal muito bem qualificados, é um fato incontestável que a nação brasileira foi incapaz de prevenir, reduzir ou mesmo monitorar adequadamente as taxas de degradação que vem sofrendo uma boa parcela dos rios neste País, especialmente nas regiões Sudeste e Nordeste.

Existe um claro sinergismo entre a saúde ecológica dos rios e a segurança do desenvolvimento humano (Tab. 4.1). É necessária uma urgente aplicação desses conhecimentos em melhorias concretas na conservação, manejo e recuperação dos rios brasileiros. É preciso buscar uma melhor compreensão da dinâmica entre rios e os grandes reservatórios. As grandes represas no Brasil não são apenas grandes bacias acumuladoras de eventos e processos. Através de sua dinâmica própria, elas são capazes de amortecer ou intensificar certos sinais de influências antrópicas já existentes. Acreditamos ser necessária uma ampla decodificação do vasto conhecimento acumulado, uma melhor eficácia no uso dos instrumentos legais disponíveis pelos tomadores de decisão, principalmente aqueles situados nos municípios além de um maior envolvimento do setor privado. O conhecimento e governança podem salvar a saúde ecológica dos nossos rios.

Tabela 4.1- Principais estressores ambientais da integridade ecológica dos rios e suas consequências sobre a saúde humana, segurança alimentar e outras formas de segurança social

Ecossistema Aquático	Pressões	Mudança de Estado Selecionada	Saúde Humana	Segurança Alimentar	Segurança Física e Outras
Rios, córregos e várzeas alagáveis	Regulação do fluxo por represamento e captações, perdas por evaporação etc.	Aumento do tempo de detenção	Aumento dos gastos de saneamento básico Aumento das doenças de veiculação hídrica Piora sensível da qualidade de água (oxigênio, teor de clorofila e de nutrientes etc.)	Aumento dos gastos de tratamento de água a jusante Extingão local de espécies de peixes Queda na produção de peixes Aumento do risco de consumo de pescado contaminado	Aumentos de conflitos pelo uso da água Aumento dos movimentos migratórios Alterações nos padrões de uso agrícola
	Lançamento de esgotos domésticos não tratados	Eutrofização e contaminação por patógenos	Aumento das doenças associadas à contaminação ambiental (câncer, patologias metabólicas e neurológicas)	Perda de valor dos terrenos ao longo dos rios Queda nas atividades de turismo e em alternativas de lazer	
	Lançamento de efluentes não domésticos parcialmente tratados ou não	Contaminação por metais, biocidas, POPs e outros agentes	Aumento nos gastos com saúde pública	Perda de valor dos terrenos ao longo dos rios Queda nas atividades de turismo e em alternativas de lazer Comprometimento da qualidade de produtos agropastorais produzidos nas várzeas ou planícies de inundação.	

## 5 - Lagos

Os lagos, ao contrário dos rios, armazenam as maiores quantidades das águas doces superficiais do Planeta, sob a forma líquida. São o resultado de diferentes processos geológicos e distribuem-se de maneira muito heterogênea na Terra. O Hemisfério Norte concentra a maior parte desses ecossistemas (Fig. 5.1). Apresentam estreita ligação com a origem de vários rios importantes, tais como o Rio São Lourenço, na América do Norte, que drena os grandes lagos norteamericanos, o Rio Reno, na Europa, que drena as águas do Lago de Constança e o rio Nilo, na África, que recebe as águas de grandes lagos (Alberto, Eduardo e Victoria).

Em outros casos, os lagos podem ser o destino final de toda uma rede hidrográfica, tais como o Lago Eyre, localizado na Austrália, que é o maior sistema endorreico do mundo. Outros lagos endorreicos são os "mares" interiores Cáspio e o mar de Aral, na Ásia. Na América do Sul, temos o Lago Titicaca (Bolívia-Peru) e o Lago Valencia (Venezuela). Na América do Norte, o grande Lago Salgado, situado no Estado de Utah e o Lago Mono, na Califórnia seriam outros exemplos de lagos interiores, com bacias hidrográficas voltadas para si próprios, sem qualquer saída para os oceanos. Para ter uma dimensão da grandeza dessa forma de água doce, basta mencionar que os 50 principais lagos do mundo perfazem uma área inundada de mais de um milhão de quilômetros quadrados e um volume acumulado que quase seis milhões de quilômetros cúbicos, a uma profundidade média de cerca de 120 metros.

Os lagos não são apenas importantes na biosfera como reservatórios de água doce. Quase todos os grandes lagos do Planeta são centros de biodiversidade e prestam serviços ambientais da maior importância, tanto para a biosfera, quanto para as populações que vivem ao seu redor, principalmente como importante reserva de água para abastecimento público, vias de navegação, pesca e lazer. Algumas grandes cidades do mundo (Chicago, Toronto, Genebra) estão localizadas às margens desses ecossistemas. Embora não possam ser comparados aos rios em termos de sua importância econômica, histórica ou cultural, os grandes lagos exercem importante influência na economia e culturas regionais. A seguir, são elecionados alguns exemplos de grandes lagos, destacando não só as suas principais características morfométricas mas também as ameaças ambientais que estão sofrendo.



## Grandes lagos e reservatórios do mundo

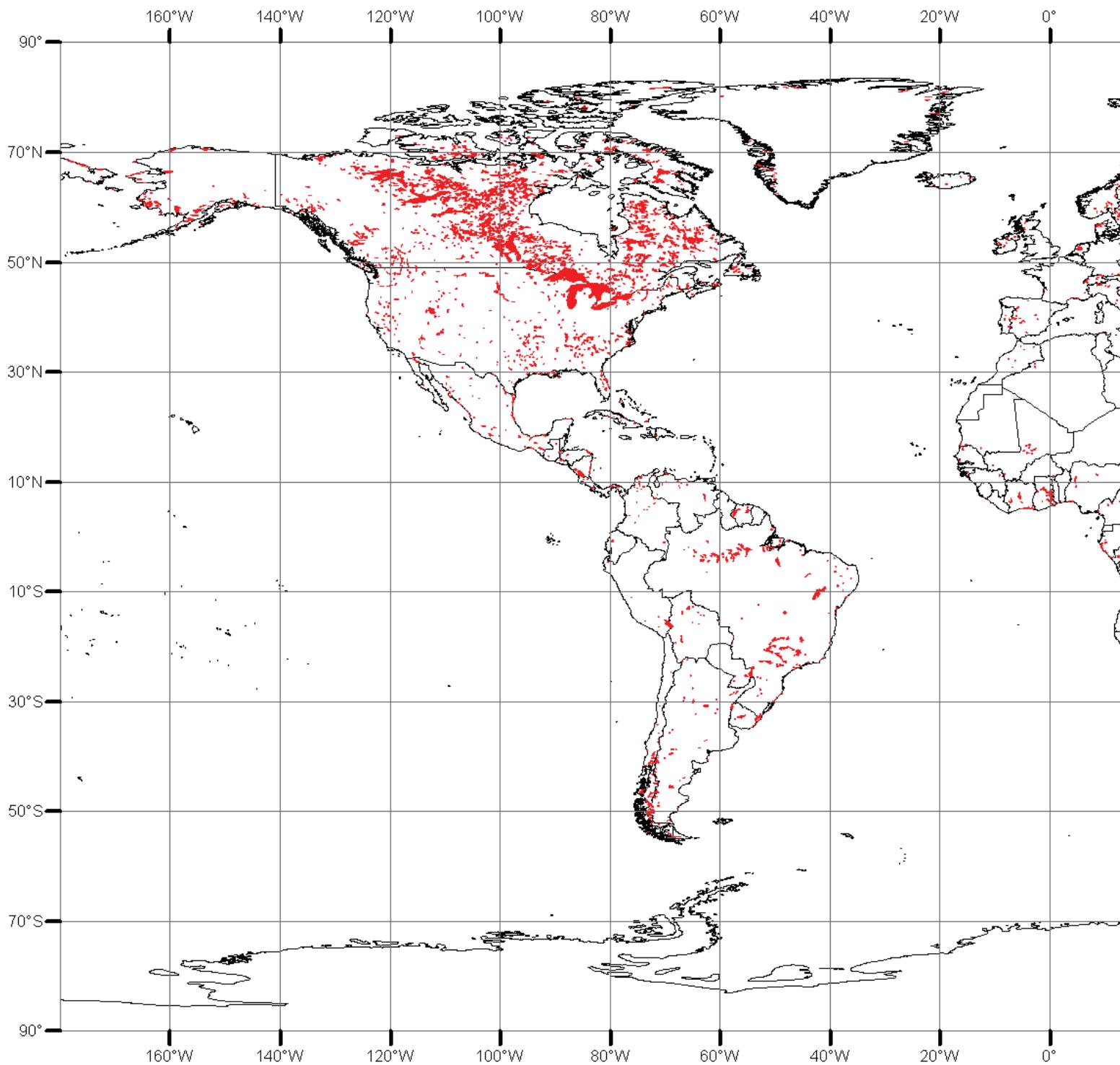
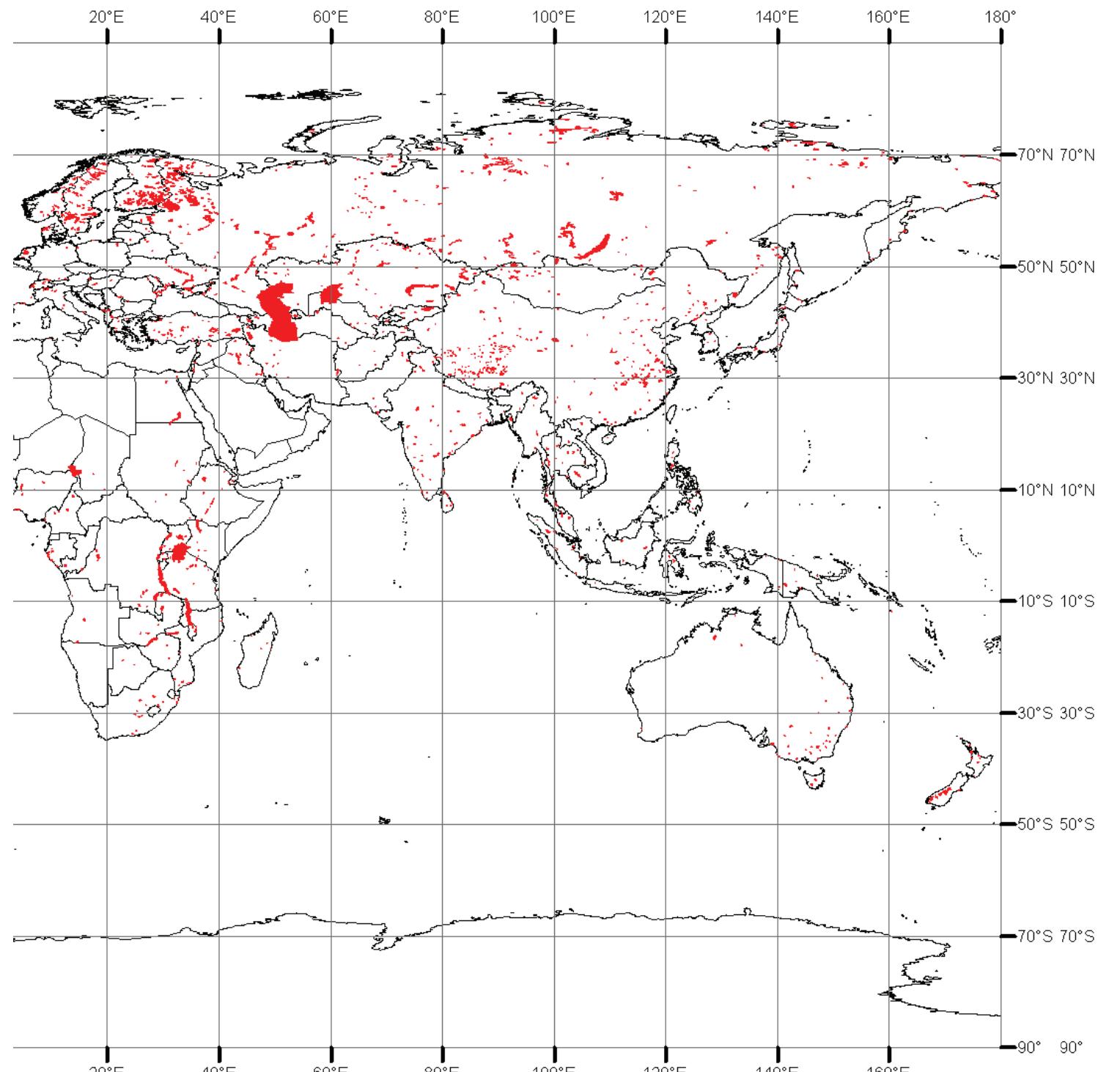


Figura 5.1 – Localização geográfica dos principais lagos e reservatórios no mundo. A distribuição dos lagos entre os continentes é muito desigual e mesmo dentro de um dado continente. Os lagos apresentam estreita relação com a origem de vários rios importantes no mundo tais como o Rio Lourenço, na América do Norte que drena os Grandes Lagos norte-americanos, o Rio Reno, na Europa, está associado ao Lago de Constança e rio Nilo, na África recebe água de grandes lagos africanos (Vitória, Alberto e Eduardo). Fonte: WWF (2014).



**Sistema de Coordenadas: WGS 1984**

Meridiano central: 0°0'00"

Os grandes lagos norte-americanos são um conjunto de cinco corpos lênticos situados entre o Canadá e os Estados Unidos (Fig. 5.2): Lago Superior, Lago Michigan, Lago Huron, Lago Erie e Lago Ontário. O conjunto forma o maior compartimento de água doce superficial do Planeta, em área inundada (Evans, 205). A área total coberta por esses lagos é de 245.400 km<sup>2</sup> e o um volume total acumulado de água de 22.594 km<sup>3</sup> (Tab. 5.1).

Tab. 5.1 – Principais características morfométricas dos grandes lagos norte-americanos (Evans, 2005).

	Superfície (km <sup>2</sup> )	Volume (km <sup>3</sup> )	Profundidade Média (Zm)	Profundidade Máxima (Zmax)
Lago Erie	25.700,0	484,0	19,0	64,0
Lago Huron	59.600,0	3.540,0	59,0	229,0
Lago Michigan	57.800,0	4.920,0	85,0	281,0
Lago Ontario	18.960,0	1.640,0	86,0	244,0
Lago Superior	82.100,0	12.100,0	147,0	405,0
<b>TOTAL</b>	<b>245.400,0</b>	<b>22.594,0</b>		

### Grandes lagos Norte-Americanos

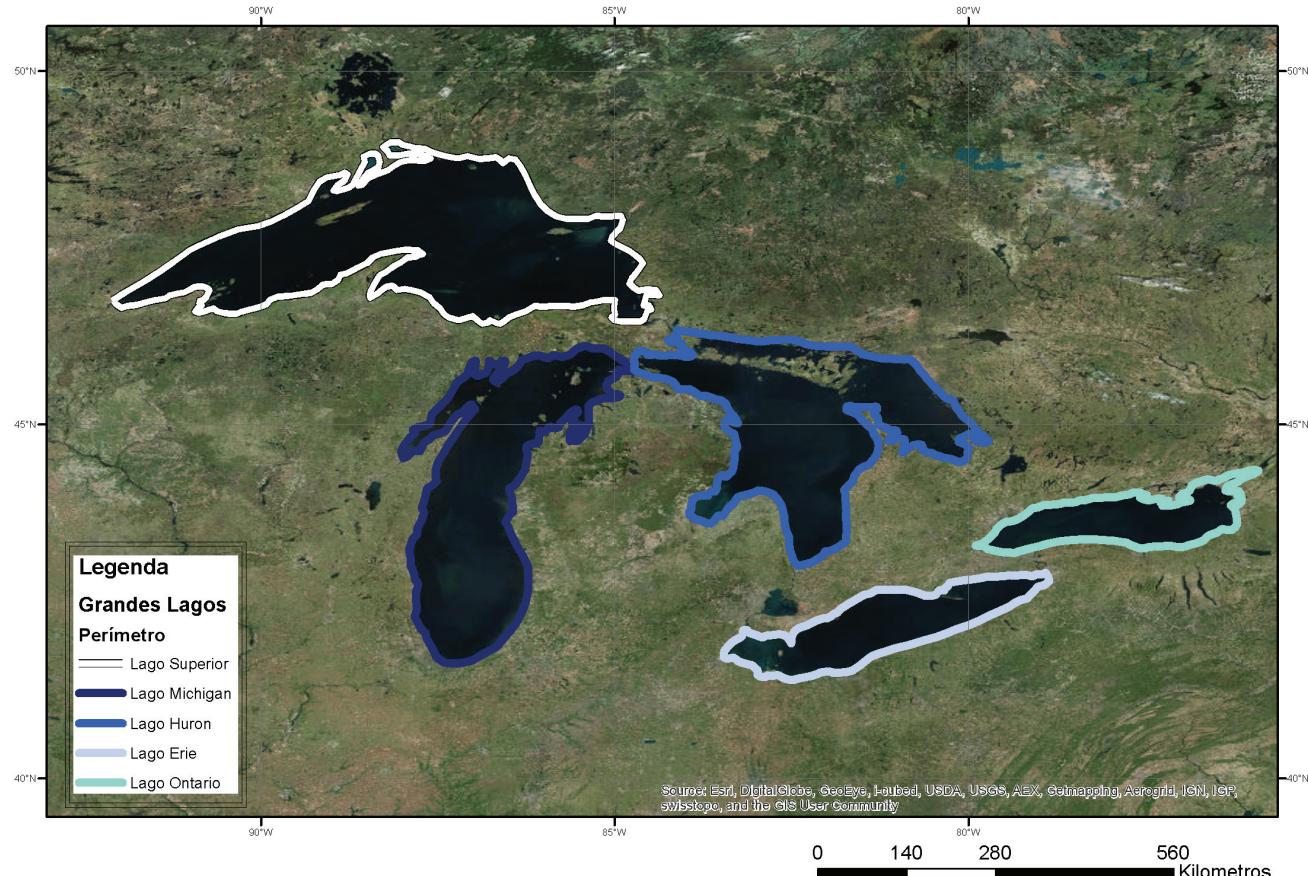


Figura 5.2 – Grandes lagos norte-americanos. Esse conjunto de lagos constitui-se na maior reserva de água doce líquida do Planeta.

A região dos grandes Lagos e do Rio São Lourenço é uma zona densamente habitada na América do Norte, incluindo grande parte da população (40%) e o centro econômico do Canadá. Inúmeras grandes cidades estão localizadas em suas margens: Buffalo, Chicago, Cleveland, Milwaukee, Rochester e Toronto. Já Montreal e Quebec estão situadas a jusante, ao longo do rio São Lourenço.

Os grandes lagos sofrem de vários problemas ambientais: eutrofização, poluição difusa por nutrientes e pesticidas, poluição pontual por efluentes não domésticos (*hot spots of pollution*), introdução de

espécies exóticas, extinção de espécies nativas, exaustão de recursos pesqueiros, comprometimento das áreas úmidas pelo processo de urbanização, deposição de poluentes oriundos da atmosfera (ex: PCBs), dentre outros (Michigan Radio, 2014, EPA, 2014).

O Lago Titicaca está localizado no altiplano andino, na fronteira do Peru e da Bolívia. Possui uma área de 8.300 km<sup>2</sup> e profundidades máxima e média de 280 e 180 metros, respectivamente. O lago situa-se à grande altitude, ou seja, a mais de 3.800 metros acima do nível do mar. Divide-se em dois compartimentos, o Lago Pequeño e o Lago Grande, separados entre si pelo estreito de Tiquina

O Lago Titicaca é alimentado pela água das chuvas e pelo degelo das geleiras que rodeiam o altiplano. Cerca de vinte cinco tributários desaguam neste lago. Entretanto, apenas o Rio Desaguadero, que corre para o sul até o Lago Poopó, drena o lago. As vazões desse pequeno tributário geram um volume pouco menor que 5,0 % da perda total de água a partir do lago, devido à evaporação, isso graças aos ventos intensos e à exposição extrema à luz solar típica dessas altitudes.

O lago possui diversas ilhas, todas povoadas que e constituem uma grande atração turística, principalmente para o Peru. Excursões do mundo inteiro dirigem-se a Puno, uma cidade do Peru, para ver as populações que originalmente viviam nas Uros, ou seja, nas ilhas artificiais construídas com a vegetação seca que cresce na zona litorânea desse lago.

Os principais problemas ambientais já identificados no lago Titicaca são o lançamento de esgotos domésticos não tratados, poluição por metais traços (Zn e Hg), provenientes de mineração, contaminação por pesticidas e fertilizantes, introdução de espécies de peixes exóticos (truta), com redução dos estoques pesqueiros. Finalmente, devemos ainda notar que o Lago Titicaca vem sofrendo, ano após ano, uma redução do seu volume de água em decorrência da redução da estação chuvosa de seis para três meses, uma tendência que vem sendo observada ao longo dos últimos 25 anos (GNF, 2014).

Os grandes lagos africanos são um conjunto de sete lagos de origem tectônica, localizados na África oriental (Tanganica, Niassa, Victoria, Kivu, Turkana, Alberto e Eduardo) (Fig. 5.3). Esse conjunto detém o maior volume de água acumulado em lagos do mundo e ainda inclui alguns dos lagos mais profundos do mundo. A maior parte desses lagos foi formada há vários milhões de anos no Vale do Rift Ocidental, um dos ramos desta formação geológica que abrange a Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Ruanda, Burundi, República Democrática do Congo, Malawi e Moçambique. Os lagos Victoria, Alberto e Eduardo vertem suas águas no Rio Nilo Branco. O Lago Tanganica e o Lago Kivu desaguam no Rio Congo, enquanto que o Lago Niassa deságua no Rio Zambeze. O Lago Turkana (Rudolfo) é endorreico, ou seja, como se situa em clima árido, a ele são transportadas todas as águas de sua bacia hidrográfica e dele não há nenhum rio efluente (Tab. 5.2).

O Lago Victoria está localizado em um planalto elevado na parte ocidental do Grande Vale do Rift, na África oriental. Ele possui 68.870 km<sup>2</sup> de área alagada sendo o maior lago do Continente Africano e o maior lago tropical no mundo. Sendo relativamente raso, é considerado como o sétimo maior lago de água doce pelo volume, e contém 2.760 km<sup>3</sup> de água. As suas águas formam o Rio Nilo branco um dos formadores do rio Nilo. Existem mais 3.000 ilhas no seu interior, muitas das quais habitadas. A Ilha Ukerewe, na parte sudeste, pertencente à Tanzânia, é a maior ilha lacustre da África.

O Lago Tanganica é o mais longo e o segundo lago mais profundo do mundo, com uma largura média de 50 km, e profundidades máximas e médias de 1.470 m e 570 m, respectivamente. A superfície do lago cobre uma área de 32.900 km<sup>2</sup>, e seu perímetro chega a 1.828 km. O seu volume é estimado em cerca de 18.900 km<sup>3</sup>. O Lago Tanganica é rico em peixes, sendo uma importante fonte de proteínas para os povos da região. Estima-se que cerca de 45 mil pessoas estejam envolvidas nas pescarias, operando em quase 800 centros de pesca; no entanto, estima-se que mais de um milhão de pessoas dependam desta atividade.

Assim como o Lago Tanganica, o Lago Niassa (ou Lago Malawi) também possui uma orientação norte-sul. O lago tem 560 km de comprimento, 80 km de largura máxima e uma profundidade máxima de 706 m. É um lago único no mundo por formar uma província biogeográfica específica, com cerca de 400



espécies de ciclídeos descritas endêmicas (cerca de 30% de todos os ciclídeos conhecidos no mundo) e provavelmente muitas ainda por descrever.

Os Lagos Tanganica e Malawi, por serem tropicais e profundos, apresentam-se permanentemente estratificados, com um epilímnio mais quente sobre um hipolímnio mais frio. O nível da água varia com as estações do ano, exibindo, ainda, um ciclo de longa duração, com os níveis mais altos em anos recentes, desde que existem registros.

Tabela 5.2 – Principais parâmetros morfométricos dos grandes lagos africanos (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008; Bootsma & Hecky, 1993).

LAGO	Superfície (km <sup>2</sup> )	Volume (km <sup>3</sup> )	Profundidade Máxima (m)	Profundidade Média (m)
Lago Victoria	68.800,0	2.760,0	79,0	40,0
Lago Tanganica	32.600,0	18.900,0	1470,0	580,0
Lago Niassa (Malawi)	28.800,0	8.400,0	785,0	292,0
Lago Turkana	6.405,0	203,6	109,0	30,2
Lago Alberto	5.300,0	132,0	58,0	25,0
Lago Kivu	2.700,0	500,0	480,0	240,0
Lago Eduardo	2.325,0	39,5	112,0	17,0
<b>Total</b>	<b>148.100,0</b>	<b>30.935,1</b>		

O Lago Alberto possui cerca de 5.300 km<sup>2</sup> de área e um comprimento máximo de 160 km e uma largura máxima de 30 km. A profundidade média é de 25 m e a máxima de 58 m. Situa-se a 615 m de altitude.



### Grandes lagos Africanos

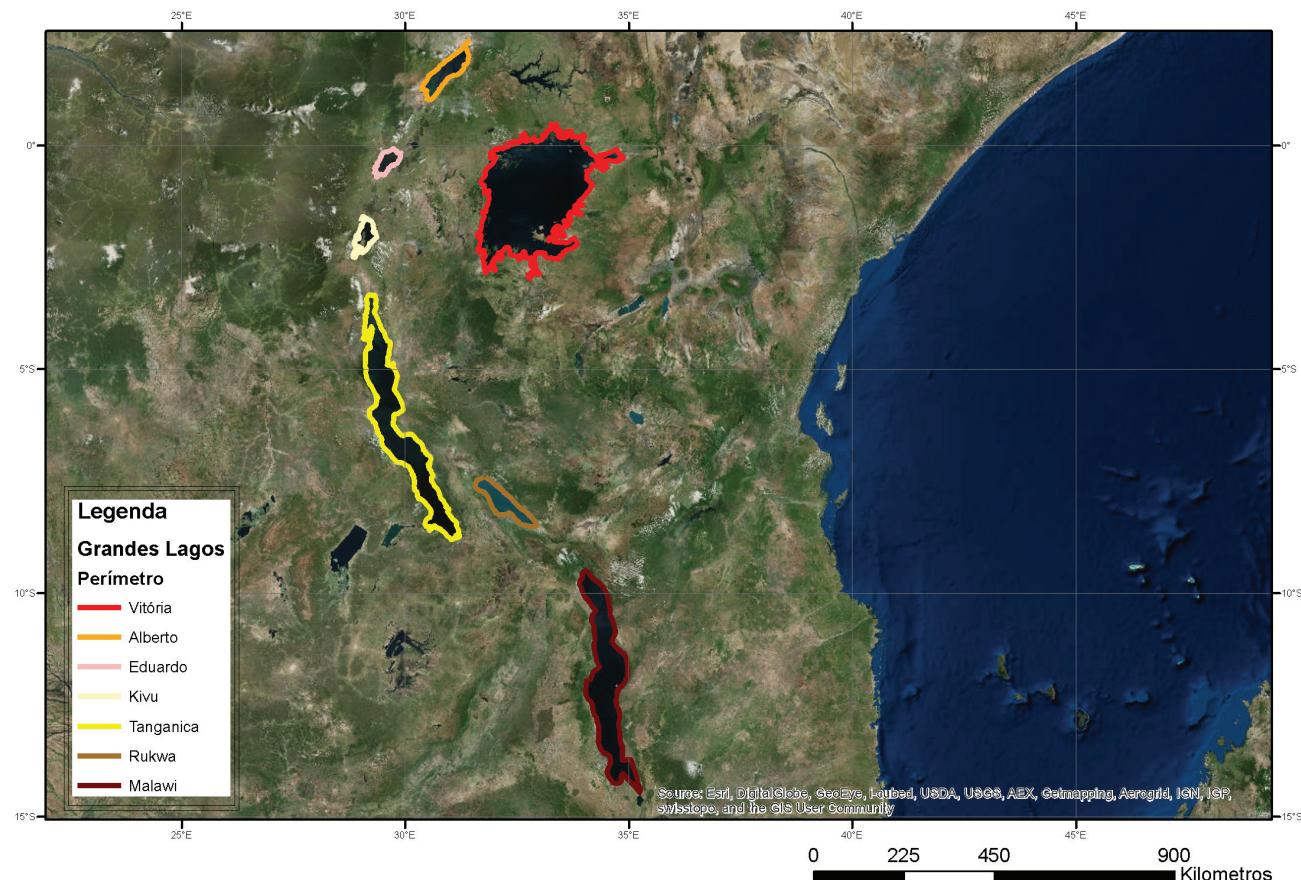


Figura 5.3 – Grandes lagos africanos.

Os lagos africanos também sofrem um conjunto de fatores associados às atividades humanas. A introdução da perca do Nilo e das tilápias no Lago Victoria é um dos casos mais dramáticos dos efeitos devastadores de introduções deliberadas de espécies exóticas em um ecossistema (Fig. 5.4). As consequências dessa introdução foram muito mais além da extinção em massa de duas centenas de espécies de peixes ciclídeos nativos. Essa introdução induziu sérias consequências à sociedade e à economia de toda a bacia hidrográfica de um dos maiores lagos do Planeta (Chege, N. 1995, Odada et al. 2004).

### Introdução da pesca no Lago Victoria (África)

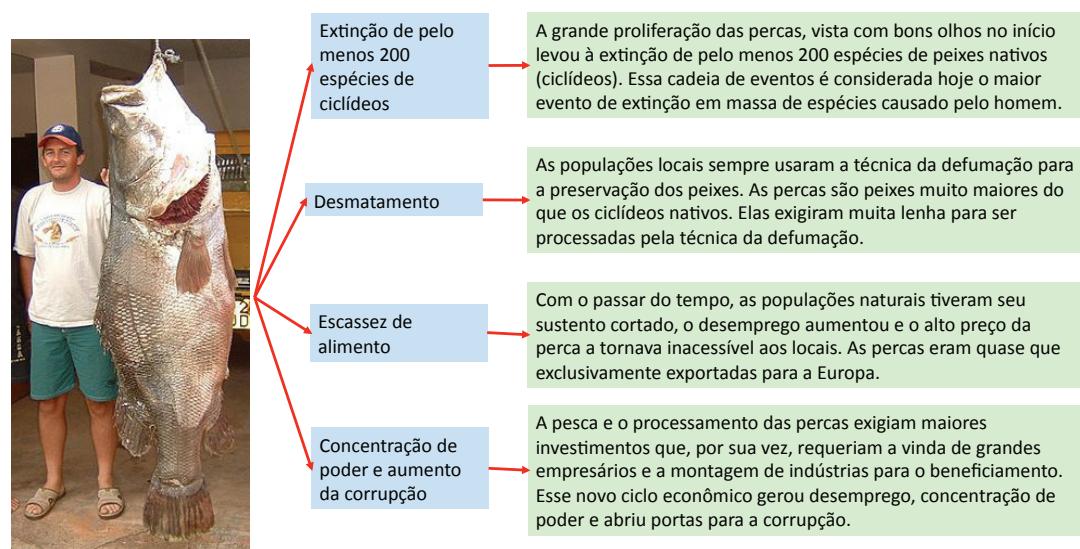


Figura 5.4 – Consequências da introdução de peixes exóticos (perca do Nilo), no Lago Victoria, África (Original).



Além da introdução de espécies exóticas, os grandes lagos africanos são ameaçados por uma série de outros impactos importantes: (a) exploração dos recursos pesqueiros; (b) assoreamento; (c) entrada de esgotos domésticos não tratados; (d) entrada difusa (*runoff*) de nutrientes derivados da agricultura; (e) crescimento urbano e da industrialização; (f) crescimento do turismo (Jorgensen et al. 2006).

O Lago Baikal é um lago situado ao sul da Sibéria, Rússia, perto de Irkutsk. Ele possui 636 km de comprimento e uma média de 80 km de largura. Com uma área 31.500 km<sup>2</sup> e um grande volume de água acumulada (23.615 km<sup>3</sup>) trata-se do maior lago de água doce da Ásia e o maior lago, em volume de água, do mundo, além de ser o mais antigo, com uma idade estimada em 25 milhões de anos (CRG-MG, 2009). O Lago Baikal é também o lago mais profundo da terra, com 1.642 metros de profundidade máxima ( $Z_{\max}$ ) e 744 metros de profundidade média ( $Z_{\text{med}}$ ). Somente o Lago Baikal é responsável por 20% da água doce líquida do Planeta. O lago é alimentado por cerca de 300 rios. É um habitat rico em biodiversidade, com cerca de 1.085 espécies de plantas e 1.550 espécies e variedades de animais. Mais de 60% dos animais são endêmicos (Butorina, 2005).

O fundo do lago está a mais de 1.000 metros abaixo do nível do mar, o que o posiciona como o mais profundo *rifte* continental. A área da falha geológica também é sismicamente ativa, havendo fontes termais e terremotos a cada poucos anos. O lago está completamente cercado por montanhas altas e íngremes. Contém duas dezenas de ilhas, incluindo a Ilha de Olkhon que é a terceira maior ilha lacustre do mundo (Butorina, 2005).

O Lago Baikal, apesar de seu isolamento geográfico, não está isento de graves problemas ambientais. A poluição química (compostos orgânicos a base de cloro), originada na superfábrica de celulose de Baikalsk, polui severamente pelo menos 200 km<sup>2</sup> do lago. Adicionalmente, o principal tributário do lago, o Rio Selenga, traz enormes quantidades de poluentes e sedimentos depois de atravessar algumas das cidades mais importantes da Mongólia. Finalmente, a construção de uma planta de enriquecimento de urânio em Angarsk, uma cidade a 95 km das margens do lago, oferece grandes riscos à biota, já que

haverá o constante risco de escape de materiais radioativos de alta periculosidade para o lago Baikal (TED, 2014).

Os lagos alpinos, situados na Europa Ocidental, além de possuírem uma grande importância na história e geografia da Europa, são importantes reservas de água para o abastecimento público, para o lazer de milhões de pessoas e também para fomentar a produção agrícola regional (Dokulil, 2005), (Tab. 5.3).

O Lago de Constança ou *Bodensee* situa-se na fronteira da Alemanha ao norte, da Áustria a leste e da Suíça ao sul. Os estados de Baden-Württemberg e da Baviera tem limites no lago, assim como os cantões suíços de Turgau e Saint Gallen. A área do Bodensee é 536 km<sup>2</sup>. A profundidade máxima é de 252 m (*Obersee*) e o volume de água acumulada é de 55 km<sup>3</sup>. O lago situa-se a 395 m acima do nível do mar e é o terceiro maior lago da Europa Central, depois do Lago Balaton e do Lago Léman. O Lago de Constança tem origem glacial e fornece água para diversas cidades do sul da Alemanha (Dokulil, 2005).

Lago de Genebra ou *Lac Léman* encontra-se a 373 m de altitude e tem a profundidade máxima de 310 m. O lago formou-se após a última era glacial, há, aproximadamente, 15 mil anos e pertence à categoria dos lagos dimíticos, cujas águas se misturam completamente duas vezes por ano, na primavera e no outono, o que favorece sua riqueza em peixes. Seus principais afluentes são o Rios Thielle e Aar, que chegam por um canal que passa pelo lago Bienna. O Lago Léman dividido em duas bacias separadas pela ponta de Yvoire: o Grande Lago Norte-Leste, onde se encontra a parte mais larga (14 Km) e o Pequeno Lago Sul, junto à cidade de Genebra (Dokulil, 2005).

O Lago de Garda é o maior da Itália. Localiza-se ao norte do país, entre as regiões de Lombardia, Vêneto e Trentino-Alto Adige. Estende-se por uma área de cerca de 370 km<sup>2</sup>, a uma altitude de 65 metros sobre o nível do mar. O lago possui cinco ilhas.

O Lago Maior (*Lago Maggiore*) é um dos principais lagos alpinos e o segundo maior lago da Itália. Sua altitude é de cerca de 193 metros sobre o nível do mar. O seu perímetro é de 170 km e seu comprimento máximo atinge 54 km. Sua largura máxima é 10 km e a largura média é 3,9 km. A profundidade máxima do lago é 370 metros. O lago possui uma área de 212 km<sup>2</sup> (cerca de 80% em território italiano e os restantes 20%, em território suíço). Na Itália, o lago banha as regiões da Lombardia e do Piemonte, enquanto na Suíça o lago banha o cantão Tessino (Dokulil, 2005).

O Lago de Como (em italiano *Lago di Como*) é de origem glacial, situado na Lombardia, Itália. Com uma área de 146 km<sup>2</sup>, é o terceiro maior lago da Itália, depois do Lago de Garda e do Lago Maggiore. É um dos mais profundos da Europa com uma profundidade máxima de 410 metros.

O Lago Neuchâtel está situado entre os Cantões de Vaud, Neuchâtel, Berna e Friburgo na Suíça. A cidade, a qual dá nome ao lago, fica situada ao Norte. No extremo-oeste, estão as cidades de Yverdon-les-Bains e de Grandson. Ao sul, está Estavayer-le-Lac.

Tabela 5.3 - Parâmetros morfométricos dos principais lagos alpinos da Europa Ocidental (Dokulil, 2005).

LAGO	Superfície (km <sup>2</sup> )	Volume (km <sup>3</sup> )	Profundidade Máxima (m)	Profundidade Média (m)
Lago Genebra	582,4	88,9	309,7	152,7
Lago Constança	539,0	48,40	252,0	100,0
Lago Maggiore	212,0	37,7	370,0	177,0
Lago di Garda	370,0	49,0	346,0	136,0
Lago di Como	145,9	22,5	410,0	153,0
Lago Neuchatel	218,0	13,8	152,0	64,2

Os lagos alpinos europeus já sofreram muito com a ação do homem no passado. No entanto, hoje, são lagos que estão bem protegidos e recuperados após sofrerem grandes investimentos públicos, visando um maior controle ou mitigação dos impactos antrópicos. Um bom exemplo é o Lago de Constança (*Bodensee*). Entre as décadas de 1950 e 1970, esse lago sofreu os efeitos da entrada indiscriminada de nutrientes limitantes (N e P) advindos do *runoff* de nutrientes de atividades agrícolas e do despejo de esgotos parcialmente ou não tratados. Por se tratar de um lago que compartilha fronteiras com três países (Alemanha, Suíça e Áustria), um programa multinacional de recuperação do *Bodensee* foi iniciado na década de 1970 quando a eutrofização chegou a atingir índices alarmantes nesse ambiente (Reicht, 1978). Graças a esse programa, hoje, o Lago de Constança, além de ser a principal fonte de água potável para milhões de pessoas no sul da Alemanha, na Suíça e na Áustria, é também um dos principais polos turísticos dos Alpes europeus, atraindo centenas de milhares de pessoas que procuram a região para passar suas férias de verão ou mesmo para ali viver após a sua aposentadoria. Outros lagos alpinos também passaram por processos de recuperação semelhantes ao do *Bodensee*. Esses exemplos nos ajudam a construir um cenário menos pessimista para as águas do Planeta no futuro.

## 5.1 - Lagos Salinos

Um lago salino é um corpo isolado de água que tem uma concentração de sais (principalmente cloreto de sódio) e outros minerais significativamente maior que em outros lagos. Considera-se um lago como sendo um ambiente salino, quando a concentração de sais de suas águas é igual ou superior a 3,0 mg/L. Em alguns casos, os lagos salgados podem chegar a ter uma concentração de sal superior à da água do mar (Williams, 2005).

O Mar Cáspio é o maior corpo de água fechado e interior da Terra. Esse é um ambiente salino que possui uma salinidade de aproximadamente 1,2%, cerca de um terço da salinidade da maior parte da água do mar. O Mar Cáspio possui uma superfície de 371.000 km<sup>2</sup> (não incluindo Kara Bogaz Gol) e um volume de 78.200 km<sup>3</sup> de água acumulada. Suas dimensões lineares máximas: 1.030 km de comprimento e 435 km de largura. A profundidade média desse mar interior é de 211 m ( $Z_{med}$ ) e a profundidade máxima chega a 1.025 m ( $Z_{max}$ ). O perímetro desse corpo de água chega a 7.000 km. Forma uma bacia endorreica (que não tem saídas), limitada a noroeste pela Rússia, a oeste pelo Azerbaijão, ao sul pelo Irã, a sudeste pelo Turcomenistão e ao nordeste pelo Cazaquistão. Os antigos habitantes de seu litoral consideravam o Mar Cáspio um oceano, provavelmente por causa de sua salinidade e aparência ilimitada.

Cerca de 11 milhões de pessoas vivem na orla do Mar Cáspio e tanto os centros urbanos (Baku, dentre eles), quanto as atividades industriais exercem importantes impactos sobre o ecossistema. A região do Mar Cáspio é rica em reservas de óleo e gás. A exploração e o intenso uso das águas do mar Cáspio por navios tanques apresentam um risco constante à biota desse lago. Outro ponto importante é a pesca do esturjão. A pesca dessa espécie no Mar Cáspio chegou a suprir 80% da demanda mundial por esse peixe e suas famosas desovas. Os estoques dessa espécie foram reduzidos drasticamente no Mar Cáspio devido a destruição dos habitats preferidos para a reprodução da espécie, poluição por metais pesados e por óleo e seus derivados (CEP, 2014).

O Mar Morto situa-se no oriente médio. Com uma superfície de, aproximadamente 1.050 km<sup>2</sup>, correspondente a um comprimento máximo de 80 km e a uma largura máxima de 18 km. É alimentado pelo Rio Jordão e banha a Jordânia e Israel. O Mar Morto tem esse nome, pelo fato de os peixes não conseguirem ali sobreviver por causa da grande quantidade de sal existente em suas águas. Enquanto a água do mar possui cerca de 35,0 g/L de sal, no Mar Morto esse valor é dez vezes maior, ou seja, de 300 a 350 g/L.

Nos últimos 50 anos, o Mar Morto perdeu um terço da sua superfície, em grande parte por causa do aumento na captação das águas de seu afluente, o Rio Jordão, única fonte de água doce da região, além da natural evaporação das suas águas. A progressiva perda dessas águas causa uma contínua redução em sua área e em sua profundidade e ameaça seriamente a integridade ecológica desse ecossistema (Abu Ghazleh et al., 2009).



O grande lago salgado norte-americano é um salino localizado na parte setentrional do estado de Utah, nos EUA, cuja característica principal é uma salinidade elevada, maior do que a dos oceanos. Cobre uma área de cerca de 4.400 km<sup>2</sup>, sujeita a constantes variações. Salt Lake City, capital de Utah, situa-se na margem leste do lago.

O Mar de Aral é um lago salino, localizado na Ásia Central, entre duas províncias cazaques, ao norte, e uma região autônoma usbeque ao sul. O nome (em português, Mar das Ilhas) refere-se à grande quantidade de ilhas presentes (originalmente mais de 1.500 ilhas). Esse já foi o quarto maior lago do mundo, com 68.000 km<sup>2</sup> de superfície e 1.100 km<sup>3</sup> de volume de água (Butorina, 2005; Williams, 2005). Entretanto, em 2007, o Mar de Aral havia reduzido a área inundada para apenas 10% de seu tamanho original. Em 2010, estava dividido em três porções menores, em avançado processo de desertificação. O recuo do mar também já teria provocado a mudança climática local com verões cada vez mais quentes e secos, e invernos mais frios e longos.

### 5.1.1 - Origem do desastre ambiental no Mar de Aral

O governo soviético sempre teve como uma de suas principais metas aumentar a produção de alimentos, tais como arroz, cereais e outros produtos. O algodão sempre valorizado era chamado “ouro branco”, na União Soviética, e a variedade “algodão do deserto” prestava-se bem para o cultivo em solos irrigados próximos ao Mar de Aral. A partir da década de 1940, durante o regime stalinista, acelerou-se a construção dos canais de irrigação que captavam água dos afluentes do Mar de Aral, para a irrigação de terras destinadas à produção do “ouro branco”.



Os canais foram mal construídos e havia perdas de grande parte da água captada em vazamentos e evaporação. No início, a irrigação das plantações consumia, aproximadamente, 20 km<sup>3</sup> de água. Na década de 1960, a maior parte do abastecimento de água para o lago tinha sido desviado e o Mar de Aral começou a perder tamanho. Essa situação progrediu bastante até que, em 1987, a redução contínua do nível da água levou ao aparecimento de grandes bancos de areia, causando uma separação em duas massas de água, formando o Aral do Norte (ou Pequeno Aral) e o Aral do Sul (ou Grande Aral).

A quantidade de água retirada dos rios que abasteciam o Mar de Aral duplicou nas últimas décadas do século XX, assim como a produção de algodão. No mesmo período, o Uzbequistão tornou-se um grande produtor mundial de algodão. A salinidade do lago quase quintuplicou e grande parte de sua fauna e flora naturais foi perdida. A próspera indústria pesqueira faliu, assim como as cidades ao longo das margens. Houve desemprego já que a outrora florescente indústria da pesca praticamente acabou. A situação chegou ao ponto crítico em 2003 (Butorina, 2005).

O Mar de Aral é hoje um ambiente muito poluído. O uso maciço de pesticidas e fertilizantes foi um dos principais fatores para gerar essa situação. Para complicar, essa mesma região foi alvo de vários testes militares e projetos industriais. As pessoas passaram a sofrer com a falta de água doce e as culturas na região estão sendo destruídas pelo sal depositado sobre a terra. Nos últimos anos, o vento tem soprado sal a partir do solo seco e poluído, causando danos à saúde pública. Há também relatos de alterações climáticas na região, com verões cada vez mais quentes e secos, e invernos mais frios. A situação do Mar de Aral e sua região é descrita como a maior catástrofe ambiental da história (Micklin, 1988; Small et al. 2001).

Está em curso uma iniciativa no Cazaquistão para salvar e recuperar o norte do Mar de Aral. Como parte dessa iniciativa, foi concluída uma barragem em 2005 e em 2008 o nível de água nesse local já havia subido doze metros em comparação ao nível mais baixo em 2003. A salinidade caiu e os peixes são encontrados em número suficiente para tornar a pesca viável. No entanto, as perspectivas para o mar remanescente do sul permanecem sombrias. O caso do Mar de Aral é conhecido como “um dos piores desastres ambientais do Planeta” (Fig. 5.5).

## Redução da superfície do Mar de Aral - Ásia Central

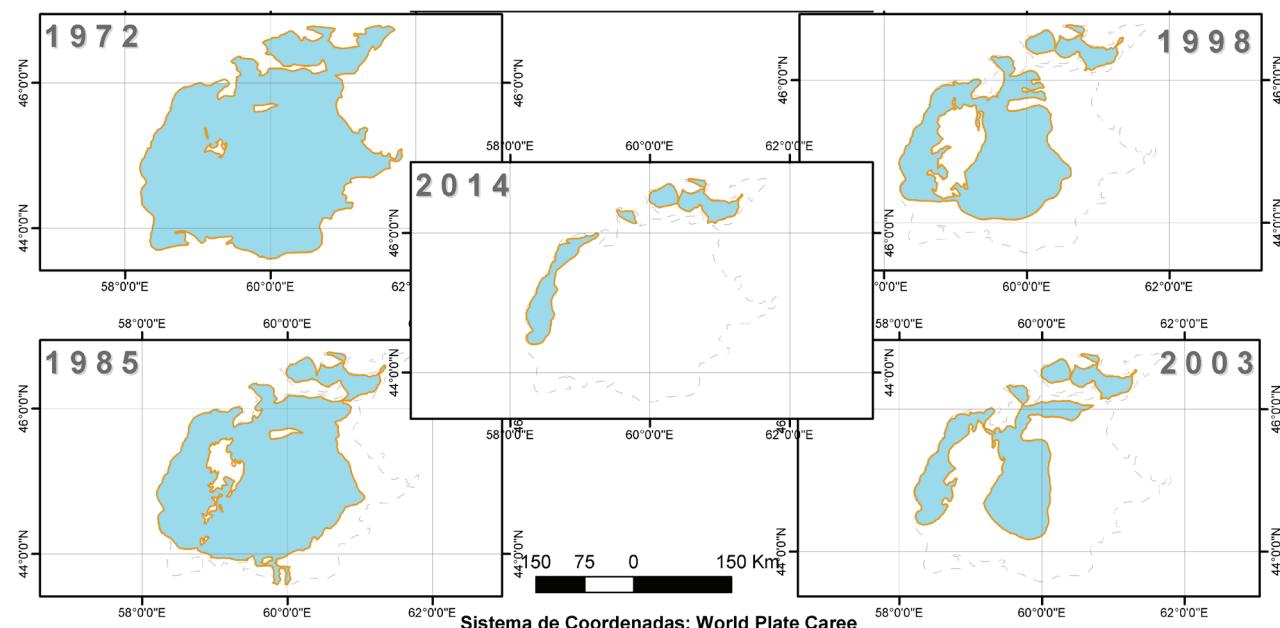


Figura 5.5 – Redução da superfície do Mar de Aral, situado na Ásia. Essa redução foi causada por projetos de irrigação conduzidos no canal Karakum que elevaram a área irrigada na região a 1,3 milhão de km<sup>2</sup>, entre os anos 50 e 60 (Butorina, 2005). Shapefiles extraídos de <http://g1.globo.com/natureza/fotos/2014/09/imagens-de-satelite-da-nasa-mostram-mar-de-arial-definhando.html>.

## 5.2 - O lago como um ecossistema

Para um leigo, um reservatório e um lago são ambientes muito parecidos entre si. Nada mais enganador. Pode-se compará-los em termos de tamanho, mas as semelhanças param por aí. Os lagos são ecossistemas naturais e os reservatórios são ambientes artificiais, construídos pelo homem. Um grande lago, tal como um daqueles descritos acima, é um ecossistema muito mais complexo. Ao contrário dos grandes reservatórios, os lagos foram formados há milhares ou mesmo milhões de anos e resultam de uma longa cadeia evolutiva de eventos biogeoquímicos, ecológicos e evolutivos. Sua estrutura biológica, por exemplo, resulta de um longo processo evolutivo que o liga às características morfológicas da bacia hidrográfica, ao clima e ao solo (Fig. 5.6).

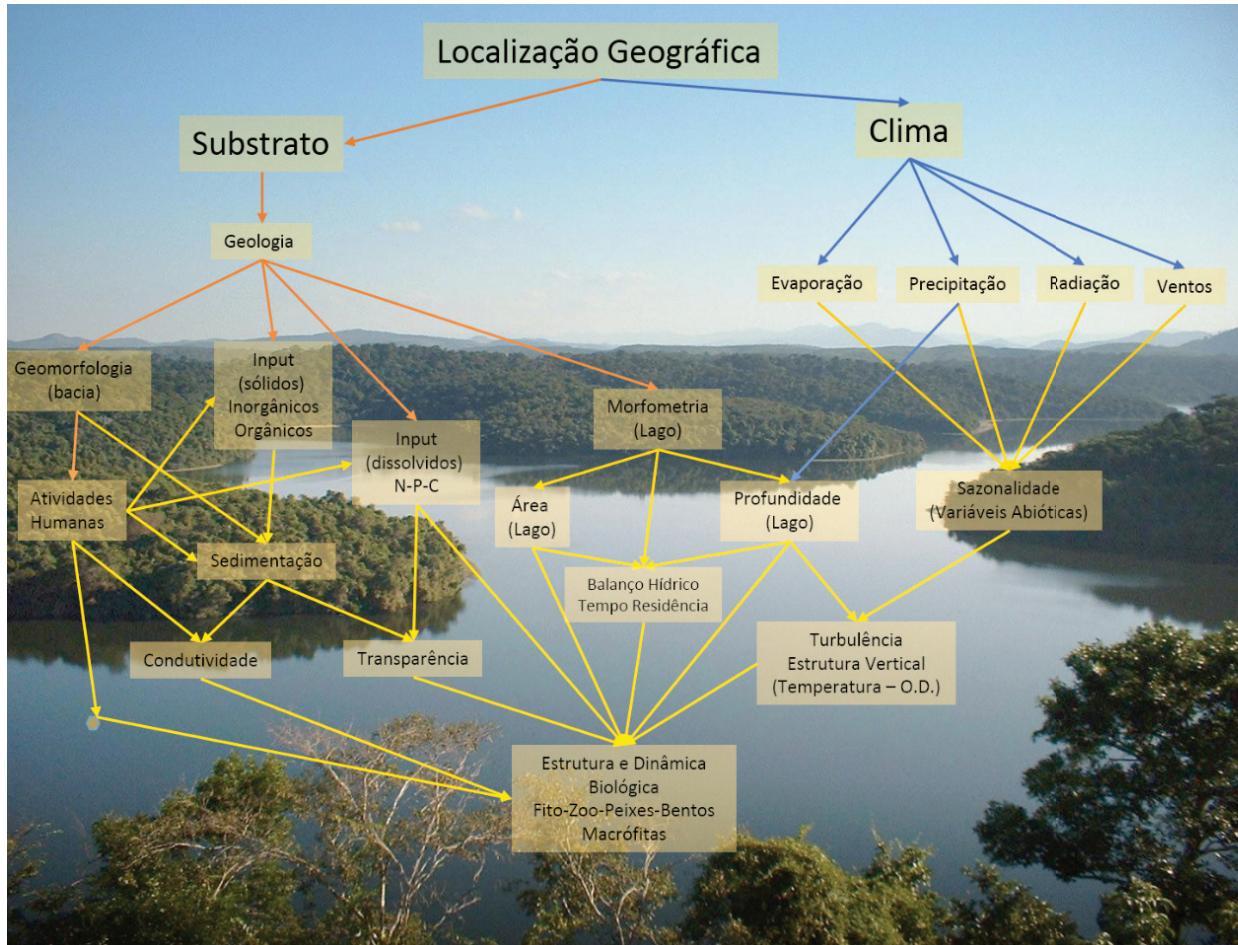


Figura 5.6 – O lago, como um ecossistema biológico, resulta da sua interação com sua bacia hidrográfica, com a geologia e a pedologia, com a morfometria, com o clima regional. A esses componentes, chamamos substrato, ou seja, a base física do ecossistema. Tanto a qualidade da água do lago, em termos de suas propriedades físico-químicas quanto a sua estrutura biótica serão moldadas e continuamente influenciadas por essa matriz física também chamada abiótica (original, modificado de Lévéque, 2003).

Uma das aspectos que mais distinguem um lago de um reservatório é o seu equilíbrio dinâmico e a sua maior complexidade biológica e ecológica. É muito comum haver flutuações intensas na composição dos peixes dentro de um reservatório, o que é raro de observar em um lago (que não sofre ações antrópicas). A grande maioria dos grandes lagos tem uma flora e fauna particular, em muitos casos com grande número de espécies endêmicas (Lago Victoria e Baikal). Já todos os peixes de um reservatório foram trazidos de outros ambientes e, em muitos casos, as espécies de peixes originalmente presentes no rio, antes de ser inundado, ou são localmente extintas ou alteram drasticamente suas densidades ou seus hábitos de vida.

De modo geral, as características hidrológicas também são muito diferentes entre os lagos e rios. Características tais como o tempo de detenção, a taxa de renovação das águas, a velocidade de sedimentação das partículas em suspensão e a estrutura dos habitats da zona litorânea são bem diferenciadas.

Em reservatórios, é muito comum existir amplas flutuações do nível da água em períodos mais curtos do que a maioria dos lagos. Em consequência, a vida das zonas litorâneas dos reservatórios é muito mais restrita, com menos plantas (macrófitas), insetos, peixes e mesmo animais maiores, tais como vertebrados (Fig. 5.7).

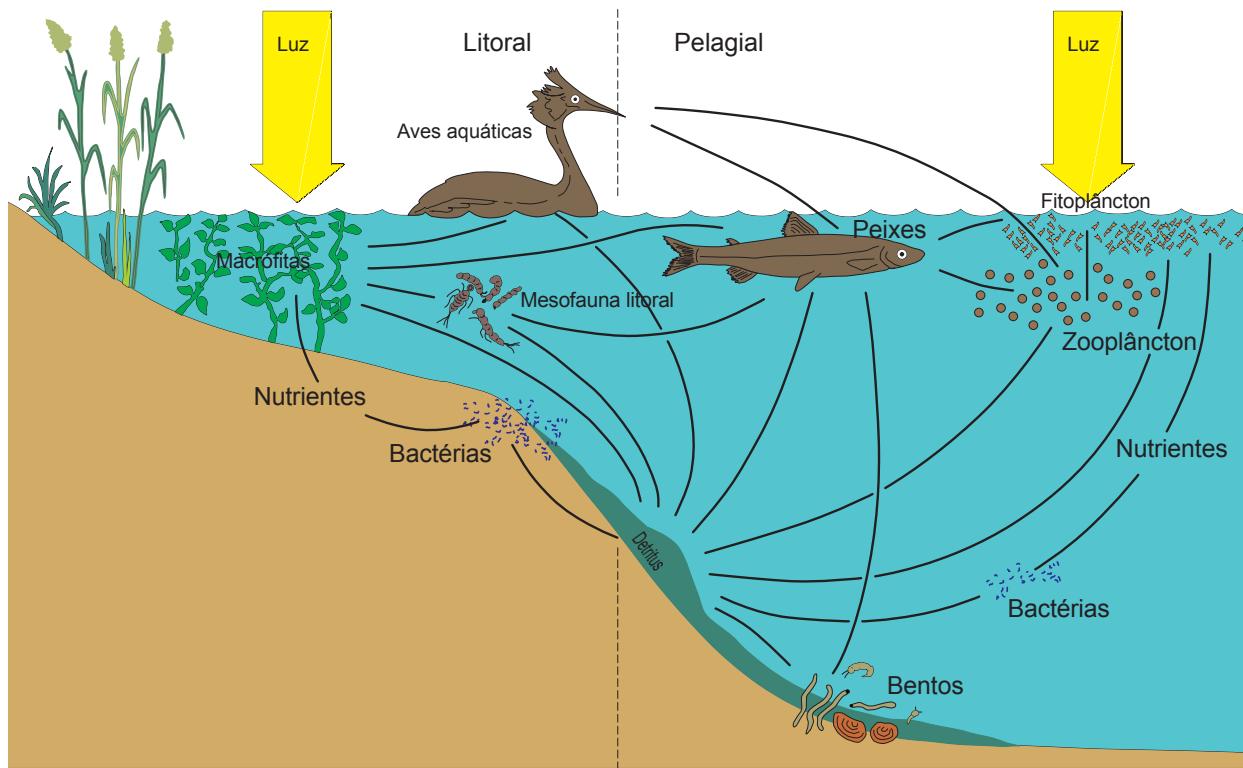


Figura 5.7 – O lago como um ecossistema: a base de toda a cadeia alimentar de um lago está nos produtores primários, normalmente representados pelo fitoplâncton e pelas plantas (macrofitas) do litoral. O próximo elo dessa cadeia trófica é representado pelos organismos zooplânctônicos (vivem na coluna de água) e pelos organismos bentônicos (vivem junto aos sedimentos). Esses organismos são a base alimentar dos peixes. Normalmente, os lagos apresentam uma avifauna (aves aquáticas) muito rica e densa. As aves podem-se alimentar de algas, de moluscos, de peixes e mesmo de outras aves. Não podemos deixar de mencionar a vida microbiana, seja associada aos sedimentos, seja à água livre. Bactérias, fungos e mesmo vírus desempenham um papel importante para a manutenção desse ecossistema. A maior complexidade ecológica da zona litorânea, a grande riqueza em espécies da ictiofauna e da avifauna são aspectos que distinguem os lagos dos reservatórios de mesmo tamanho e volume (modificado de Reichelt, 1978).

## 5.3 - Casos de estudo

### 5.3.1- Lago Okeechobee, Flórida, EUA

Esse é o maior lago no sudeste dos EUA (1.800 km<sup>2</sup>). Caracteriza-se por ser um ecossistema aquático interconectado (Fig. 5.8). A origem desse sistema é formada por um grupo de lagos situados próximos da cidade de Orlando, na Flórida. Esses lagos são drenados por um rio sinuoso associado a muitas áreas úmidas, o Rio Kissimmee, que, por sua vez, deságua no Lago Okeechobee. Quando as chuvas foram intensas e o Lago Okeechobee fica cheio, as saídas de água ocorriam através de uma rede dispersa de canais, no extremo sul da Península da Flórida, formando um ecossistema muito complexo e rico em espécies, o Everglades (Havens et al., 1996).

### Situação natural do fluxo de água nos Everglades, EUA.

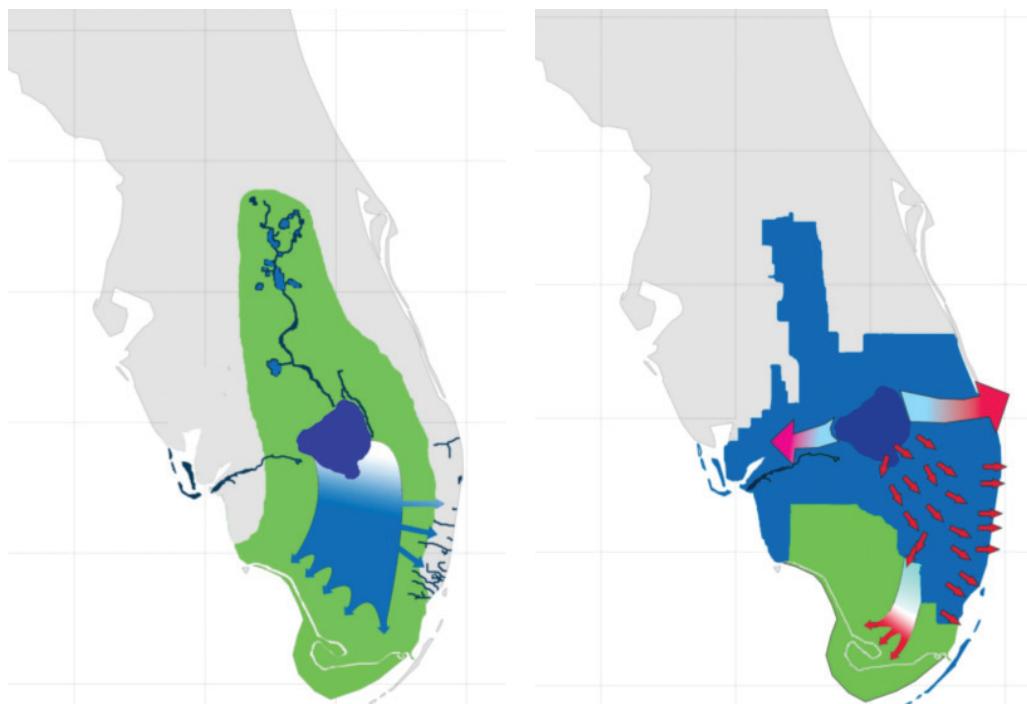


Figura 5.8- Hidrologia histórico e atual do entorno do Lago Okeechobee (centro da ilustração) na Flórida, EUA. No painel da esquerda, a situação original onde a água corria para o lago e saia principalmente para o sul, em um vasto território, chamado Everglades, na Flórida. Quase toda a região norte e sul do lago era um pantanal. No painel da direita, é apresentada a situação atual, onde extensas obras de drenagem abriram espaço para intensa ocupação agrícola e desenvolvimento urbano. A maior parte da água agora deixa o lago por grandes canais para o leste (Oceano Atlântico) e oeste (Golfo do México). Uma outra porção de água é destinada para usos humanos. Apenas uma pequena fração do fluxo histórico ainda vai para os Everglades restantes. Crédito: Distrito Gestão da Água do Estado da Flórida, Seção Sul (Fonte: K. Havens).



Na década de 1950-1960, o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos construiu um longo dique ao redor de todo o Lago Okeechobee. Esse sistema é dotado de comportas e bloqueios que são capazes de regular o fluxo das águas, permitindo, ainda, a entrada e saída de barcos. O Rio Kissimmee foi canalizado e retificado para a navegação. Grandes canais foram construídos para ligar o Lago Okeechobee ao Oceano Atlântico e ao Golfo do México. Assim, foi criada uma rota de navegação que corta o estado da Flórida de leste a oeste. Um canal profundo corta o lago e, ao sul, outros canais de drenagem foram construídos para fornecer água do Lago Okeechobee a uma grande área agrícola e para a toda costa leste inferior da Flórida. Essa região possui atualmente uma população urbana de mais de 8 milhões de habitantes. Historicamente, a água do lago servia para sustentar ecossistemas naturais (Fig. 5.9). Hoje, a maior parte dessa água é destinada ao abastecimento urbano, usos agrícolas ou, ainda, a água é desviada para evitar cheias. Os ecossistemas naturais a jusante e a pesca recreativa dentro do lago foram muito prejudicados.



Fig.5.9



Figura 5.9 (Cont) - Fotos de Lake Okeechobee que mostram (superior esquerdo) uma clausa e uma estação de bombeamento, além do dique que rodeia esse grande lago da Flórida; outra foto (canto superior direito) mostra uma vista aérea de grande zona litorânea do lago, e alguns dos animais que ocorrem nesse ecossistema - uma garça (canto inferior esquerdo) e um jacaré americano (canto inferior direito). Crédito da foto: Sul da Flórida Distrito Gestão da Água (Fonte: K. Havens).

Nas condições climáticas atuais, há momentos em que o lago não pode mais satisfazer às múltiplas necessidades por água doce, devido a secas prolongadas. Essas novas condições acabaram por gerar severas restrições de uso da água para Miami, West Palm Beach, Fort Lauderdale, além de outras cidades menores. Ao longo da costa leste da Flórida, milhões de dólares foram investidos em culturas ao longo das áreas agrícolas ao sul do lago. O lago acabou por ficar extremamente raso com quilômetros de orla expostos, pouca ou nenhuma pesca recreativa. Recentemente, Havens e Steinman (2013) analisaram o que poderia acontecer, até 2060, ao lago considerando o atual regime hidrológico acoplado a simulações e modelos climáticos regionais. Se houver um aumento de 2°C na temperatura, haverá uma maior evapotranspiração. As modelagens sugerem que poderá haver uma redução de 10 % nas chuvas em ciclos que podem durar até sete anos consecutivos. Nesse cenário, o nível do lago vai ser tão baixo que o ambiente não será mais capaz para atender a qualquer de seus usos atuais.

O Programa de Restauração do Everglades está atualmente em curso no sul da Flórida. Esse programa deverá utilizar cerca de 8,0 bilhões de dólares para restaurar as funções dos ecossistemas regionais. No momento, o programa ainda não considera explicitamente a mudança climática.

A situação atual do Lago Okeechobee, o maior sistema de armazenamento de água de superfície do sul dos EUA, indica que o sucesso deste e de outros projetos globais de restauração regionais está condicionado à adoção de modelos que levem em consideração as mudanças climáticas previstas para o futuro.

### 5.3.2 - Impactos de espécies exóticas de peixes no distrito lacustre do rio Doce, Brasil.

O Brasil é um país caracterizado por grande riqueza e abundância de rios e áreas úmidas. Exetuando a extensa faixa costeira que alberga dezenas de lagos e lagunas e a infinidade de lagoas marginais que se ligam aos rios, são poucos os distritos de lagos naturais do País. Entretanto, na região do Médio Rio Doce, no estado de Minas Gerais, encontra-se um dos maiores complexos lacustres do Brasil, com cerca de 140 lagos (Fig. 5.10). Esses lagos possuem características ecológicas muito distintas, com representantes dos mais variados estágios de evolução.

Muitos dos lagos do Distrito Lacustre do Rio Doce estão situados no parque estadual do mesmo nome. Trata-se da maior reserva de Mata Atlântica do estado, com cerca de 35.000 hectares. Apesar dos esforços de proteção e conservação, a maioria desses lagos encontra-se hoje sob forte influência de ações antrópicas. A monocultura do eucalipto, a poluição atmosférica advinda dos centros de siderurgia, localizados no entorno do distrito, a introdução de espécies exóticas, o fogo (queimadas), a pesca e a caça ilegais são algumas dessas ameaças (Fig. 5.10).



## Sistema lacustre do Rio Doce

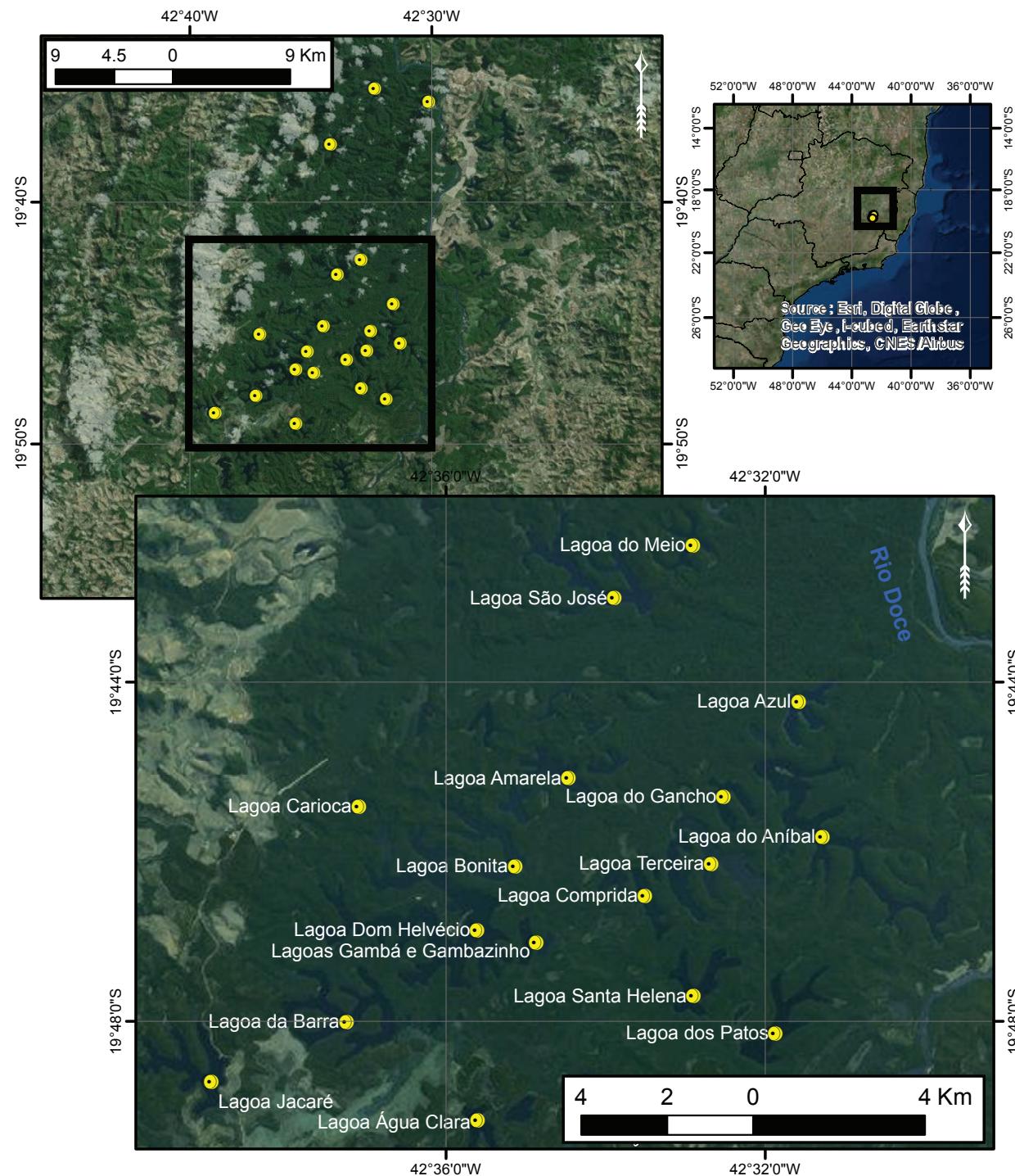


Figura 5.10 – O Distrito Lacustre do Médio Rio Doce é um dos mais importantes do Brasil. Trata-se de um conjunto de mais de 140 lagos em diferentes fases de sucessão, situados na região da Mata Atlântica. A maioria dos lagos está situada dentro de um parque estadual enquanto que os lagos remanescentes estão rodeados de monocultivos de eucaliptos. A maioria desses lagos sofre de diversos problemas ambientais tais como a introdução de espécies exóticas, poluição atmosférica e ação do fogo.

Os efeitos das introduções de espécies exóticas de peixes na cadeia trófica de alguns lagos da região foram estudados recentemente (Pinto-Coelho et al. 2008). A literatura existente demonstra que a comunidade de peixes desse distrito lacustre nunca foi especialmente rica em espécies. Segundo Godinho & Vieira (1998), os primeiros inventários realizados nos lagos da região revelaram uma riqueza total de apenas 25 espécies. Essa baixa diversidade pode ser explicada considerando aspectos ligados à origem dos lagos e a seu isolamento prolongado, em relação aos outros recursos hídricos da região. Entretanto, o número de espécies de peixes nessas mesmas lagoas sofreu uma forte redução em anos recentes. A maioria dos autores concorda que essa redução do número de espécies de peixes é consequência direta da introdução de duas espécies de piscívoros: Ciclha monoculus, o tucunaré; Pygocentrus nattereri, a piranha vermelha da Amazônia (Godinho e Formagio, 1992, Godinho et al. 1994, Godinho & Vieira, 1998).

No Distrito do Médio Rio Doce, existem ainda alguns poucos lagos que estão isentos da influência de espécies exóticas de peixes. Dois exemplos desses lagos são, respectivamente, a Lagoa Malba e a Lagoa do Gambazinho. As demais lagoas sofreram a invasão das piranhas e exibem, hoje, uma grande redução na diversidade de peixes (Fig. 5.11).

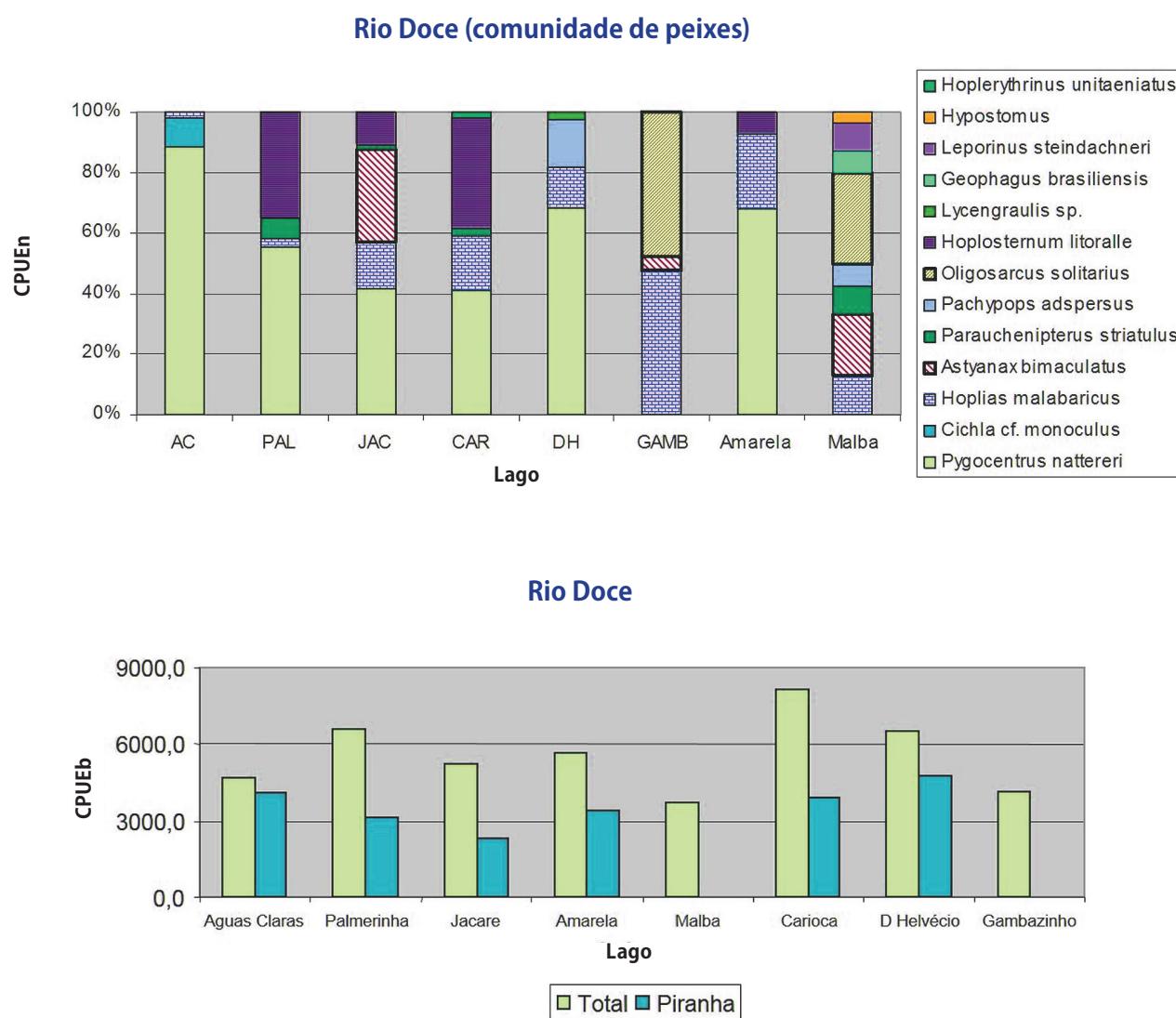


Figura 5.11 - Comunidades de peixes em sete lagos do Distrito Lacustre do Médio rio Doce. Em cima: CPUE (número de indivíduos) das principais espécies de peixes. Abaixo: biomassa – CPUE b (peso úmido, em gramas) das espécies nativas e exóticas. Lagos: AC: Águas Claras, PAL: Lagoa da Palmeirinha, JAC: Lagoa do Jacaré, CAR: Lagoa da Carioca, DH: Lago Dom Helvécio, GAM: Lagoa do Gambazinho (\*), Amarela: Lagoa Amarela e Malba: Lagoa Malba (\*). (\*): Lagoas sem espécies exóticas de peixes.

Os efeitos das introduções de espécies exóticas de peixes não se limitaram somente na redução da riqueza da fauna de peixes original. A Figura abaixo (Fig. 5.12) mostra que lagos com e sem peixes exóticos possuem estruturas de zooplâncton muito diferenciadas. O fato que mais chama a atenção, ao se observar a estrutura do zooplâncton, são as elevadas densidades de larvas do díptero *Chaoborus* nos lagos infestados por piranhas e tucunarés. Em uma comparação com um lago sem peixes invasores (Gambazinho), nota-se que a fração do mesozooplâncton é nitidamente mais importante na lagoa da Carioca (com peixes exóticos) que é dominada por larvas de *Chaoborus*, sendo esse padrão não afetado da estação do ano.

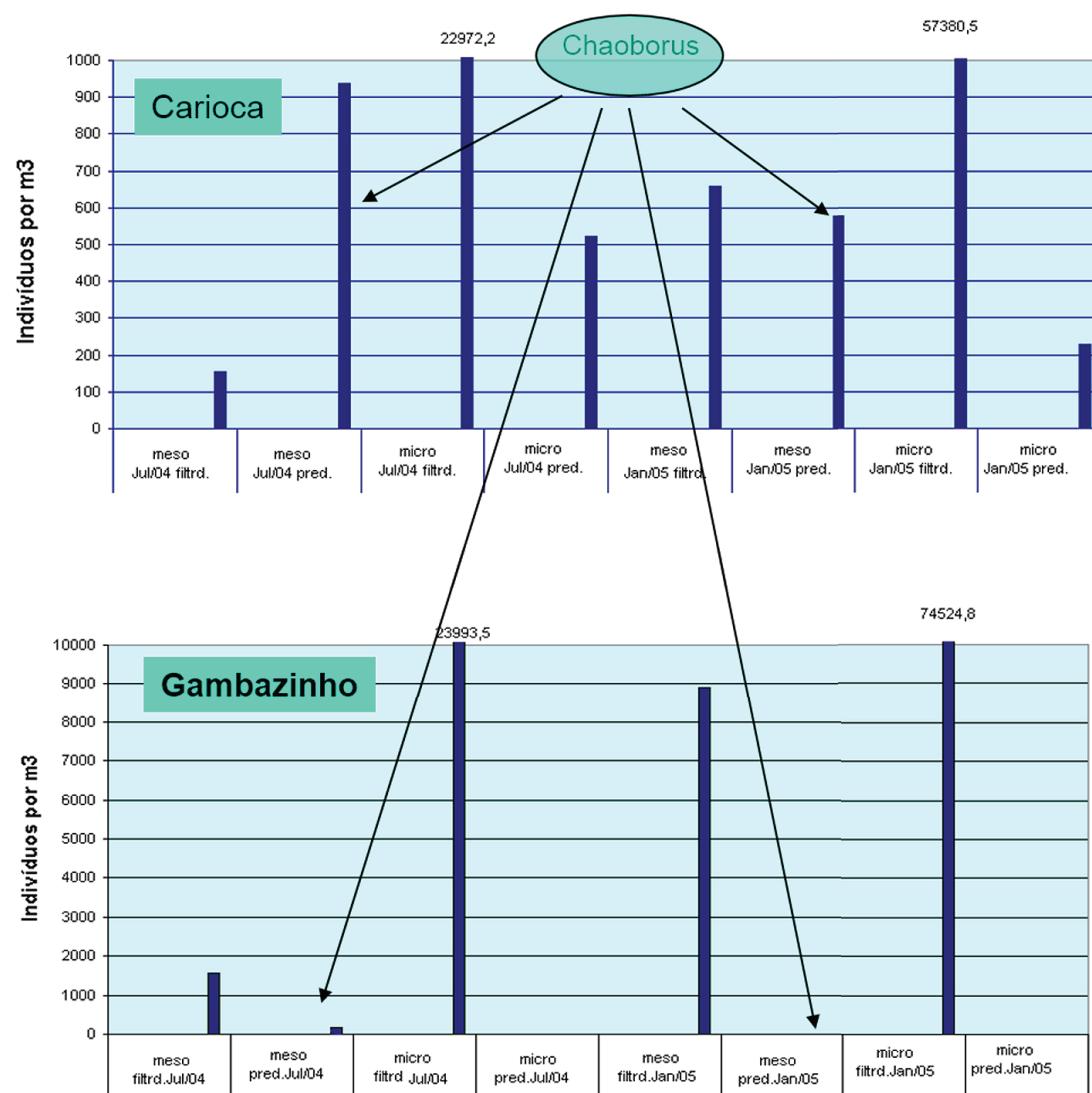


Figura 5.12 – Densidades de indivíduos do zooplâncton de pequeno porte (microzooplâncton) e médio porte (mesozooplâncton) em duas lagoas do Médio Rio Doce, Lagoa Carioca e Lagoa Gambazinho, respectivamente, com e sem peixes exóticos.

Em um recente trabalho científico (Pinto-Coelho et al. 2008), foi proposto que a introdução de peixes exóticos causou uma sequência de reações em “cascata” na cadeia trófica que culminou com o aumento das concentrações de algas e de clorofila nos lagos afetados pelas piranhas.

Os efeitos da introdução de peixes piscívoros em lagos temperados são bem conhecidos e levam exatamente ao oposto do observado nos lagos do Rio Doce (Carpenter & Kitchell, 1993).

O novo fenômeno observado, que foi denominado de “Cascata Trófica Invertida” resulta do “relaxamento das tensões ecológicas” (*ecological release*), causado pela depressão da predação de planctivoria por alevinos das espécies nativas. Essa grande diminuição na pressão exercida pelos peixes nativos sobre mesozooplâncton causou um completo rearranjo na teia alimentar das lagoas afetadas pelas piranhas e pelos tucunarés (Fig. 5.13).



Figura 5.13 – “Cascata Trófica Invertida” nos lagos do Médio Rio Doce. A introdução de peixes exóticos piscívoros levou a uma completa transformação em toda a cadeia alimentar planctônica dos lagos afetados. Ao final, observou-se um aumento da eutrofização com o aumento das concentrações de algas e grande diminuição da transparência da água (Pinto-Coelho et al. 2008).

Os lagos do Médio Rio Doce são um conjunto único de lagos. Muitos deles, provavelmente, estariam ainda em estado quase que pristino, caso não tivessem sido alvo de uma introdução tão desastrosa de peixes (Fig. 5.14). Há que se sublinhar, que essa ação foi feita com o apoio de agências oficiais do governo com o intuito de aumentar a produção de pescado. Esse exemplo ilustra não só os efeitos perversos de modificações deliberadas da ictiofauna, mas também serve como alerta, obrigando órgãos de governo a uma reflexão mais cuidadosa das políticas públicas adotadas. Hoje, a adoção de um enfoque apenas conservacionista, com manutenção do atual *status quo* desses lagos, nas condições atuais, pode significar um erro tão grosseiro quanto foi a introdução de espécies exóticas na década de 1970. São necessárias ações de manejo e recuperação mais contundentes, que possam reverter o quadro de crescente degradação ecológica em que se encontra esse conjunto de lagos.

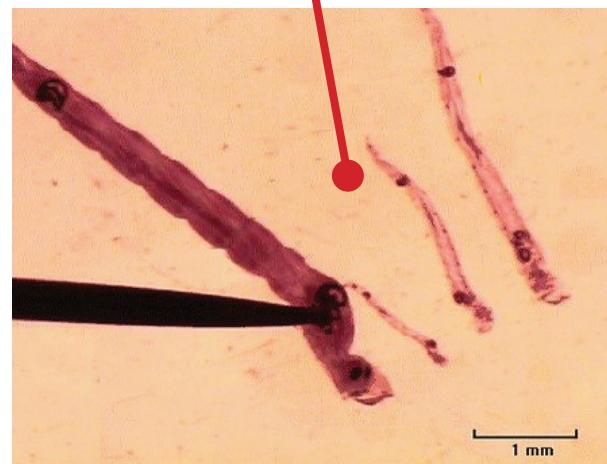
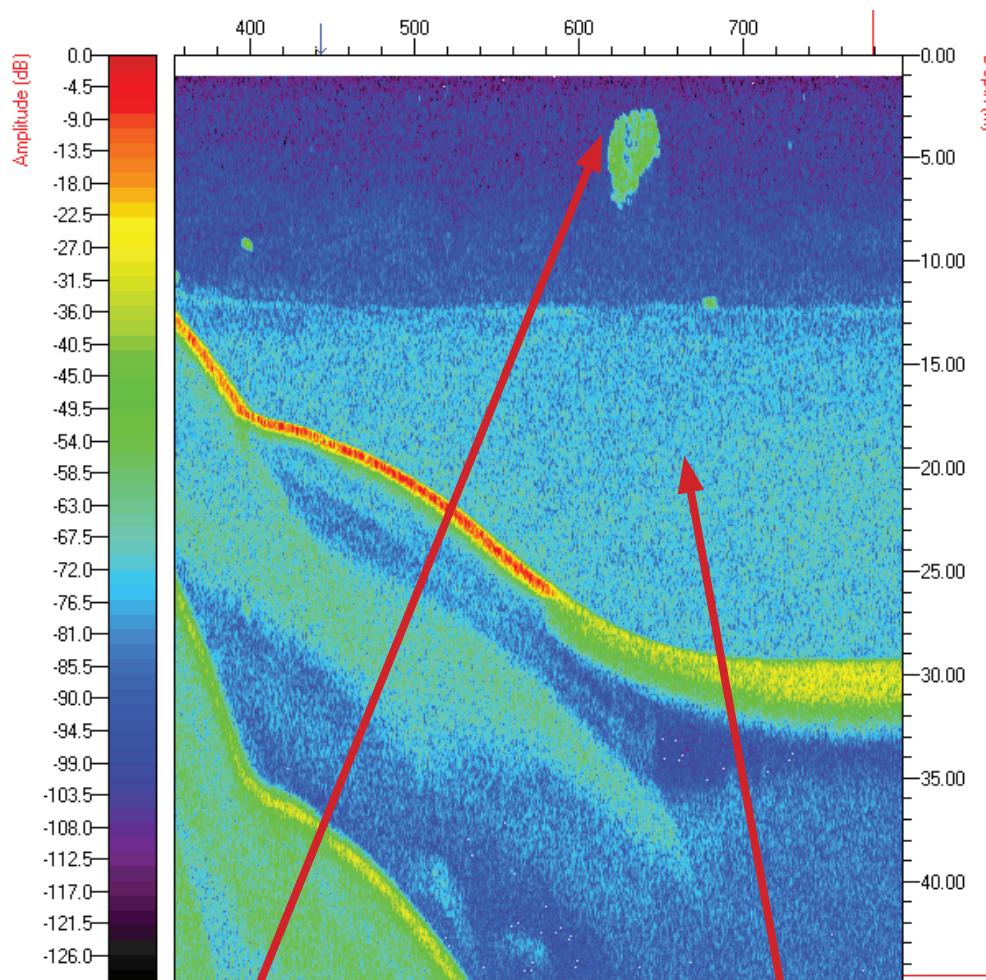


Figura 5.14 – Piranhas (esquerda, acima), Chaoborus (esquerda, abaixo) dominam os ecogramas obtidos com uma sonda hidroacústica Biosonics DT-X (à direita) dos lagos do Médio Rio Doce. A reversão dos efeitos da “Cascata Trófica Invertida” passa por uma recomposição da fauna nativa de peixes e por um programa de controle e combate dos peixes introduzidos.

## 6 - Reservatórios

### 6.1 - A importância dos Reservatórios para a Humanidade

Milhares de reservatórios foram construídos pelo homem desde os tempos antigos. Entretanto, foi a partir dos anos 30, do século passado, que o homem passou construir as chamadas megarepresas. Os dados morfométricos e de potência instalada das represas abordadas neste capítulo, quando não é mencionada outra fonte, foram obtidos nas seguintes fontes: EPE, 2013, ICOLD (2014) e Wikipedia (2014).

Uma das primeiras represas de grande porte do mundo foi a Barragem de Hoover, localizada no Rio Colorado, entre os estados de Nevada e Arizona (EUA). Ela foi inaugurada em 1936 (Wikipédia, 2014). Esses empreendimentos inundam centenas de quilômetros quadrados e armazenam algumas dezenas ou mesmo centenas de quilômetros cúbicos de água. Para se ter uma ideia, os principais 45 reservatórios do mundo armazenam um volume igual a  $2.355 \text{ km}^3$  e cobrem uma área de, aproximadamente,  $102.128 \text{ km}^2$ , uma área maior do que o Lake Superior (ALS=  $82.414 \text{ km}^2$ ), e um volume de água acumulado maior do que o Great Slave Lake (VGS=  $2.236 \text{ km}^3$ ).

De acordo com a área inundada, os reservatórios podem ser classificados nas seguintes categorias (Tab. 6.1).

Tabela 6.1 - Categorias de tamanhos de reservatórios (Straskraba, 2005; Avakyan & Iakoleva, 1998)

Categoría	Área ( $\text{km}^2$ )	Volume ( $\text{m}^3$ )	Número de Reservatórios
Grande	104 - 106	1010 - 1012	111
Médio	102 - 104	108 - 1010	2720
Pequenos	1-102	106 - 108	60.000
Muito Pequenos	< 1	< 106	?



Os grandes reservatórios, assim como as grandes cidades e os grandes polígonos de monocultivos são os novos elementos da paisagem do Planeta, são facilmente visíveis através das lentes dos satélites que orbitam o Planeta. Essas intervenções provam - de modo inequívoco – a capacidade que o homem possui em promover grandes modificações nas feições da Terra (Fig. 6.1). Veremos, ao longo desse capítulo, que essas modificações não se restringem apenas às mudanças da paisagem. Os reservatórios estão dentre as obras feitas pelo homem que maiores impactos ambientais causam aos rios afetados, modificando a dinâmica biogeoquímica, a estrutura e as funções ecológicas dos ecossistemas do entorno.

Os reservatórios artificiais podem ter múltiplas funções: abastecimento de água, irrigação, navegação, prevenção de enchentes, pesca e aquicultura, lazer e turismo. Entretanto, a maioria tem sido construída, visando, prioritariamente, à produção de hidreletricidade. A sociedade moderna necessita de energia. Portanto, os países que dispunham de abundância de recursos hídricos logo perceberam que era uma boa política investir em hidreletricidade: Canadá, Rússia, França, EUA e Brasil. Hoje, os 45 principais reservatórios do mundo têm uma capacidade instalada de produção de 113.365 MW (EPE, 2013).

Os reservatórios diferem muito em suas características morfométricas e operacionais. Se considerarmos três parâmetros muito importantes, ou seja, a área inundada, o volume de água acumulado ou a potência instalada nas turbinas, é possível notar que apenas a represa de Brastk (Rússia) aparece nas três listas, simultaneamente, como sendo um dos dez reservatórios mais importantes no mundo.

### Impactos ambientais de construção de represas



Figura 6.1 – Alguns dos impactos ambientais associados à construção de represas. (Em cima) reservatório de Três Gargantas (China), atualmente a maior usina hidroelétrica em operação, onde houve a necessidade de realocação de grandes assentamentos urbanos; (Meio) Churchill Falls antes e depois da construção do reservatório do mesmo nome (Canadá). A construção gerou um trecho de vazão reduzida que incluiu a própria cachoeira Churchill Falls (Abaixo) Cânion de Sete Quedas um belo canyon que foi inundado pela represa de Itaipu (á direita, abaixo).

Os dez maiores reservatórios, em área inundada, do mundo são: (1) Akosombo (Ato Volta), (2) Churchill Falls (Snallwood), (3) Zhiguli (Kuybyshev), (4) Kariba, (5) Bukhtarma, (6) Bratsk, (7) Aswan High (Nasser), (8) Brisay (Caniapiscau), (9) Guri e (10) Sobradinho, todos com mais de 4.000 km<sup>2</sup> de área inundada (Wikipédia, 2014).

Os dez maiores reservatórios em termos de volume acumulado de água são: (1) Tehri, Índia, (2) Kariba, Zâmbia-Zimbabwe (3) Bratsk, Rússia (4) Aswan (Nasser), Egito (5) Akosombo, Gana (6) Daniel Johnson, Canadá, (7) Guri, Venezuela, (8) Bennet (WAC), Canadá (9) Krasnoyarsk, Rússia e (10) Zeya, Rússia, todos com um volume de água acumulado maior que 68 km<sup>3</sup> (ICOLD, 2014).

Em termos de potência instalada essa lista dos dez mais importantes reservatórios seriam: (1) Três Gargantas, (2) Itaipu, (3) Tucuruí, (4) Krasnoyarsk, (5) Robert-Bourassa, (6) Churchill Falls (Snallwood), (7) Sayano-Shushenskaya, (8) Bratsk, (9) Ust-Ilimsk, (10) W. A. C. Bennett (L. Williston), todos esses empreendimentos com potência superior a 2.800 MW.

A produção mundial de energia elétrica no mundo, em 2010, foi de 22.225,3 Twh, sendo que a parte relativa à hidreletricidade foi de 3.402 Twh (Fig. 6.2) (EPE, 2013). A contribuição relativa à hidreletricidade tem se mantido no patamar 16,7% - 16,8 % ao longo do último quinquênio.

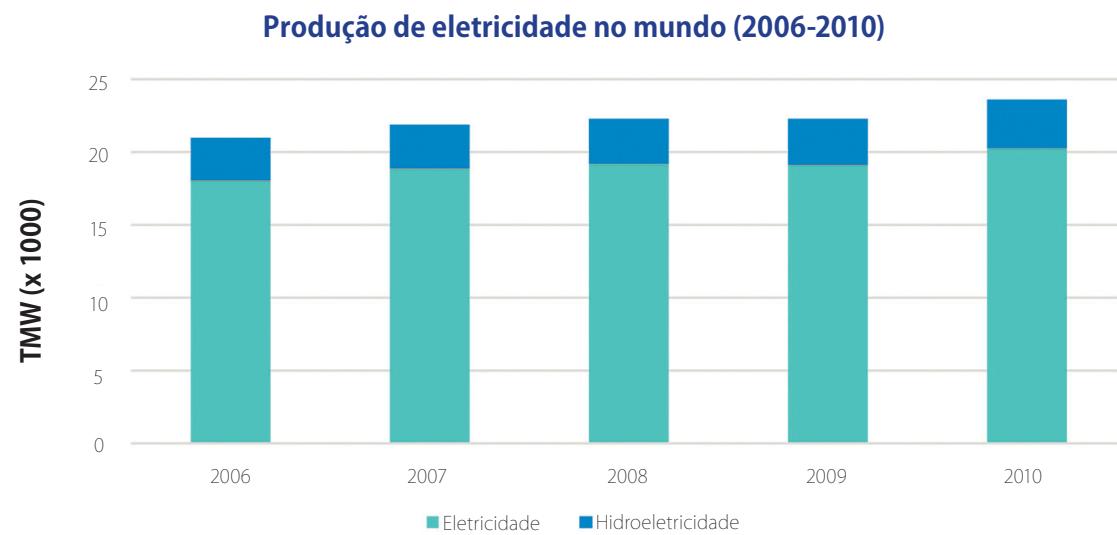


Figura 6.2 – Produção de energia elétrica e de hidreletricidade, no mundo, no período 2006-2010 (Fonte: EPE, 2013).

A participação da hidreletricidade na matriz de opções para a produção de energia elétrica geralmente varia entre 12% (América do Norte) e 17% (Europa) na maioria das regiões continentais, exceto na América do Sul e Central, onde a hidreletricidade foi responsável por quase 63% de toda a produção de energia elétrica nessa grande área geográfica. No Oriente Médio, devido às questões climáticas e da baixa disponibilidade hídrica, essa participação não passa de 2,1% (Fig. 6.3).

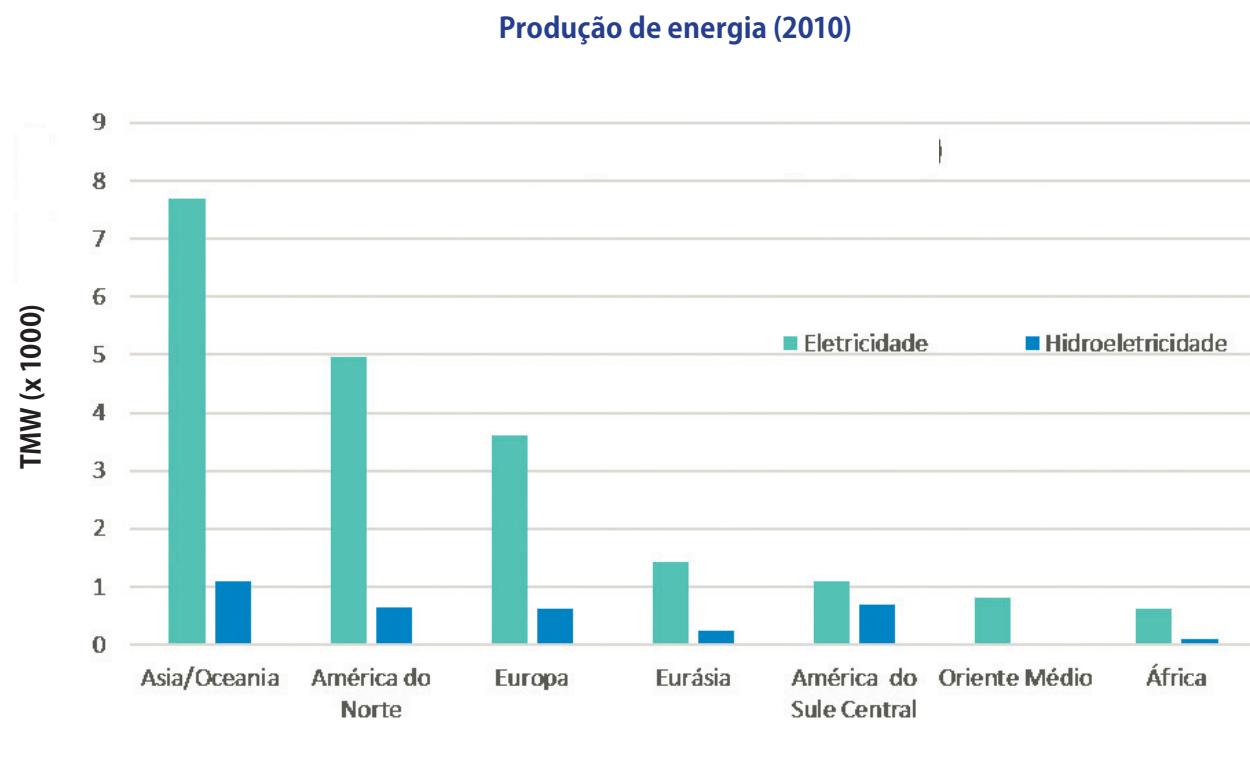


Fig. 6.3 – Produção de energia hidroelétrica nas diferentes regiões do mundo em 2010 (Fonte: ANEEL, 2013).

## 6.2 - Reservatórios e o grau de comprometimento das bacias hidrográficas mundiais

Os reservatórios já afetavam de modo importante várias bacias hidrográficas ao redor do mundo no final do século XX. Na América do Norte, existem grandes reservatórios principalmente nos Rios Tennessee (EUA), Caniapiscau, La Grande Rivière, Manicouagan (Quebéc, Canadá) e Rio Churchill (Terra Nova e Labrador). Na América do Sul, a maior concentração de empreendimentos hidroelétricos está nas bacias dos Rios Paraná, Uruguai, São Francisco e Tocantins, na América do Sul, enquanto no Continente Africano as bacias dos Rios Nilo, Congo, Volta e Limpopo são as mais afetadas por grandes barramentos. Na Europa, existem grandes empreendimentos hidroelétricos na Noruega, nos Alpes (bacias dos Rios Reno e do Danúbio) e no Rio Volga (Rússia). Na Ásia, os maiores empreendimentos estão nos Rios Obi, Yenisei, Lena, Irtysh, Amur (Rússia) e Yangtze, Huang He e Xi (China) e Menam (Tailândia) (Fig. 6.4).

O maior peso relativo à produção de energia elétrica via hidreletricidade, na América do Sul, reflete, em grande parte, a matriz energética do Brasil. O País dispõe de 67 grandes usinas hidrelétricas (> 100 MW) e mais de uma centena reservatórios de pequeno e médio portes (2-100 MW) (Fig 6.5).

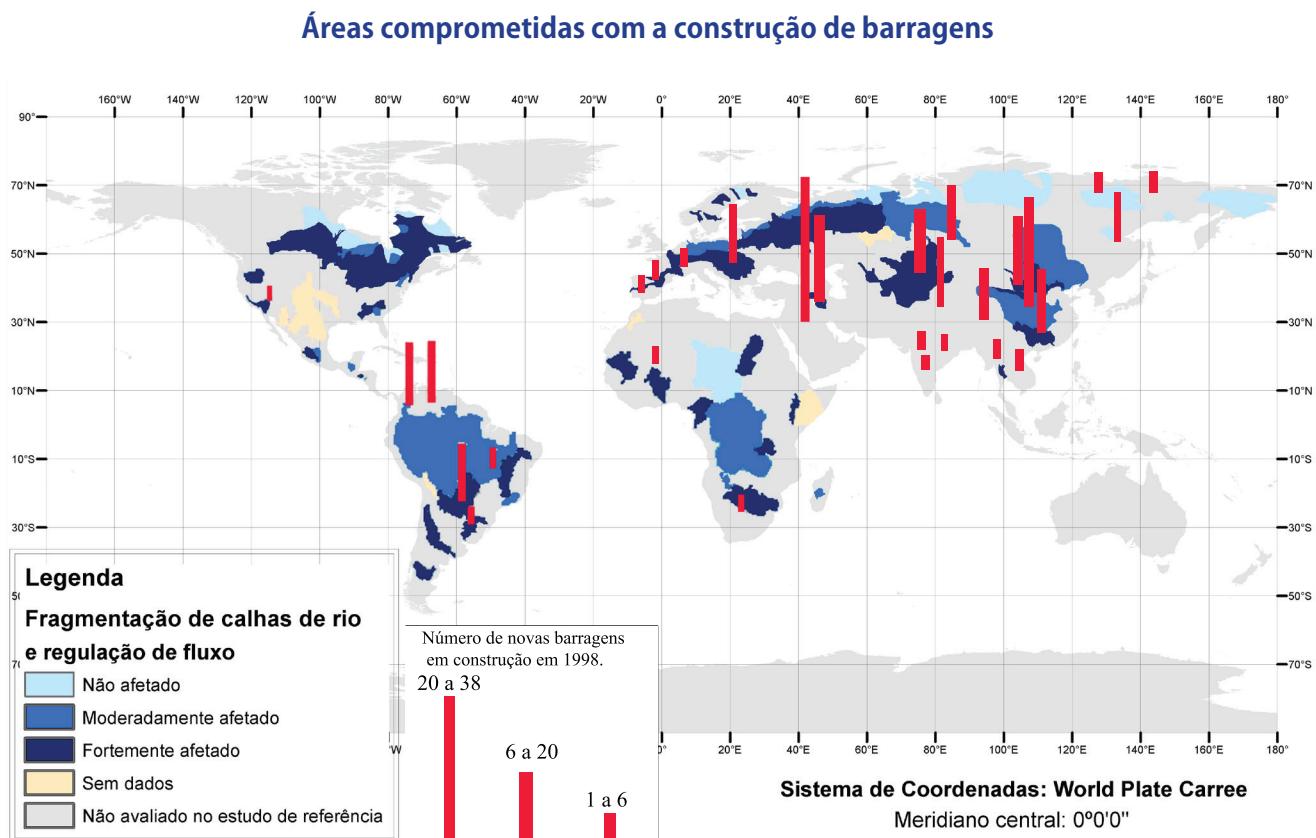


Figura 6.4 – Áreas comprometidas com a construção de barragens. (Fonte: Ravenga et al. World Resources Institute, Washington, DC. 2000).

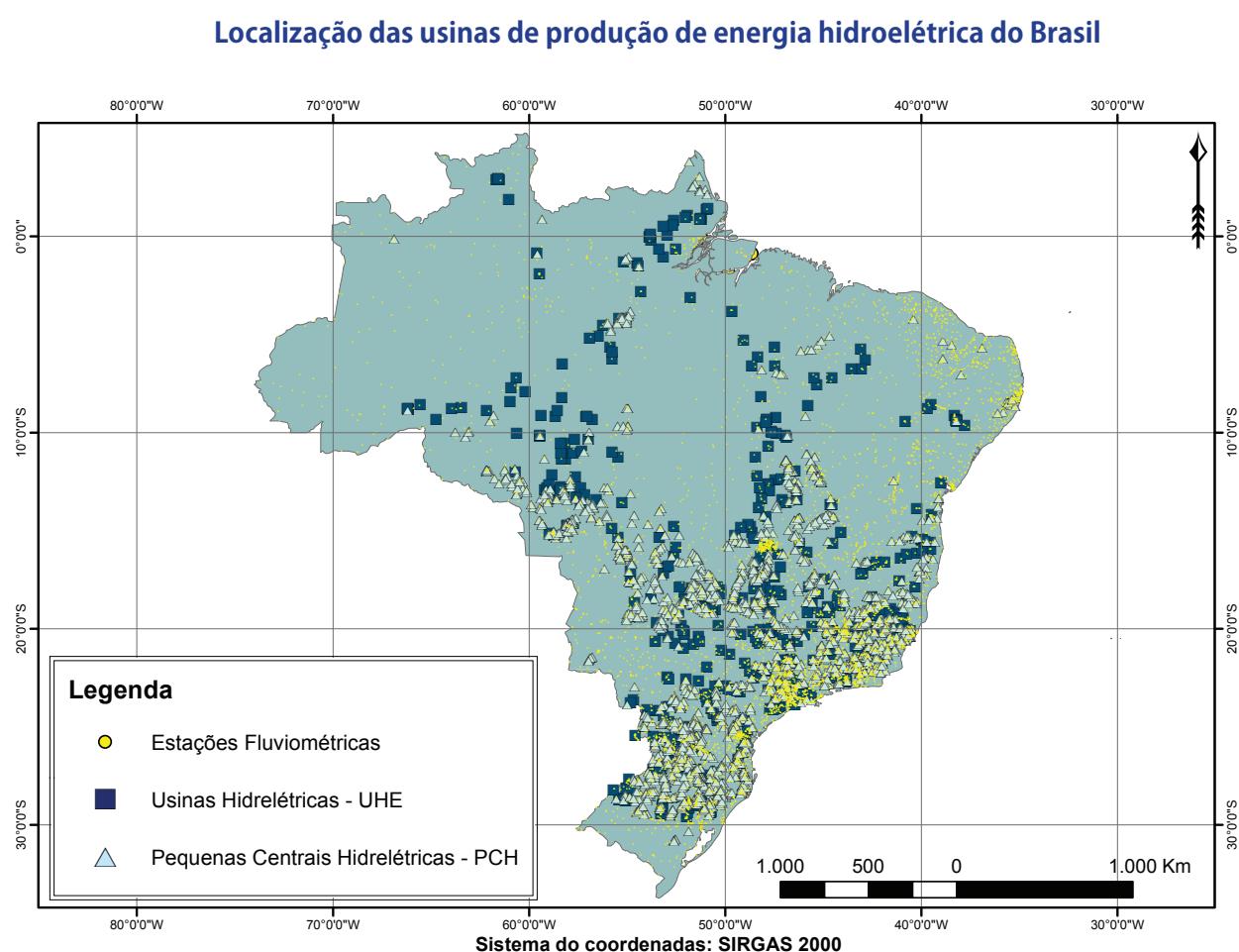


Figura 6.5 – Localização dos principais reservatórios destinados à produção hidroelétrica no Brasil.

Os rios mais importantes das Regiões Sudeste e Sul do Brasil, tais como os Rios Araguari, Paranaíba, Grande, Tietê, Paranapanema, Iguaçu, Paraná e Uruguai já se transformaram em longas cadeias de reservatórios (Nogueira et al. 2006). Outros grandes rios, tais como os Rios São Francisco e o Tocantins, situados mais ao norte, possuem também “cascatas” de usinas hidrelétricas ao longo de seus respectivos cursos.

Atualmente, o governo do Brasil investe na construção de três grandes empreendimentos hidroelétricos na Amazônia. Em 2013, entraram em operação (parcial) as Usinas UHEs de Jirau (com potência de 3,5 MW e área alagada de 300 km<sup>2</sup>) e Sto Antônio (com potência de 3,2 MW e área alagada de 400 km<sup>2</sup>) no Rio Madeira. Outra usina de grande porte, a Usina de Belo Monte, também está em construção no Rio Xingu. Essa será a maior usina hidroelétrica do Brasil (Itaipu é binacional) e terá uma potência de 11,2 MW que deverá somente ser atingida nos períodos de cheias do rio. A Usina de Belo Monte formará um lago artificial de 500 km<sup>2</sup>. A previsão para entrar em operação será em fevereiro de 2015 (Leite et al. 2014).

A tabela a seguir (Tab. 6.2), fornece uma dimensão aproximada desses empreendimentos que em breve estarão em plena operação comercial na Amazônia.

Tabela 6.2- Novas megahidrelétricas na Amazônia (Leite et al., 2014; Eixo Energia, 2014)

Usina (UHE)	Área (km <sup>2</sup> )	Potência (GW)	Localização
Jirau	300	3,8	Rio Madeira
Santo Antônio	400	3,2	Rio Madeira
Belo Monte	500	11,2	Rio Xingu



Está ainda prevista a construção de um grande complexo de usinas hidroelétricas no Rio Tapajós. O Complexo Hidrelétrico do Tapajós será composto pelas seguintes usinas: UHE São Luiz do Tapajós, UHE Jatobá, UHE Jamanxim, UHE Cachoeira do Caí, UHE Cachoeira dos Patos, todas em estudo, além de outros dois aproveitamentos inventariados: Chocorão e Jardim do Ouro. O Complexo do Tapajós, quando estiver pronto, terá uma potência instalada de 10.682 megawatts (MW). E para o futuro próximo estão previstas várias outras obras similares na Amazônia (Fig. 6.6).

### Novas usinas hidrelétricas na Bacia Amazônica

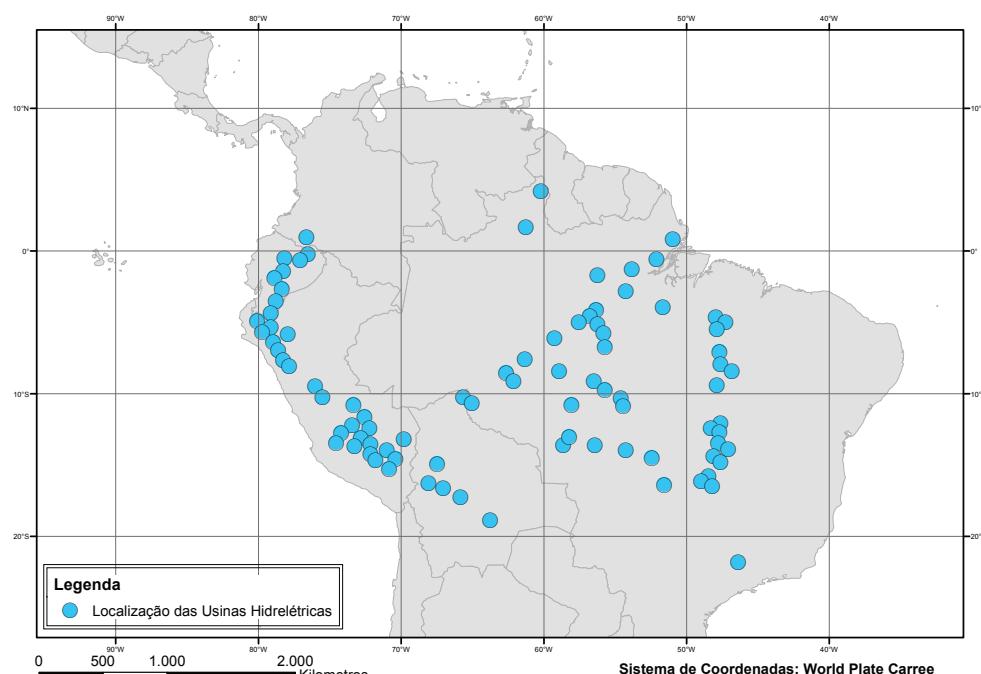


Figura 6.6 – Projetos de novas usinas hidrelétricas em fase de início de obras, aprovação pelas autoridades ambientais ou ainda em fase inicial de estudos na Bacia Amazônica. Inúmeros projetos para a construção de novas represas tanto de médio e grande porte (UHEs) quanto de pequeno porte (PCHs) estão sendo analisados, atualmente, pelas autoridades responsáveis dos países vizinhos (Peru e Bolívia).

## 6.3 - Impactos Ambientais de Reservatórios

Reservatórios tropicais são sistemas complexos que sofrem de uma variedade de problemas ambientais. Esses sistemas representam um enorme desafio para a manutenção da sustentabilidade ambiental nas áreas afetadas pelas barragens: grandes áreas desmatadas, ameaças à biodiversidade, queda na qualidade de água a jusante e a montante, alterações no ciclo hidrológico, aumento da erosão de margens, alterações nos fluxos migratórios de peixes, emissões de gases formadores do "efeito estufa", disseminação de novas espécies exóticas, aumento da eutrofização, realocação e readaptação de populações tradicionais, queda na pesca comercial, conflitos entre os usuários etc. (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008).

É evidente que todas as formas de produção de energia elétrica têm um elevado impacto ambiental, principalmente quando se trata de termelétricas movidas a carvão mineral, como é o caso da China, por exemplo. Entretanto, os preços político e ambiental de uma decisão de construir um grande reservatório em qualquer parte do mundo estão aumentando drasticamente. No decorrer de parte da primeira metade do século XX, essa decisão baseava-se apenas em critérios econômicos, políticos e de aproveitamento hidroelétrico. Não se questionavam tanto as questões ambientais ou mesmo socioculturais com a mesma intensidade como nos dias atuais.

A maioria dos grandes reservatórios do mundo foi construída sob regimes totalitários (Rússia, China e Brasil) ou em regiões de baixíssima densidade populacional (Canadá, Brasil e Rússia). Em decorrência, não existe uma relação muito clara entre a área inundada, o volume acumulado e a produção de energia dos grandes reservatórios já construídos (Fig. 6.7). Certamente, variáveis importantes, tais como a vazão defluente, a altura da barragem, a natureza do ciclo hidrológico da região ou sua localização geográfica devem ser ter sido levadas em consideração. Trata-se de um fato inquestionável, a constatação de que está cada vez mais difícil (e, em breve, será inaceitável) a execução de um projeto de represamento com as características dessas represas gigantescas, construídas no século XX.



**Reservatórios**  
(Área inundada x Potência instalada)

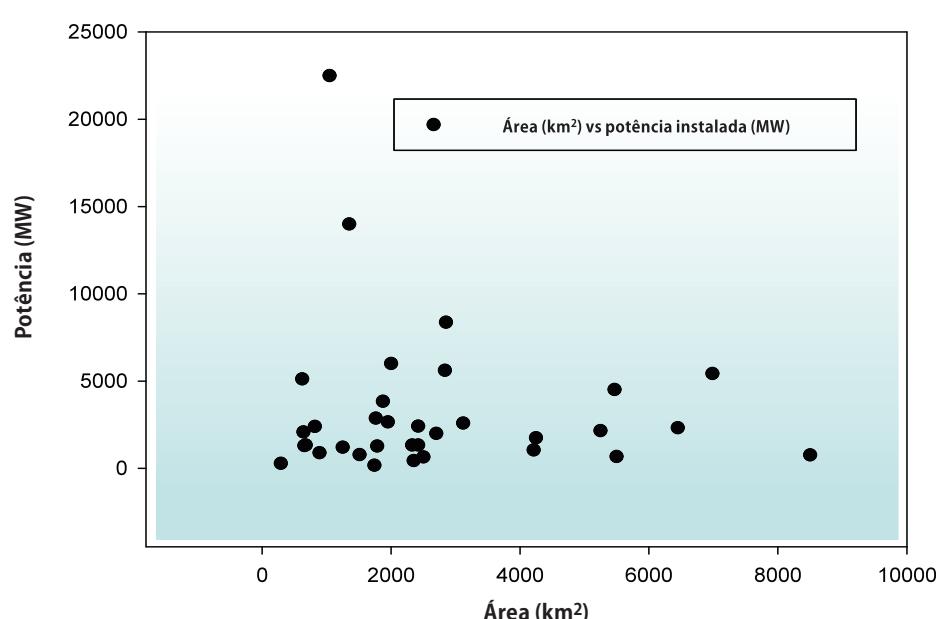


Figura 6.7

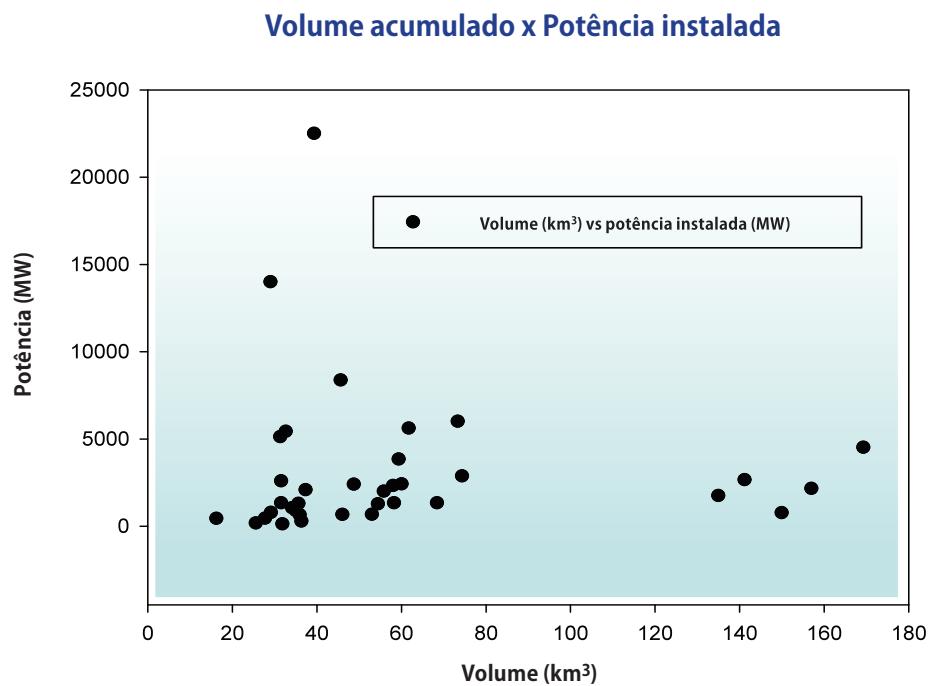


Figura 6.7 – Relações entre a área inundada (acima), o volume acumulado (abaixo) e a potência instalada dos 45 principais reservatórios do mundo (em volume) (RMPC, original).



Ao rever a história da construção de alguns empreendimentos, fica nítido o profundo impacto que essas obras exerceram e ainda exercem em diversas populações humanas. Em geral, a construção de um grande reservatório implica na realocação de populações indígenas, mudanças de cidades, pontes, indústrias, rodovias, fazendas etc.

A construção de reservatórios, além de gerar impactos ambientais importantes, gera ainda impactos culturais não menos relevantes. O templo de Abu Simbel, um monumento de relevância para a humanidade, foi translocado em virtude da construção da Represa Nasser no Nilo (Egito). A relocação do templo de Abu Simbel foi realizada, em 1964, por uma equipe internacional de arqueólogos sob os auspícios da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura (UNESCO) (Fig. 6.8).

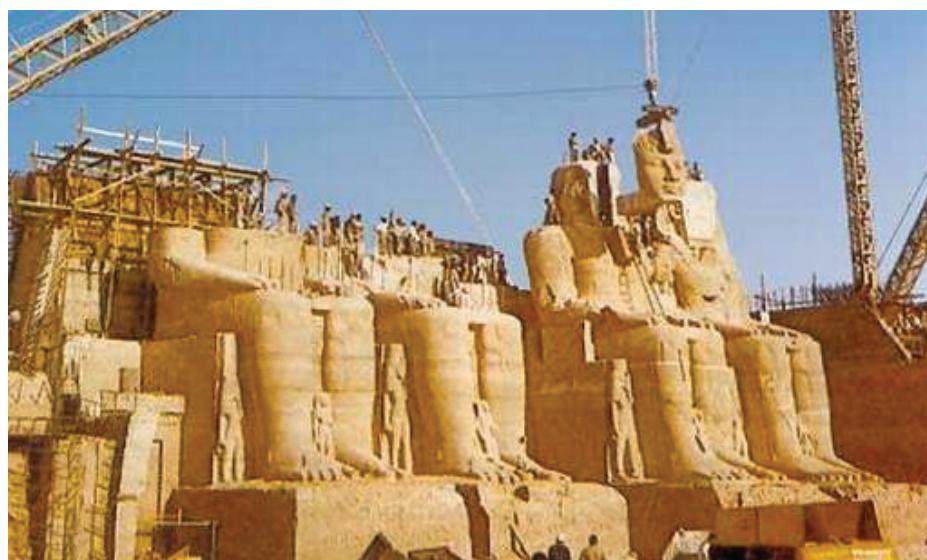


Fig. 6.8 – Realocação do templo de Abu Simbel antes do enchimento do Lago Nasser pertencente ao complexo hidroelétrico de Assuân. no rio Nilo, Egito.

Os problemas sociais não se referem apenas às alterações causadas pela mudança de um endereço. Muitas vezes, trata-se de populações ribeirinhas com uma vida ligada ao rio, onde sempre viveram. Uma vez alocadas para áreas afastadas dos rios, de onde sempre tiraram seu sustento, essas populações passaram a sofrer uma nítida queda nos seus padrões sociais e também nos indicadores de saúde. Problemas tais como aumento do alcoolismo e criminalidade devem ser considerados. Isso quando as represas não trouxeram um aumento das taxas de infestações por parasitas e similares, particularmente nas regiões tropicais (Patz et al. 2000).

Os reservatórios também inundaram milhões de hectares de terras férteis, alteraram o fluxo dos rios e sua geoquímica. Dezenas de espécies de peixes, habitantes típicos de rios, não resistiram às mudanças no seu habitat, pois o represamento de um rio com a criação de um lago artificial fez com que as águas a montante ficassem menos turvas, menos oxigenadas e mais quentes (Pelicice et al. 2014).

Os barramentos podem também causar importantes alterações na deposição de sedimentos nas várzeas a jusante, com a concomitante queda na produção agrícola, mesmo em áreas mais afastadas dos empreendimentos (Baker et al. 2011). Os lagos artificiais gerados por barramentos podem exercer efeitos importantes no clima (Lima, 2002). Em alguns casos, os grandes reservatórios chegaram mesmo a causar instabilidade sísmica, quando construídos em regiões instáveis, sob o ponto de vista geológico (Hua et al. 2003).

A construção de reservatórios pode, em alguns casos, estar associada à perda de monumentos ou belezas naturais cujo valor cultural é simplesmente intangível. As perdas econômicas, associadas às demais perdas podem ser estimadas em termos de perda de receita na cadeia econômica do turismo e do lazer (Fig. 6.9).



Figura 6.9 – Canal de São Simão, próximo à cidade de Santa Vitória, Minas Gerais em foto histórica de agosto de 1930. Esse monumento natural foi totalmente submerso pelas águas do Reservatório de São Simão.

## 6.4- Casos de Estudo

### 6.4.1 - Reservatório de Furnas

O Reservatório de Furnas está situado no alto Rio Grande, no estado de Minas Gerais, Brasil. Foi um dos primeiros grandes reservatórios construídos no Brasil para a produção de energia elétrica. O reservatório está dividido em dois grandes braços: (a) um mais ao sul, formado pelo Rio Sapucaí e (b) outro situado mais ao norte, formado pelo Rio Grande. Os dois braços apresentam diferentes tipos de qualidade de água. O braço do Rio Sapucaí é mais eutrofizado, em decorrência de uma maior ocupação urbana e também devido a uma maior ocupação agropastoril em sua bacia hidrográfica. Já o braço do Rio Grande apresenta a exploração dos recursos minerais como uma de suas atividades mais importantes. Dentre os minerais explorados, podemos citar a extração de pedras ornamentais e, principalmente, a extração de areia que normalmente é feita por dragas posicionadas ao longo do Rio Grande também em alguns de seus tributários.

O Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios (LGAR), da UFMG vem estudando a represa de Furnas há vários anos (Pinto-Coelho et al., 2008). Uma das principais características que distinguem os dois braços do Reservatório de Furnas é a qualidade ótica das águas que pode ser medida pela penetração de luz na coluna de água. Quanto mais sólidos em suspensão existem na água, mais turva ela será e maior será o coeficiente de extinção da radiação luminosa ( $K_o$ ). Os valores de  $K_o$  podem ser estimados a partir dos dados de radiação que chega ao longo da coluna de água, podendo ser medidos quantitativamente por meio de um aparelho que mede a intensidade da radiação solar nas diferentes profundidades, o radiômetro.

A Figura 6.10 mostra claramente que o braço do Rio Grande (mais ao norte) apresenta os maiores coeficientes de extinção de luz ( $K_o$ ). Isso quer dizer que esse braço apresenta águas mais turvas do que o braço do Rio Sapucaí. O gráfico, à sua direita, mostra as concessões de lavra de mineração, expedidas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), onde é possível verificar que existe uma densidade muito maior dessas concessões ao longo do braço do Rio Grande (Pinto-Coelho et al. 2006). Esses dois gráficos ilustram o fato de que o braço do Rio Grande pode estar sendo muito afetado pelas inúmeras minerações situadas a montante.

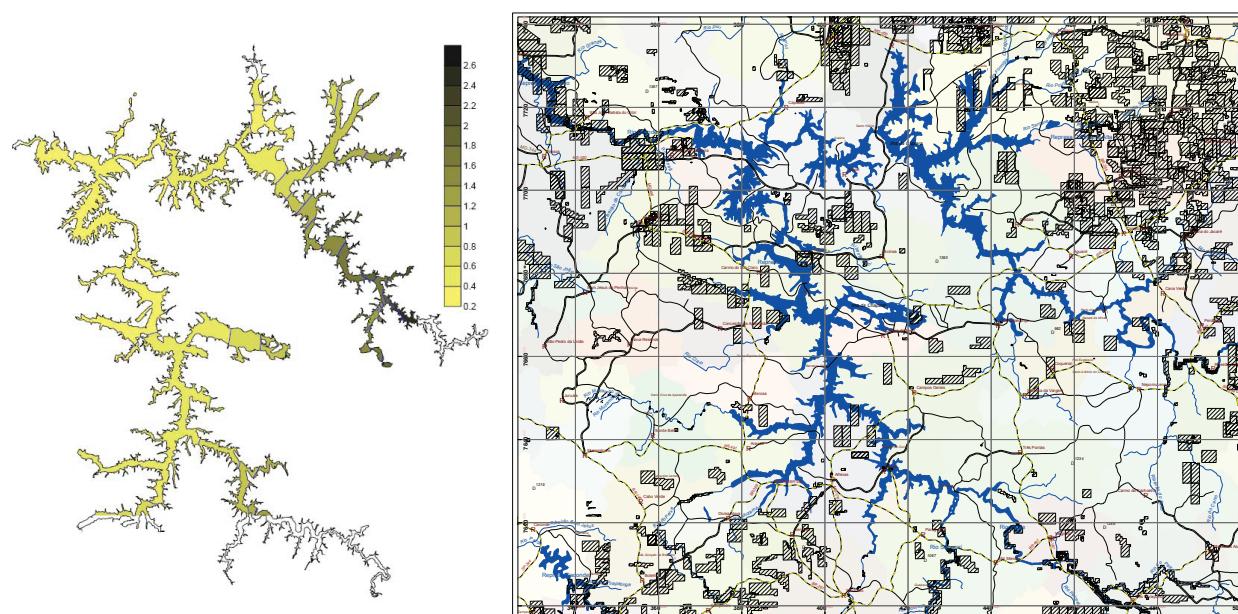


Figura 6.10 – Relação entre qualidade ótica das águas do Reservatório de Furnas, Minas Gerais, Brasil. À esquerda, os coeficientes de extinção da radiação fotossinteticamente ativa (PAR),  $K_o$ , em agosto de 2005; à direita, polígonos de concessão para atividades de mineração expedidos pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), órgão do Ministério das Minas e Energia do Governo do Brasil. Os coeficientes de extinção foram obtidos a partir de regressões lineares com dados de irradiância obtidos com uma sonda PAR Licor de propriedade do Laboratório de Gestão de Reservatórios Ambientais (LGAR) da UFMG.

## 6.4.2 - Reservatório de Nova Ponte

O Reservatório de Nova Ponte situa-se na porção oeste do estado de Minas Gerais, em uma região conhecida como Triângulo Mineiro. Esse reservatório também tem dois sub-eixos distintos: (a) um braço é formado pelo Rio Araguari, que corre no sentido sul-norte, e (b) braço formado pelo Rio Quebra-Anzol que corre no sentido leste-oeste. O Rio Araguari é um dos principais tributários do Rio Paranaíba que, por sua vez, é um dos formadores do rio Paraná.

O Triângulo Mineiro é uma das regiões que desfrutam um dos maiores índices de desenvolvimento econômico do Estado de Minas Gerais. Nessa região, há uma intensa ocupação agropastoril bem como existem várias cidades em franco desenvolvimento, tais como Araxá, Araguari, Frutal, Patrocínio, Uberaba e Uberlândia.

A ocupação humana da bacia hidrográfica do Reservatório de Nova Ponte é muito heterogênea. Merece destaque a intensa atividade agrícola que ocorre no entorno da cidade de Patrocínio um dos principais polos de produção de café e milho do estado. Trata-se basicamente, de uma agricultura intensiva de grandes empreendimentos dotados de sistemas de irrigação tipo pivô central. O Rio Santo Antônio recebe um grande aporte de nutrientes e demais insumos agrícolas, tanto por escorrimento de águas superficiais quanto por infiltração nos solos a partir desses empreendimentos. Esse rio é um dos principais tributários do Rio Quebra Anzol.

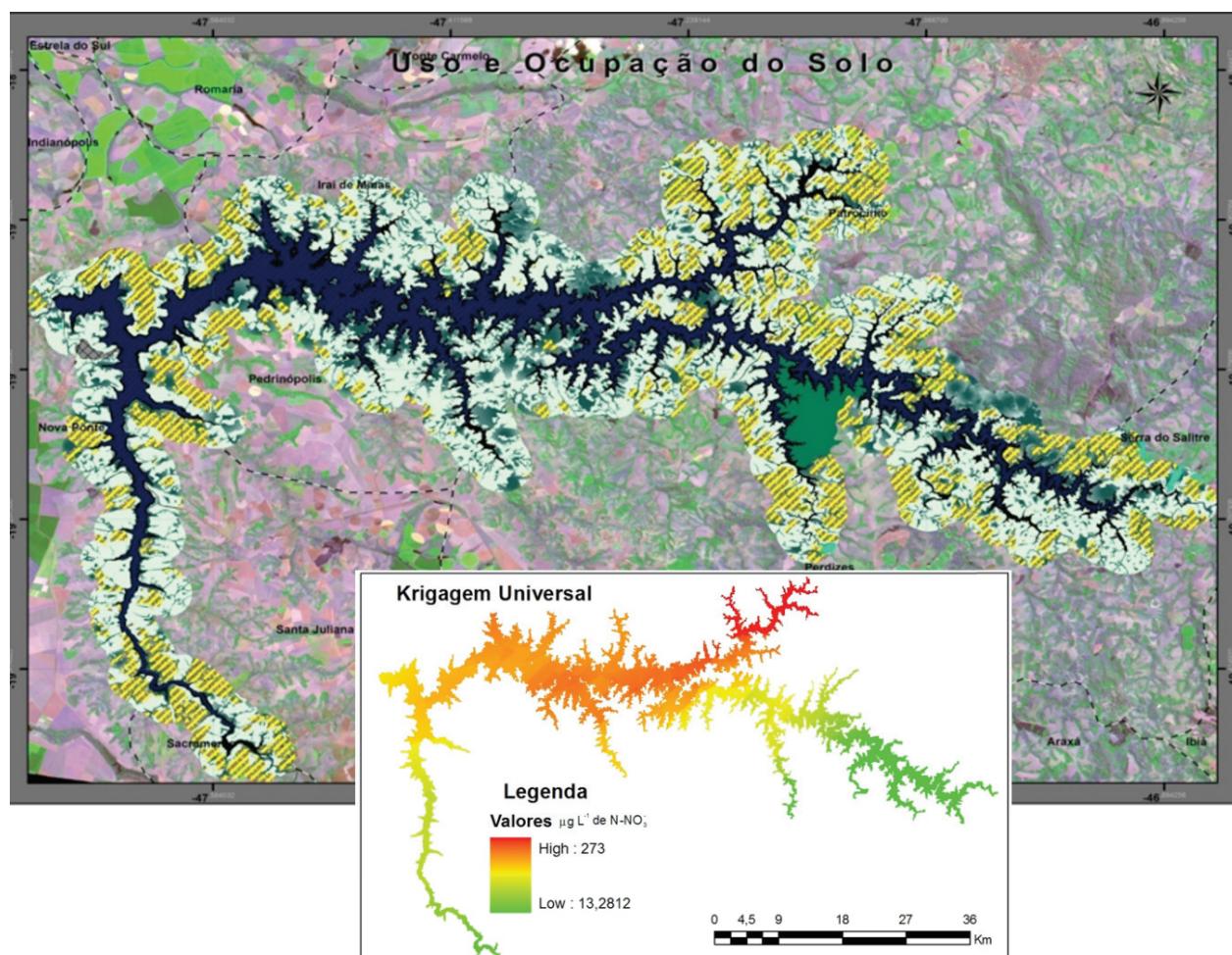


Figura 6.11 – Uso do solo no Reservatório de Nova Ponte, situado na região conhecida como Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais. O reservatório é formado pela junção do Rio Araguari, que corre no sentido sul-norte, com o Rio Quebra-Anzol, que corre no sentido leste-oeste. No encarte, a representação em um cartograma da “pluma” de poluição por nitratos (N-NO<sub>3</sub>). Dados de nitrato obtidos pelo Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatório – LGAR-UFMG. Cartograma feito pela Profa. Dra. Eliane Vieira (Unifei, Itabira, MG).

Pesquisadores do LGAR da UFMG, juntamente com seus colegas da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG) (Pinto-Coelho et al, 2012) estudaram intensivamente o Reservatório de Nova Ponte, entre os anos de 2007 e 2009. Os estudos limnológicos ali conduzidos revelaram que existe uma “pluma” de poluição por nitratos em um dos subeixos do Reservatório de Nova Ponte (Pinto-Coelho et al. 2009). Esse gradiente ambiental tem a sua origem no braço do rio Santo Antônio um dos tributários do rio Quebra Anzol que forma o sub-eixo do reservatório que fica situado mais ao norte (Fig. 6.11, no encarte). O cartograma maior da Figura traz, nas cores amarelo-achuradas, a ocupação agrícola do entorno do Reservatório de Nova Ponte. É evidente que o Rio Santo Antônio tem uma intensa ocupação agrícola. Como a atividade agrícola dessa região é feita basicamente por irrigação, os nitratos, por se tratar de uma espécie inorgânica do nitrogênio (N), podem ser usados como eficientes “traçadores” ambientais, uma vez que são capazes de infiltrar no solo, contaminar os aquíferos e, depois de percorrer um longo caminho nos aquíferos, novamente aflorar a jusante no Rio Santo Antônio. Portanto, existem fortes indícios de que a poluição por nitratos pode ser um bom indicativo para se avaliar os impactos das atividades agropastoris nos reservatórios tropicais brasileiros.



#### 6.4.3 - Reservatório de São Simão

O Reservatório de São Simão é o último reservatório existente no Rio Paranaíba, antes de juntar ao Rio Grande para formar o Rio Paraná. O Reservatório situa-se na divisa entre os estados de Minas Gerais e Goiás. Trata-se de um grande reservatório com mais de 711 km<sup>2</sup> de área inundada e um volume de água acumulado da ordem de 11,4 km<sup>3</sup> (Pinto-Coelho et al., 2013). Inúmeros tributários de importância chegam ao reservatório, além do próprio Rio Paranaíba. Dentre esses tributários, podemos mencionar os Rios Tejuco e Prata do lado do estado de Minas Gerais. Do lado goiano, temos os Rios Meia Ponte, dos Bois, São Francisco e Preto, todos drenando extensas bacias hidrográficas. Para se ter uma ideia da extensão dessas bacias, cerca de 25% da superfície do estado de Goiás tem suas águas drenadas para o Reservatório de São Simão.

O Reservatório de São Simão, assim como os dois reservatórios anteriormente citados, está situado em uma região de intensa ocupação agrícola, principalmente do lago de Goiás, enquanto predominam as atividades agropastoris do lado de Minas Gerais (criação de gado). Além disso, a pressão de urbanização já se faz presente no entorno do lago de São Simão. Cidades como Quirinópolis e São Simão estão se desenvolvendo rapidamente do lado de Goiás. Em Minas Gerais, merecem ser destacadas as cidades de Ituiutaba e Santa Vitória (Fig. 6.12).

Graças ao financiamento do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), o LGAR da UFMG liderou uma equipe multidisciplinar que se encarregou de realizar um amplo estudo de zoneamento ambiental no Reservatório de São Simão, entre os anos de 2010 e 2013 (Pinto-Coelho et al., 2014). Esse projeto visou estabelecer as bases para o desenvolvimento sustentável da aquicultura intensiva no reservatório.

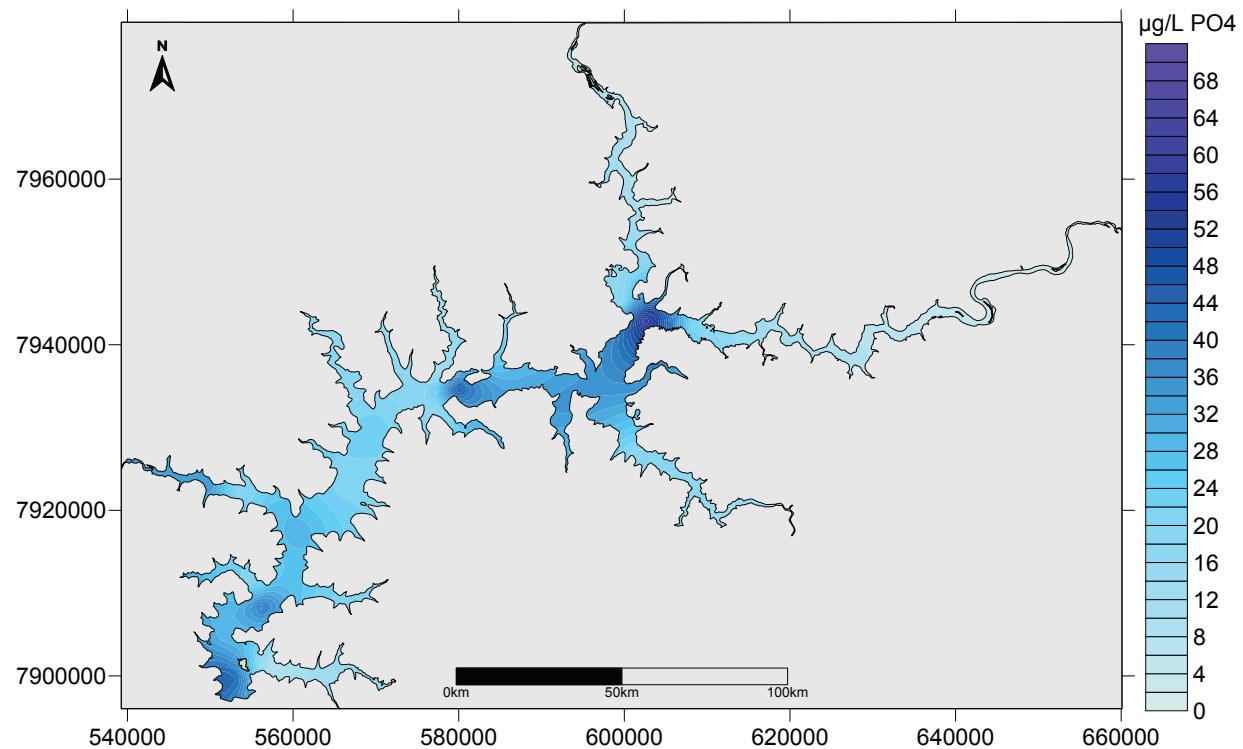


Fig. 6.12

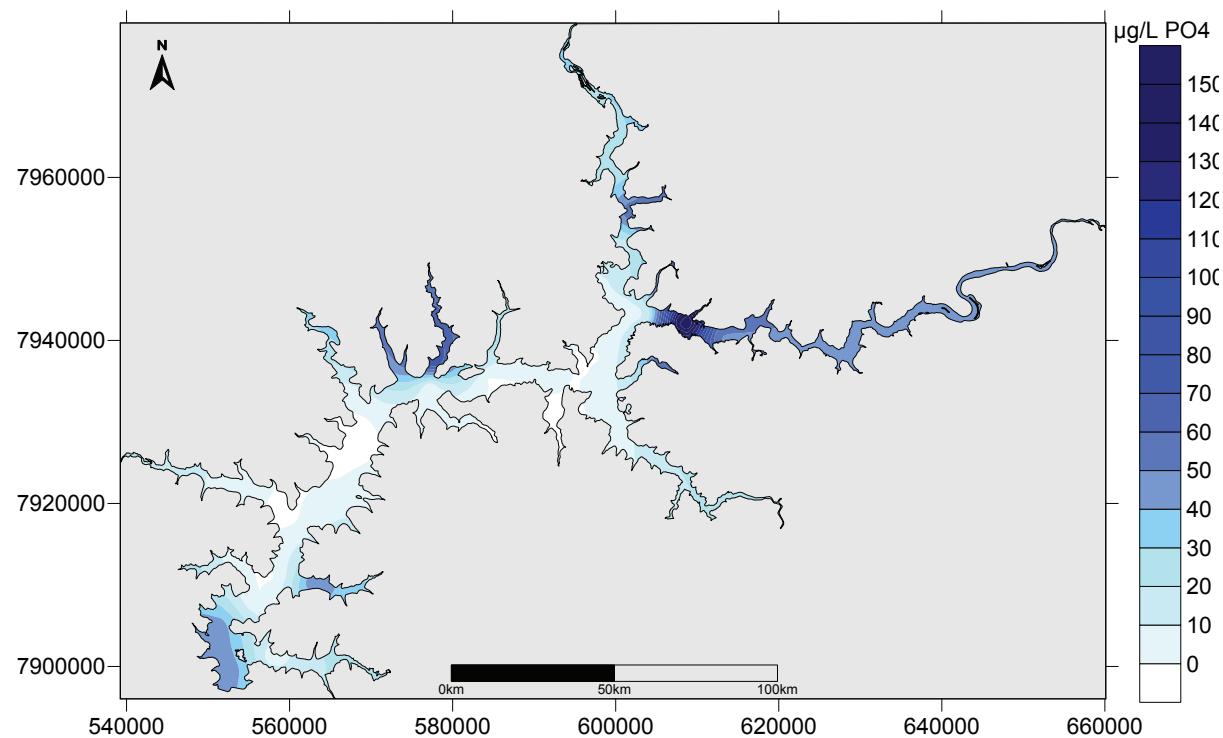


Fig. 6.12

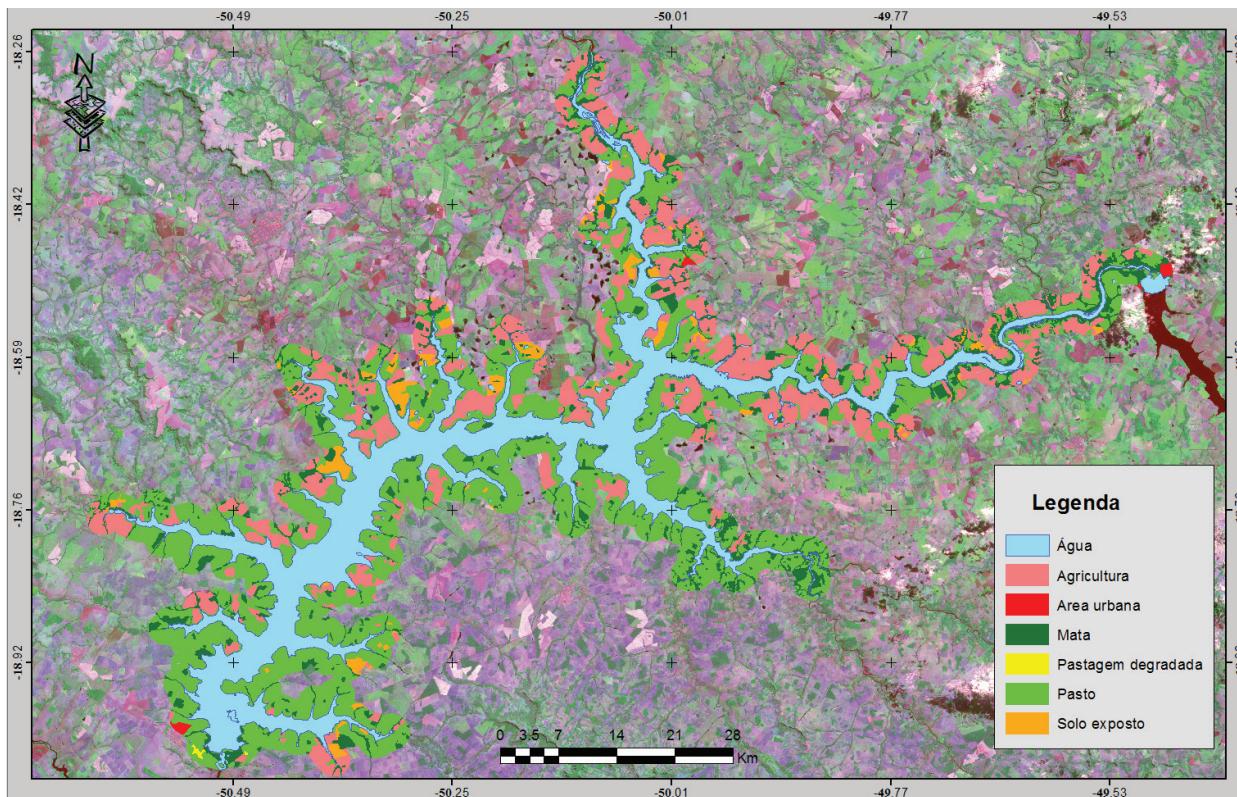


Figura 6.12 (Cont.) - Ocupação humana (grande encarte) e concentrações superficiais de fósforo total em duas épocas distintas (maio e outubro de 2012), encartes na página anterior, no Reservatório de São Simão. Todas as análises geoespaciais e de nutrientes foram feitas pelo Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios (LGAR) da UFMG.

Existe uma clara associação espacial entre os padrões de distribuição de concentrações superficiais de fósforo total na água do Reservatório de São Simão e a distribuição das atividades agrícolas do entorno. As atividades agrícolas, particularmente a cana-de-açúcar, são muito mais importantes do lado de Goiás. Os dois cartogramas com as concentrações de fósforo total ilustram muito bem o fato de que os braços do reservatório que banham o território de Goiás apresentam, em geral, maiores concentrações de fósforo total.

Os três estudos abordados neste capítulo representam casos típicos de impactos antrópicos que ocorrem não somente nesses reservatórios, mas em dezenas de outros espalhados pelo Brasil. Essas represas estão sofrendo uma rápida degradação ambiental tanto de suas águas e de sua biota, quanto do seu entorno. As atividades de mineração, agricultura, pecuária, silvicultura, a crescente industrialização e a pressão urbana exercem impactos importantes nesses sistemas que, pela sua própria natureza artificial, apresentam baixa resistência a distúrbios. Dessa forma, esses lagos estão propensos a exibirem uma grande variabilidade temporal, tanto na qualidade de suas águas quanto na estrutura de sua biota. Acreditamos que é chegada a hora de implantar, de fato, um zoneamento ambiental que mantenha todas as atividades humanas dentro da real capacidade de suporte desses grandes lagos artificiais.

## 7 - Estuários e Águas costeiras e estuários

As áreas litorâneas formam um amplo conjunto de ecossistemas muito diferentes entre si: praias arenosas e dunas, manguezais, restingas, barreiras de recifes, lagunas, enseadas e baías, costões rochosos, deltas e os estuários, dentre outros (Mann, 2000). Esses ecossistemas são muito importantes como provedores de serviços ambientais ao homem: alimento abundante e barato, assimilação de todo tipo de detritos e resíduos, proteção à erosão e contra intempéries vindas dos oceanos, ampla oferta de locais para o lazer e a recreação, dentre outros serviços (Mann, 2000).

Os ecossistemas localizados nas regiões litorâneas são caracterizados, sobretudo, por sua elevada produção biológica, grande riqueza e diversidade de espécies e formas de vida. Além disso, os ecossistemas costeiros exercem importantes funções reguladoras. São áreas propensas a sofrer grandes oscilações e flutuações advindas do ciclo das marés, e estão continuamente expostas a tormentas provenientes dos oceanos. Os estuários apresentam características funcionais únicas dentre todos os ecossistemas aquáticos. Essas áreas são importantes como “berçários”, servindo de abrigo e área para reprodução de centenas de espécies de peixes, aves, plantas, crustáceos, moluscos e outros tipos de microrganismos. Atuam, ainda, como “sistemas tampão”, impedindo que os efeitos de tormentas e outros eventos climáticos oriundos dos oceanos se propaguem pelos continentes adentro.

Apesar de serem sistemas altamente adaptados às flutuações climáticas e ambientais, com grande resiliência e resistência às intempéries naturais, os estuários e demais áreas costeiras demonstram também uma enorme fragilidade ambiental, já que são facilmente perturbados e, muitas vezes, de modo irreversível pelas atividades humanas.



### 7.1 - Estuários

Estuários são locais onde o fluxo de água doce, a partir dos rios, se encontra com a água salgada do mar. Esses ecossistemas são caracterizados por sofrer amplas flutuações ambientais (ciclo das marés, salinidade, temperatura etc.). A salinidade, por exemplo, oscila de acordo com o ciclo das marés. As plantas e animais desses ecossistemas estão perfeitamente adaptados a esse ritmo diário de oscilação do nível das águas e da salinidade. Muitas espécies, inclusive, necessitam desses ciclos para sobreviver. Os índices de salinidade vêm aumentando em muitos estuários ao redor do globo, devido principalmente a mações antrópicas. Dessa forma, é muito importante o constante monitoramento das condições de salinidade nos estuários (Ridd & Stieglitz. 2002; EPA, 2006).

Os estuários estão entre os ecossistemas mais produtivos do Planeta, mesmo quando são comparados às florestas tropicais (Longhurst et al. 1995). A eficiência de conversão de luz solar em biomassa vegetal dos estuários é até vinte e cinco vezes aquela encontrada em mar aberto e pelo menos oito vezes mais eficiente do que as eficiências típicas dos agroecossistemas.

A importância dos processos de produção e consumo de carbono, de ciclagem e exportação de biomassa e nutrientes que ocorrem dentro dos estuários e manguezais não fica restrita somente ao local onde esses processos ocorrem. Os estuários e zonas costeiras, principalmente aqueles localizados em áreas tropicais e subtropicais, não somente possuem uma alta biodiversidade, mas os processos ecológicos que ali ocorrem são, muitas vezes, essenciais, para todos os ecossistemas do entorno (Twilley et al. 1996).

Os impactos do metabolismo dos estuários propagam-se tanto à montante, nos rios que os alimentam quanto na plataforma continental e, ainda, nos diversos ecossistemas terrestres do entorno. Como exemplo, em apenas um estuário, na Flórida, EUA (Indian River Lagoon) existem mais de 3.000 espécies de animais e plantas, incluindo 381 espécies de peixes, 429 espécies de moluscos e 220 diferentes crustáceos (Smithsonian Institute Station, 2008).

Um estuário típico tem regiões distintas (Fig. 7.1): a foz do rio, que oferece água doce, nutrientes e sedimentos; uma área protegida formada por ilhas barreira que separa o estuário do mar aberto; regiões rasas ao longo da costa que suportam comunidades de plantas, tais como manguezais, restingas e amplas áreas cobertas por macrófitas submersas (sea grass beds). Finalmente, a zona de águas abertas que suporta, por sua vez, uma rica comunidade de organismos planctônicos, que formam a base de uma complexa teia alimentar que fornece os nutrientes e a energia para mamíferos aquáticos, aves, peixes, moluscos, crustáceos e vários outros tipos de animais.

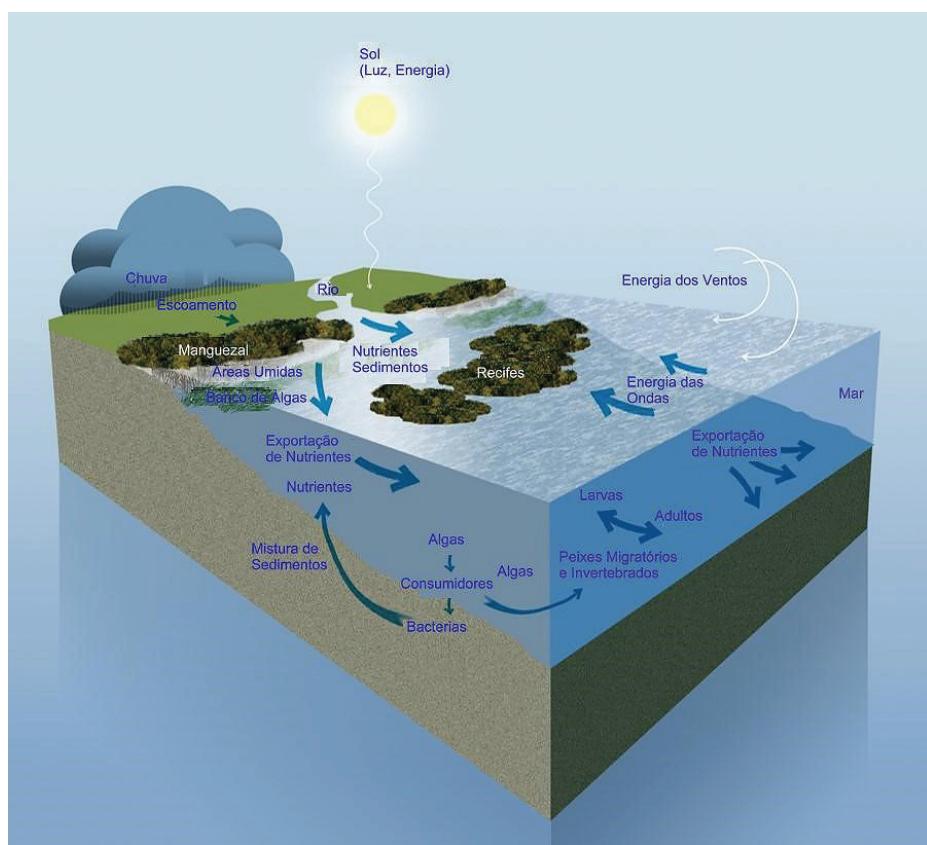


Figura 7.1 - Seção transversal de um estuário típico que mostra vários processos importantes relacionados com a água, sedimentos, movimento de nutrientes, estrutura e função de sua biota. Imagem reproduzida da Flórida Boletim Sea Grant Extensão Número 64, com a permissão do programa.

Os estuários são normalmente o “palco” para intensos conflitos entre os seus usuários. De acordo com a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA, EUA), trinta e duas das maiores cidades do mundo ocorrem na costa de um estuário. Infelizmente, os estuários estão posicionados em locais muito valorizados para a construção de casas e condomínios, já que são também locais privilegiados para a pesca, esqui aquático e várias outras modalidades de recreação aquática. Muitas vezes, importantes rotas de navegação cruzam os estuários (Fig. 7.2).



Figura 7.2- Fotografias que ilustram algumas características comuns observadas nos estuários. No canto superior à esquerda - canais sinuosos de água em um pântano salino (Foto: EUA National Oceanic and Atmospheric Administration); no canto superior direito – a entrada de alguns estuários normalmente aberta para o oceano, podendo fechar-se com sedimentos durante as tempestades, bloqueando a saída de água para o oceano (Foto: Conselho Municipal Shoalhaven, Nowra); inferior esquerda - fotografia aérea mostrando desenvolvimento urbano e residencial denso típico ao lado de um estuário, a região azul no lado direito da fotografia (Foto: Florida Sea Grant). No canto inferior direito - alguns estuários, como a Laguna Indian River, na Flórida, EUA, estão a salvo do mar aberto graças à proteção de uma barreira natural formada por ilhas de vegetação densa que se formam por deposição de dunas de areia ao longo da praia (crédito da foto: fonte desconhecida).



A grande proximidade entre as diferentes formas de usos humanos com o recurso natural estuarino coloca esses ecossistemas em constante risco: construção e dragagem de canais, despejo e poluição de toda sorte de efluentes líquidos, eutrofização devida ao aporte de matéria orgânica e excesso de nutrientes (N e P); assoreamento excessivo decorrente da intensa atividade de construção; poluição por resíduos sólidos (lixo), tais como plástico e outros detritos; danos físicos para as comunidades vegetais causados por intenso trânsito náutico associado a todo tipo de embarcações; exploração excessiva dos recursos pesqueiros, e introdução de espécies exóticas (Mann, 2000).

Estuários são também muito sensíveis às mudanças climáticas. Em algumas áreas do mundo, tem sido notada uma grande redução de escoamento de água doce (Ridd & Stieglitz, 2002), ao passo que os níveis do mar estão subindo. Esses dois fatores resultam em aumento da salinidade dos estuários, o que está causando uma grande perda de biodiversidade tanto em termos de animais quanto de plantas. Esses organismos evoluíram para viver em um ambiente com teores intermediários de sais dissolvidos na água. Mesmo onde não há uma mudança de vazões dos rios, o aumento do nível do mar vai inundar, ameaçar e muito a existência de uma grande variedade de habitats. É fato que muitos estuários não podem migrar rio acima e, portanto, muitas áreas estuarinas serão irreversivelmente perdidas e tornar-se-ão áreas abertas do mar.

Uma lista dos principais estuários do mundo, com informações adicionais mais detalhadas que podem ser obtidas nos "links", a seguir :

- Chesapeake Bay, o maior estuário da América do Norte e o segundo maior do mundo, uma área com mais de quinze milhões de pessoas em sua bacia hidrográfica, incluindo as cidades de Washington , DC e Baltimore , MD .

<http://omp.gso.uri.edu/ompweb/doee/science/descript/bayches.htm>

- Rio de la Plata, que separa o Uruguai e a Argentina , na costa sudeste da América do Sul . É o maior estuário do mundo e tem um grande divisor de águas que se inicia no Brasil.

<http://omp.gso.uri.edu/ompweb/doee/science/descript/rio.htm>

- St Lucia é um importante estuário situado na África do Sul. Ali, encontra-se a maior lagoa costeira da África.

<http://omp.gso.uri.edu/ompweb/doee/science/descript/stlu.htm>

- O estuário de Severn na Grã-Bretanha recebe água de cinco grandes rios. Cidades muito importantes do país estão localizadas em suas proximidades: Bristol e Cardiff.

<http://omp.gso.uri.edu/ompweb/doee/science/descript/severn.htm>

- O Mar Branco , que é um braço do Mar de Barents que forma um grande estuário na costa da Rússia. Ele recebe água a partir de numerosos rios .

<http://omp.gso.uri.edu/ompweb/doee/science/descript/ws.htm>

- Milford Sound é o estuário mais importante da , Nova Zelândia. É formado por um fiorde longo profundo onde água doce do degelo recobre água salgada do mar da Tasmânia .

<http://omp.gso.uri.edu/ompweb/doee/science/descript/milford.htm>



Alguns dos principais estuários e áreas estuarinas do Brasil: estuário do Rio Oiapoque (AP), setor costeiro estuarino amazônico, englobando os Rios Araguaia e Jari (AP), Baía de Macapá (AP), Complexo da Ilha de Marajó (PA), estuário e delta do Rio Parnaíba (PI), estuário das Guaribas (CE), estuário dos Rios Beberibe e Capibaribe (PE), estuário do rio Ipojuca (PE), estuário do rio Formoso (PE), estuário do Rio Vaza-Barris (BA-SE), estuário do Rio São Francisco (SE-AL), baía de Todos os Santos (BA), estuário do Rio Santana (Ilhéus, BA), estuários dos Rios Jequitinhonha e Mucuri (BA), Baía de Vitória (ES), Baía da Guanabara (RJ), Baía de Santos, estuário de Cananéia (SP), Baía de Paranaguá (PR), Baía de Guaratuba (PR), estuário do Rio Tramandaí (RS), Complexo da Lagoa dos Patos (RS), estuário do Arroio Chuí (RS), segundo Andrade-Tubino et al. 2008; Fidelman, 1999; Silva et al. 2010, Santos et al. 2013, Torres & El- Robrini, 2004.

## 7.2 - Zonas litorâneas e o homem

Dentre todos os ecossistemas aquáticos do Planeta, as zonas litorâneas destacam-se como aquelas submetidas ao maior stress advindo das atividades humanas. Extensas áreas litorâneas da América do Norte, Caribe, Mediterrâneo, extremo oriente e da Oceania (Austrália) estão fortemente comprometidas com a ocupação humana: intensa urbanização, extração de petróleo, grande concentração de redes e infraestrutura de transportes, intensa atividade de turismo e de lazer são algumas das principais atividades humanas responsáveis por essa tensão ecológica sofrida pelas áreas litorâneas. Muitas das principais cidades do mundo estão situadas nessa estreita faixa de terra (Fig. 7.3): Rio de Janeiro (Brasil), Nova Iorque (EUA), Tóquio (Japão), Los Angeles (EUA), Tel Aviv (Israel), Barcelona (Espanha), Cidade do Cabo (África do Sul), Sidnei (Austrália) etc.

### Grau de ocupação humana na faixa litorânea nos continentes

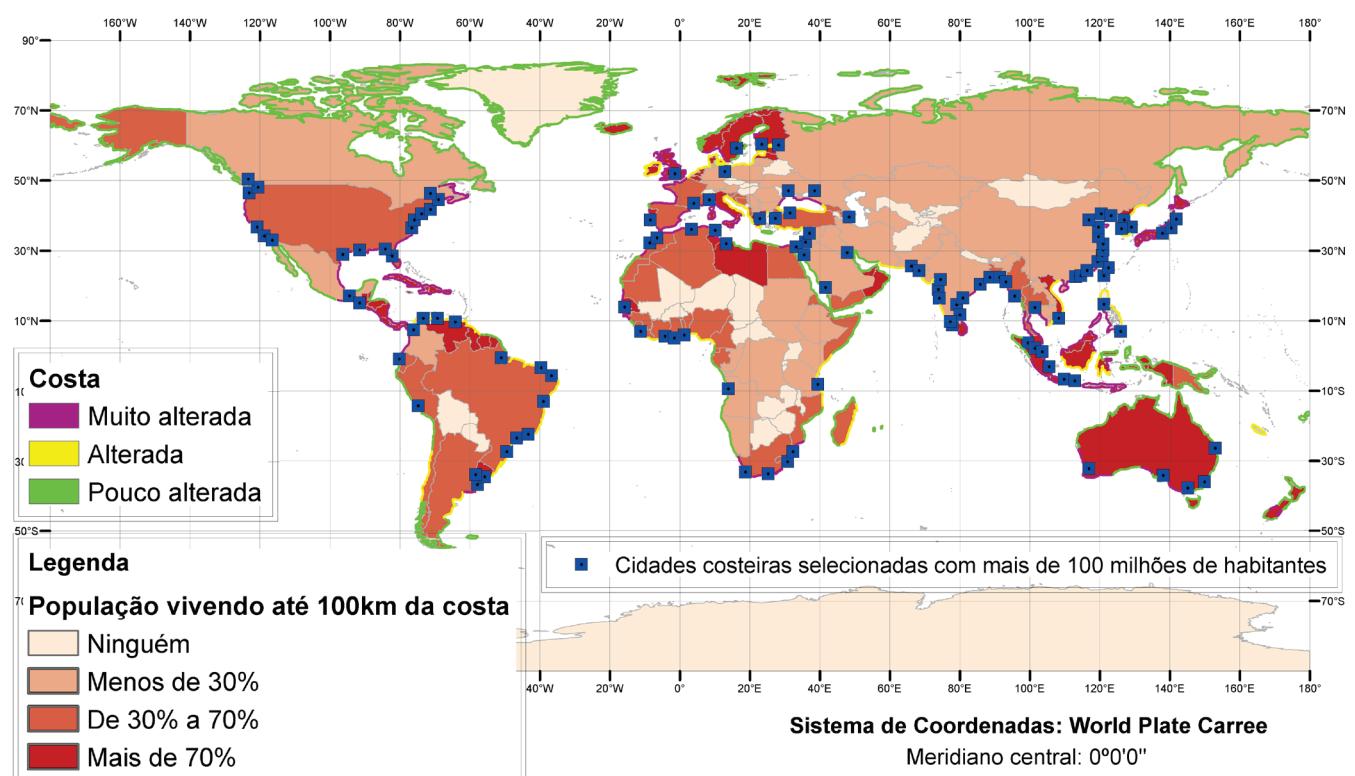


Figura 7.3 – Grau de ocupação humana na faixa litorânea dos continentes. Modificado da Fig. 7.24, pág. 340 UNEP-GEO 4 (2007) e Harrison & Pearce (2001).



Uma das características que unem quase todos os sistemas costeiros do mundo é a elevada densidade populacional que ocorre nessas áreas. Aí vivem cerca de 500 milhões de pessoas. Considerando as diversas ameaças destacadas, pode-se esperar que vários organismos nacionais e internacionais dediquem-se ao estudo das zonas litorâneas, dos deltas, estuários e demais ecossistemas costeiros. Um bom exemplo, nesse sentido, é o grupo DeltaNet (<http://www.deltanet-project.eu>), uma grande rede de pesquisadores financiada pela União Europeia (EU). Recentemente, a DeltaNet promoveu a Conferência Internacional sobre o Impacto das Alterações Globais em Deltas, Estuários e Lagoas Costeiras, que teve sua sede no Instituto de Investigação e Tecnologia AgroAlimentar (IRTA), da Espanha.

A Conferência *DeltaNet* no IRTA debateu estudos e relatórios relativos à gestão de sedimentos e cheias nos deltas e estuários a partir de dados e pesquisas oriundos de diversos continentes. Os especialistas concordaram em salientar a fragilidade desses sistemas. O aumento do nível do mar, a crescente compactação do solo (subsidiência) e as mudanças climáticas são as principais ameaças. Foram analisados exemplos de boas práticas para uma melhor adaptação diante das alterações climáticas previstas e das alternativas de recuperação, proteção e gestão desses ecossistemas perante outros impactos causados pelo homem.

A construção de reservatórios a montante tem limitado muito a entrada de sedimentos nas regiões costeiras em todo o Planeta. Um dos pontos centrais dessa conferência foi a recomendação a todos os governos nacionais para que haja uma reposição do fluxo de sedimentos interrompido pela intensa construção de barragens e aumento drástico das captações de água a montante. Outro ponto importante é o crescente risco de eventos de cheias nos estuários e deltas, bem como a crescente salinização dos estuários. O DeltaNet considera urgente a necessidade de adoção de um manejo mais efetivo que garanta a sobrevivência dos deltas e estuários em todo o mundo.

## 7.3 - Casos de estudo

### 7.3.1 - A baía de Apalachicola, Golfo do México, E.U.A.

Esta baía situa-se no extremo noroeste do Golfo do México, EUA (Fig. 74). A bacia de drenagem desse estuário estende-se desde o estado da Flórida até os estados da Geórgia e Alabama, ao norte. A bacia é composta por dois rios principais (Rio Flint e Rio Chattahoochee) que, juntos, formam o Rio Apalachicola, que tem a sua foz na baía do mesmo nome. Historicamente, esse sistema fluvial era o 13º maior nos EUA com base no fluxo de suas águas. No entanto, nas últimas décadas, o fluxo desse sistema sofreu uma grande redução. Essa redução foi causada por ações do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA que construiu barragens eclusas para a navegação. Adicionalmente, houve uma crescente captação das águas da bacia, seja ela de poços que usam a água subterrânea, seja pelo bombeamento direto das águas dos lagos e rios para usos urbanos (dentre estes o abastecimento da cidade de Atlanta, Geórgia) e também para intensivo uso agrícola.

Um fluxo adequado de água doce na Baía de Apalachicola é importante, pois esse ecossistema suporta uma das maiores atividades de cultivo e pesca de ostras comerciais nos EUA. Dali, saem 90% das ostras frescas consumidas na Flórida e mais de 10% das ostras frescas consumidas em todos os EUA. A baía também é o habitat de uma variedade de outras espécies, incluindo moluscos, crustáceos e peixes ósseos. Esses animais sempre prosperaram por causa de um equilíbrio delicado entre a água doce e a água salgada, o qual sempre foi mantido pela entrada de água doce oriunda do Rio Apalachicola. Os nutrientes trazidos pelo rio possibilitam a existência de uma teia alimentar responsável pelas altas produções de ostras, camarões e peixes (Chanton e Lewis, 2002).



**Déficit de água na região sudeste dos EUA - Verão de 2012**

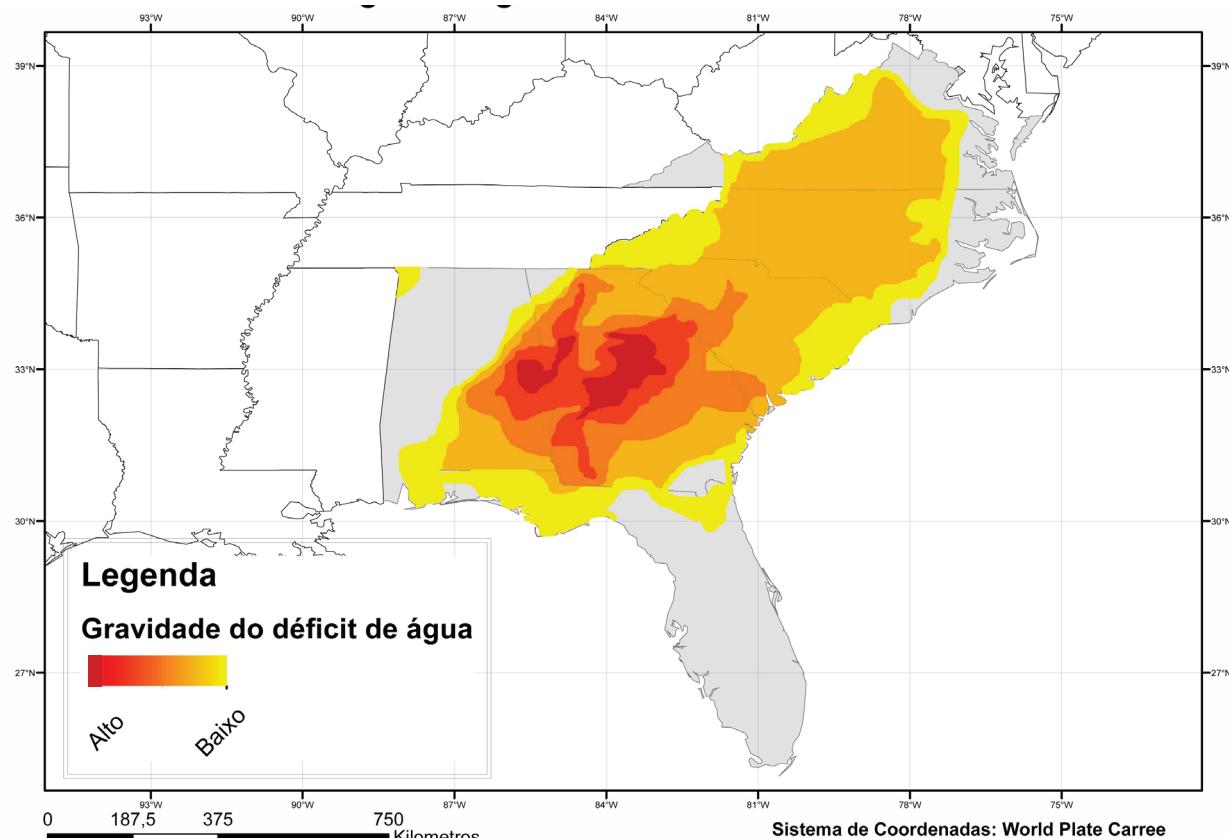


Figura 74 - Mapa do Serviço Americano de Mitigação das Secas dos EUA, para o verão 2012. As cores mais fortes indicam a gravidade do déficit de água. Assim, as cores mais escuras correspondem a locais mais secos. A área castanho-escura fica diretamente sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Apalachicola, e durante dois anos foi o lugar mais seco em todos os EUA

No período 2011-2013, uma seca histórica atingiu toda a Bacia Hidrográfica do Rio Apalachicola. Os fluxos foram reduzidos ao nível mais baixo considerando os 89 anos de manutenção de registros. A salinidade na baía aumentou para níveis próximos ao observado no mar. Quando isso aconteceu, muitos predadores marinhos, parasitas e patógenos oriundos do Golfo do México entraram pela baía e impactaram as ostras. No final de 2013, a população de ostras entrou em colapso por causa da alta mortalidade juvenil (Havens et al. 2013). Em resposta, o Estado da Flórida tomou medidas legais contra o Estado da Geórgia, pedindo que uma quantidade de água passasse a ser reservada para o estuário. Foi determinada a vazão mínima que permitisse proteger as ostras. No momento em que se elaborou esse livro, a ação judicial estava pendente e não se constatou nenhuma colheita comercial de ostras nesseano de 2014. Mais de 2.000 pessoas na indústria da ostra estão sem trabalho (Fig. 7.5).



Figura 7.5 - Acima: colheita de ostras na Baía de Apalachicola usando a metodologia tradicional que consiste em hastes de madeira dotadas de grades que são capazes de recolher os organismos criados em gaiolas flexíveis de plástico dispostas sobre os sedimentos, logo abaixo das áreas afetadas pelo ciclo das marés. Embaixo, à esquerda, retirada da haste cheia de ostras. Embaixo, à direita, uma ostra coletada na baía no início de 2013, mostrando os impactos de vários parasitas que perfuram a concha e consomem o tecido vivo do molusco (Foto: Andrew Kane, Departamento de Patologia Aquática, da Universidade da Flórida).

Este é um exemplo clássico de atividade comercial que existe há mais de um século na região e que foi afetada de modo dramático pela combinação de mudanças induzidas pelo homem no fluxo do rio e também em decorrência da seca (provavelmente causada pelas mudanças climáticas, também associadas às atividades humanas). A atividade de pesca de ostras na Baía de Apalachicola pode não ser mais viável, se as secas, como a que ocorreu em 2012-2013, continuarem a assolar a região.

## 8 - Aquíferos

Aquíferos são formações geológicas subterrâneas capazes de armazenar água. Esses grandes depósitos de água são alimentados pela precipitação atmosférica, que traz a água dos mares aos continentes, que acaba por adentrar nos aquíferos através do mecanismo da infiltração em suas áreas de recarga (Fig. 8.1).

A água subterrânea, como um componente do ciclo hidrológico, está em constante circulação e flui, de modo geral, lentamente, pelos poros da rocha. Os aquíferos contêm, ao mesmo tempo, rochas com características porosas e permeáveis e impermeáveis que formam estruturas geológicas capazes de armazenar e ceder água. Um dos parâmetros que influenciam o fluxo da água subterrânea é a permeabilidade. Já a porosidade é a propriedade que determina a quantidade de água que pode ser armazenada em uma rocha. A porosidade é determinada pelo volume de poros vazios em relação ao volume total da rocha (Iritani & Ezabi, 2012).

### Aquíferos confinados e não confinados

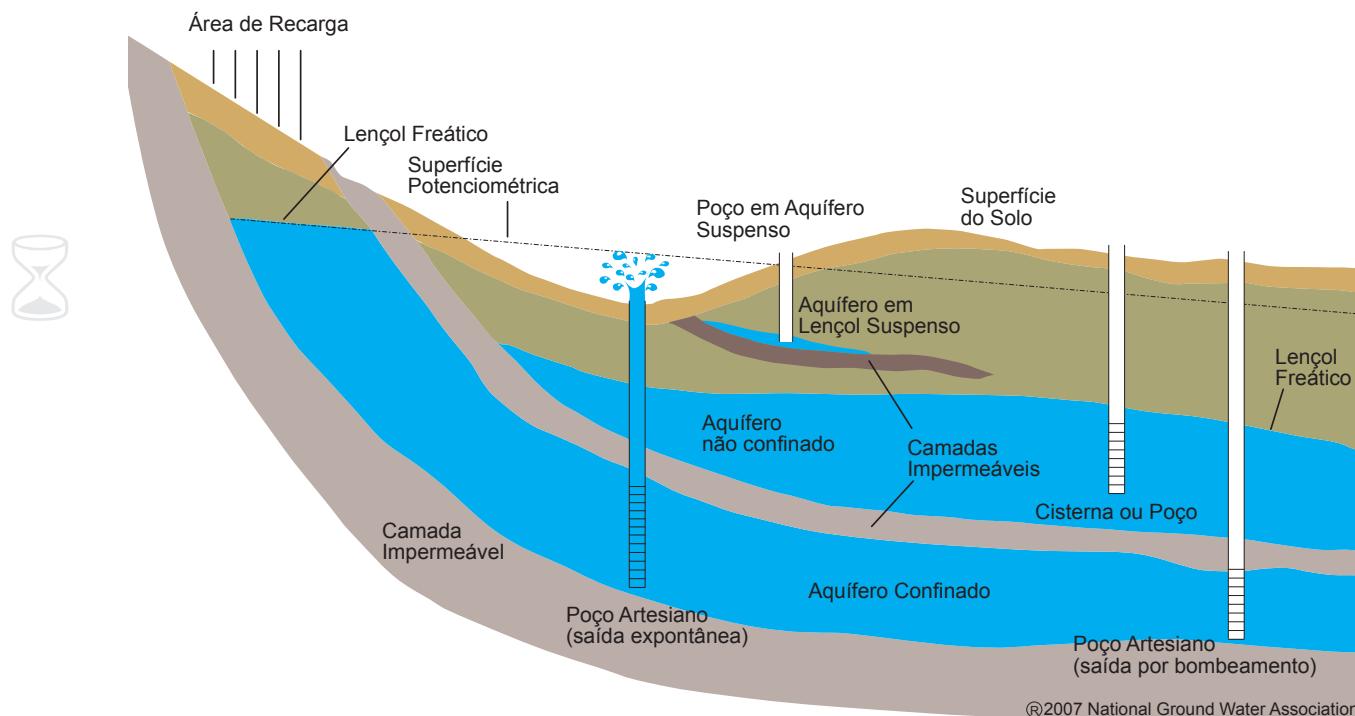


Figura 8.1- Tipos de aquíferos confinados e não confinados que mostram as diferenças entre mina de água (cisterna), poço freático, poço artesiano e poço artesiano de água com pressão, bem como uma representação do lençol freático

A água dos aquíferos vêm sendo usada pelo homem desde a antiguidade e são, em muitos casos, as únicas fontes de água para muitas populações humanas. A capacidade de armazenamento de água de um aquífero depende da extensão e espessura da camada de rochas permeáveis à água ou de material não consolidado (seixos, areia ou silte) do qual se pode extrair água por meio de um poço (Fig. 8.1).

A crosta terrestre pode ser dividida em dois compartimentos: (1) a zona saturada ou freática (i.e: os aquíferos, propriamente ditos) onde todos os espaços disponíveis estão ocupados pela água; (2) a zona não saturada é caracterizada pela existência de espaços não ocupados pela água. A pressão da água na zona saturada é geralmente maior do que a pressão atmosférica. Um poço, ao atingir essa zona, irá

permitir que a água jorre sem qualquer bombeamento. A pressão da água nas zonas não saturadas não é suficiente para a extração livre e água necessita de ser bombeada para a superfície. O limite entre essas duas zonas é conhecido como sendo o lençol freático (*water table*).

Os aquíferos podem ser divididos em duas grandes categorias: os aquíferos de baixa permeabilidade, ou aquíferos confinados (1) e os não confinados (2), que são mais permeáveis e usualmente estão conectados a nascentes.

Os aquíferos do tipo confinados (1) possuem, em geral, uma baixa condutividade hidráulica (Schwartz & Zhang, 2003). Esses são, na realidade, os dois limites para o espectro de uma série de aquíferos encontrados na crosta terrestre. Os aquíferos não confinados ou freáticos (2), têm como seu limite superior o lençol freático. O lençol freático (*water table*) e a zona não saturada são conceitos importantes. O lençol freático é determinado pela profundidade que a água atinge em um poço livremente perfurado no solo. Acima dessa profundidade, temos a zona não saturada.

Tipicamente, o aquífero mais superficial encontrado em uma dada região é do tipo não confinado. A distinção geológica entre esses dois extremos não é clara. Podem ser diferenciados pela velocidade de recomposição do estoque de água existente em seu interior. Essa velocidade depende de variáveis, tais como, taxa de expansão ou taxa de compressão da água existente dentro do aquífero. Contudo, é possível fazer alguns testes de campo para verificar o grau de confinamento (*specific yield*) de um dado aquífero.

A quantidade de água de um aquífero pode ser expressa através de três variáveis distintas: capacidade de estocagem ( $E$ ), capacidade específica de estocagem ( $E_s$ ) e produção específica ( $P_s$ ).

Em um aquífero confinado, temos a seguinte igualdade:

$$E = E_s \cdot b \quad [1]$$

Onde  $b$  é a espessura do aquífero



Em um aquífero não confinado, temos a igualdade

$$E = P_s \quad [2]$$

A capacidade de estocagem de um aquífero ( $E$ ) pode ser entendida como o volume de água liberado pelo aquífero expresso em relação ao volume total do aquífero. Trata-se de uma medida adimensional que varia entre zero e a porosidade específica do aquífero. Os aquíferos confinados possuem, em geral, valores bem baixos de  $E$ .

Aquíferos confinados (1) possuem valores de  $E$  que variam entre  $10^{-2}$  e  $10^{-5}$ . Os aquíferos não confinados (2) possuem essa taxa muito maior, geralmente acima de  $10^{-2}$ , que corresponde a 1,0% do volume bruto de água no aquífero.

Os aquíferos não confinados são capazes, portanto, de liberar a água contida no seu interior por drenagem direta (que depende do tamanho dos poros do material que compõe o aquífero), em grandes quantidades, sendo assim facilmente exauridos em caso de exploração acima de sua capacidade de suporte.

Os aquíferos ocorrem tipicamente em zonas saturadas que permitem uma melhor exploração econômica da água. Os "aquitardos" são zonas caracterizadas por impedir o fluxo de água de um aquífero para outro. Quando essas estruturas são completamente impermeáveis à água temos um "aquiclude" ou "aquiúfugo".

A água pode subir acima do lençol freático por capilaridade saturando, às vezes, espaços acima do lençol. A esse processo dá-se o nome de "subida capilar" da água. Esse processo é dependente da

natureza dos solos. Em solos arenosos, essa capilaridade é muito menor do que em solos argilosos, uma vez que, nestes últimos, o tamanho dos poros é muito menor, o que permite uma maior ação das forças adesivas das partículas do solo sobre a água. A água pode subir por esse mecanismo de 0,2 a 10,0 metros, dependendo do solo da região.

Os aquíferos podem ser isotrópicos ou anisotrópicos. Quando o fluxo de água dentro do aquífero ( $K$ ) ocorre de modo homogêneo em todas as direções, temos um aquífero isotrópico. O fluxo de água dentro de um aquífero tem duas componentes: horizontal ( $K_h$ ) e vertical ( $K_v$ ). Aquíferos semiconfinados geralmente são anisotrópicos com valores muito diferenciados de  $K_h$  e  $K_v$ . Essas variáveis são importantes no desenho e posicionamento dos poços e, muitas vezes, não são levadas em consideração, o que prejudica em muito a performance dos poços.

Em áreas montanhosas ou próximas aos rios, os principais aquíferos ocorrem em depósitos aluviais compostos de camadas horizontais de material sedimentar não consolidado normalmente camadas alternadas de material fino e grosso. Nessas áreas, ocorre, normalmente, a recarga dos aquíferos (Fig. 8.2).

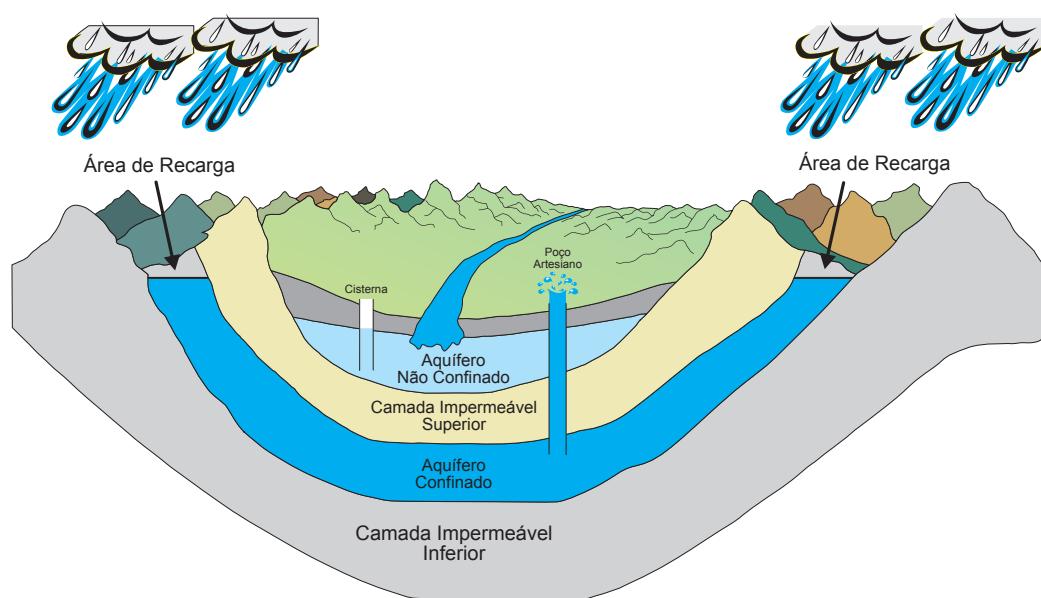


Figura 8.2 – Relações entre os aquíferos não confinados e os aquíferos confinados que podem ter a sua zona de recarga próxima ou em zonas montanhosas ou em encostas de elevações de planície para planalto.

Normalmente, as camadas mais finas estão mais distantes dos cursos d'água, enquanto as camadas de material mais grosso estão mais próximas dos rios, e também podem estar conectadas com fontes de água e nascentes, ou seja, há uma comunicação hidráulica com a superfície, já que essas camadas geralmente não conseguem ficar confinadas.

Os aquíferos podem ocorrer a várias profundidades. Aquíferos localizados a profundidades menores são mais facilmente usados pelo homem e têm uma velocidade de recarga muito maior. Em áreas desérticas e montanhosas, é comum ocorrerem aquíferos em leito de arenito. Esses aquíferos têm sido usados há séculos pelo homem nas montanhas Atlas no norte da África, em áreas montanhosas do Oriente Médio e nas montanhas de Jebel em Omã. Também estão presentes, por exemplo, na Sierra Nevada, no Estado do Novo México (EUA). Esses tipos de aquíferos rasos podem facilmente ser explorados e sua capacidade de recarga é insuficiente para mantê-los. Em decorrência, ocorre um abaixamento do lençol freático e, se os aquíferos estão próximos à costa, há a subsequente entrada de água salgada e o aquífero torna-se imprestável ao uso. Isso foi o que ocorreu em vastas áreas em Omã e na Líbia também. Os aquíferos rasos podem ser facilmente contaminados por fertilizantes, agrotóxicos e outros poluentes, advindos do intenso uso do solo pelo homem. O estudo dos aquíferos, isto é, a sua dinâmica, o seu fluxo

e a sua qualidade de água é objeto de uma ciência, a Hidrogeologia.

Deve-se aqui distinguir os aquíferos dos depósitos de água corrente subterrânea, os rios e mesmo pequenos lagos subterrâneos, comuns em áreas calcárias ou em grandes frestas ou fissuras existentes na crosta terrestre. Essas estruturas estão em geral associadas às cavernas e podem formar grandes coleções de água em contato direto ou não com as águas superficiais. Esses corpos de água não devem ser tratados como aquíferos *sensu strictu*. São áreas especiais passíveis de ser conservadas dada a riqueza da biota ou a grande beleza cênica que apresentam.

## 8.1 - Principais Aquíferos do Mundo

Existem aquíferos em quase todas as partes do mundo (Fig. 8.3). Entretanto, em muitos casos, estão sendo seriamente ameaçados pelas atividades humanas. Isso é particularmente verdadeiro para os aquíferos rasos que contêm água doce, são recarregados pelas águas das chuvas e localizam-se próximos aos oceanos. Em muitos casos, tem sido relatada a perda total do aquífero por causa de uma intrusão irreversível de água salina. Em outros casos, o bombeamento excessivo faz com que os aquíferos se contaminem com metais e outras substâncias minerais tóxicas, tais como a contaminação com arsênio ou com nitratos.

Dentre as atividades humanas que mais dependem dos aquíferos, estão o consumo humano e a irrigação. Muitas cidades de todos os tamanhos, em todo o mundo e inclusive no caso brasileiro, têm o seu principal suprimento de água a partir de aquíferos. Tanto aquíferos confinados, quanto os não confinados têm sido usados em escalas crescentes pelo homem. Entretanto, o uso de aquíferos confinados situados a profundidades maiores confere uma maior proteção contra os agentes contaminantes provenientes das diferentes atividades humanas.

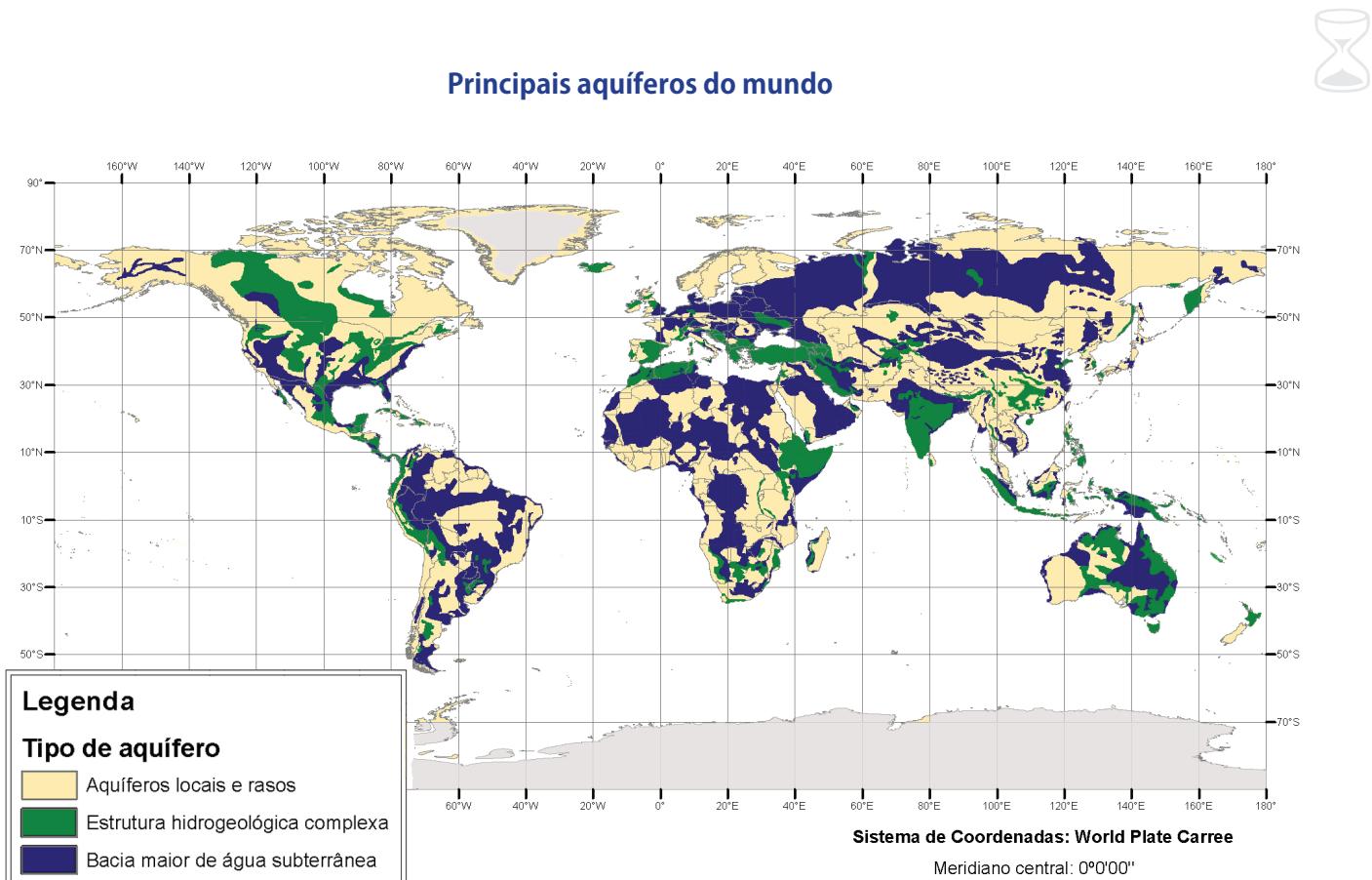


Figura 8.3 – Principais aquíferos do mundo com sua tipificação em aquíferos rasos e de importância local; grandes bacias regionais e aquíferos com estrutura hidrogeológica complexa. Fonte: UNESCO, PHI.

Em 2013, foram descobertos aquíferos de grandes proporções na África, Austrália, China e também na América do Norte. Esses aquíferos possuem, no conjunto, um volume de 500.000 km<sup>3</sup> e foram formados na última era glacial.

O aquífero da grande bacia artesiana na Austrália é, provavelmente, o maior do mundo (área ocupada de 1,7 milhão de km<sup>2</sup>). As águas desse aquífero são fornecidas a várias cidades da Província de *Queensland*, bem como para regiões remotas da Austrália austral.

O Aquífero Guarani estende-se do norte da Argentina a sudeste e centro-oeste do Brasil e cobre vastas áreas do Paraguai (Fig. 8.4). Trata-se igualmente de um dos maiores aquíferos do mundo e cobre uma área de aproximadamente 1,2 milhão de km<sup>2</sup>. O volume de água acumulado nesse aquífero sul-americano chega a 40.000 km<sup>3</sup>, com espessuras que variam entre 50 e 800 metros e uma profundidade máxima de 1.800 metros.

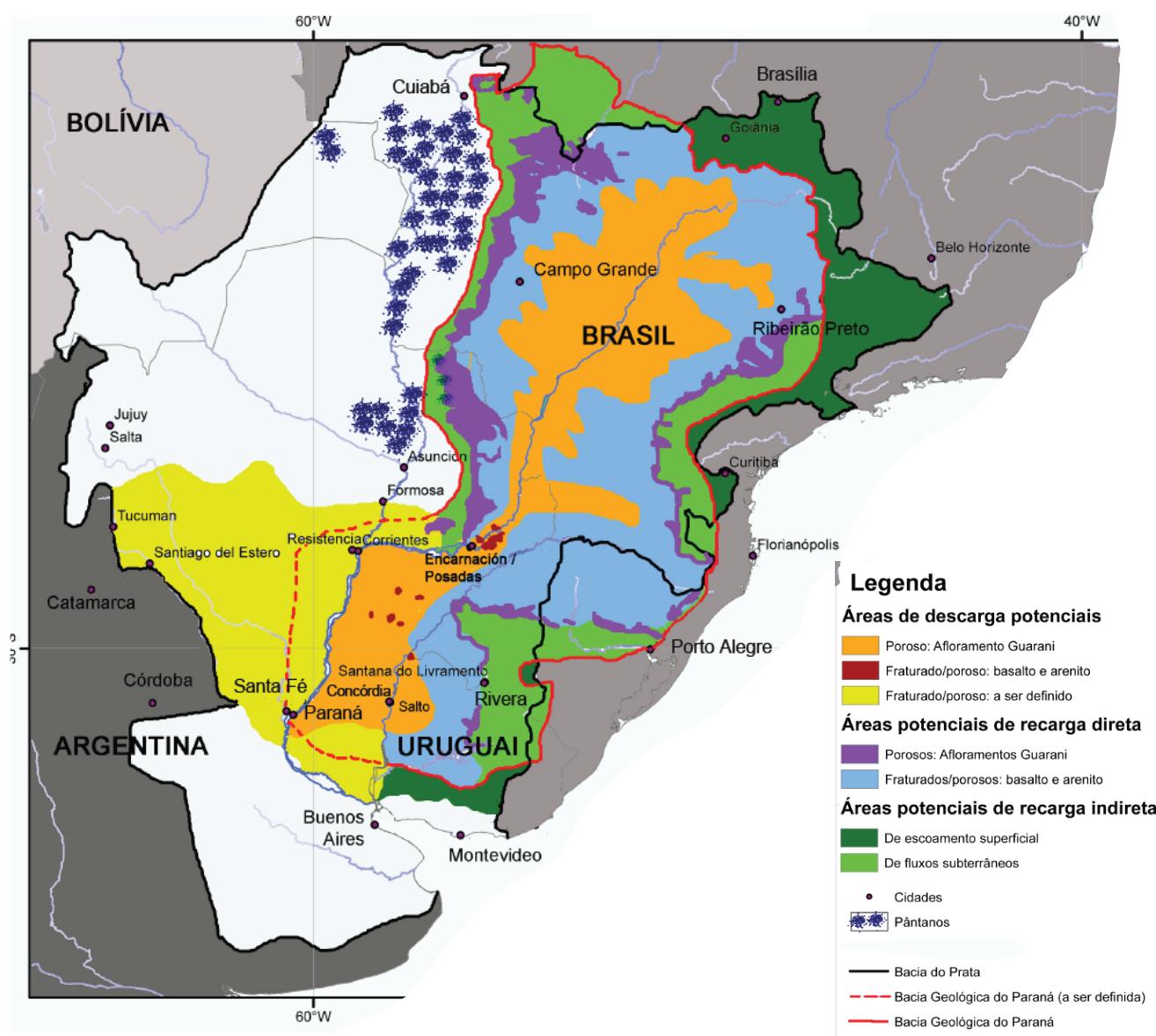


Figura 8.4 – Aquífero Guarani ocupa extensas áreas no Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. Fonte: UNESCO/WWDR#13, pg. 221 (2009).

## 8.2 - Uso global dos aquíferos

A água está sempre presente no solo e nas rochas, só que em diferentes quantidades. Muitos acreditam que a água dos aquíferos é infinita e que basta perfurar o solo e coletá-la para diferentes usos. Entretanto, essa água pode não ser água doce ou água com uma boa qualidade para o consumo humano.

O uso intensivo de aquíferos pode ser observado em muitos países do mundo, tais como a Índia, China, Japão, países do Oriente Médio (Turquia e Irã), países europeus (principalmente Itália e os países baixos). Nas Américas, os principais usuários dos aquíferos são os Estados Unidos, México, Peru, Argentina e as regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, particularmente o Estado de São Paulo (Fig. 8.5).

Em virtude do grande aumento nas diversas formas de usos dos aquíferos, o Programa Hidrológico Internacional (PHI), órgão deliberativo da UNESCO adotou como uma de suas prioridades, a conservação, a recuperação e o estímulo ao uso sustentável dos aquíferos (UNESCO-PHI, 2011).

Apesar das ameaças do homem, o uso racional de aquíferos pode acelerar o desenvolvimento e promover o bem-estar a nações inteiras e, também como também ser um alvo estratégico em guerras. Um exemplo, nesse sentido, é o caso do projeto “grande rio artificial feito pelo homem” (*Great Manmade River project*) levado a cabo na Líbia. Esse projeto foi responsável por um grande surto de desenvolvimento no país e, em parte, foi destruído na guerra entre a Líbia e a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), em março de 2011, deixando milhões de pessoas sem água (Fig. 8.6).

O desenvolvimento humano, por outro lado, tem disponibilizado novas tecnologias de gestão e conservação de aquíferos. Dentre essas técnicas, podemos citar a recarga artificial de aquíferos. Esse método consiste em uma injeção forçada de água superficial nos aquíferos que pode ser feita em tempos de chuvas abundantes, diminuindo inclusive os efeitos desastrosos das chamadas “*flash floods*” tão comuns em áreas áridas e semiáridas.



**Grande Rio Artificial da Líbia**

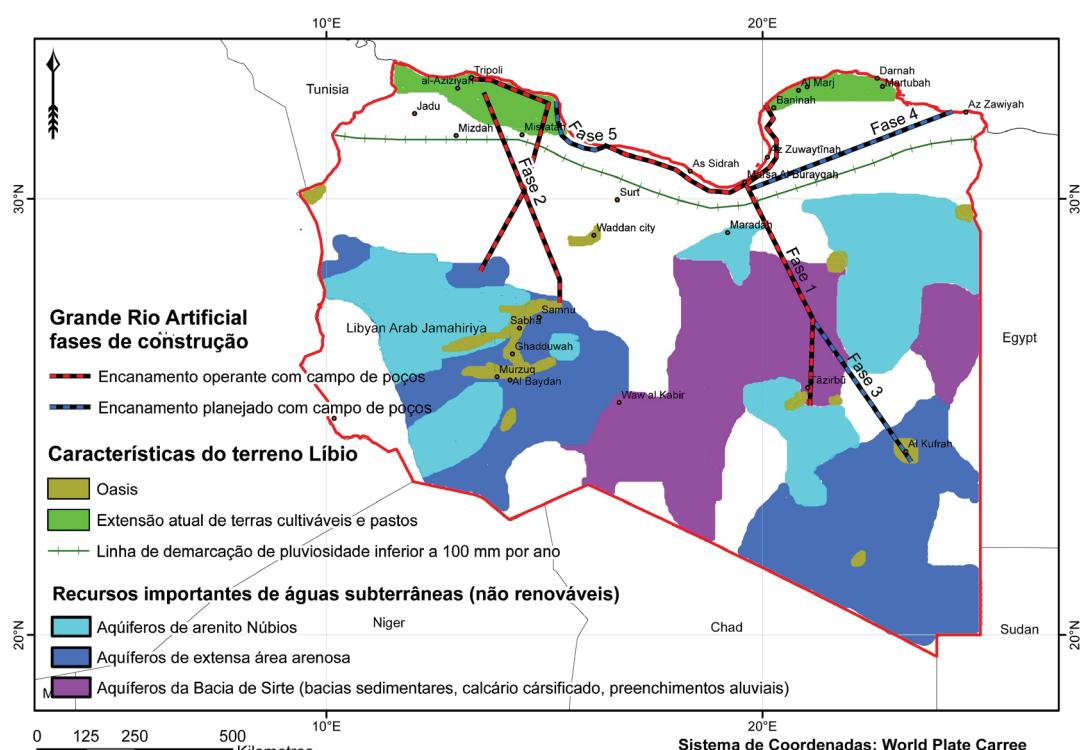


Figura 8.6 – O projeto “grande rio feito pelo homem” (*Great Manmade River Project*) existente na Líbia. A primeira fase foi inaugurada em agosto de 1991 e levou 2 milhões de metros cúbicos de água por dia para as cidades de Bengíazi e Sirte. A fase 2, inaugurada uma década depois, levou mais 1 milhão de metros cúbicos para a capital Trípoli e regiões costeiras do país. As fases subsequentes (3 e 4) aumentam ainda mais a capacidade do sistema. O projeto foi parcialmente destruído na guerra com a OTAN, em março de 2011, por razões estratégicas.

## Intensidade de Exploração de Águas Subterrâneas no ano 2000

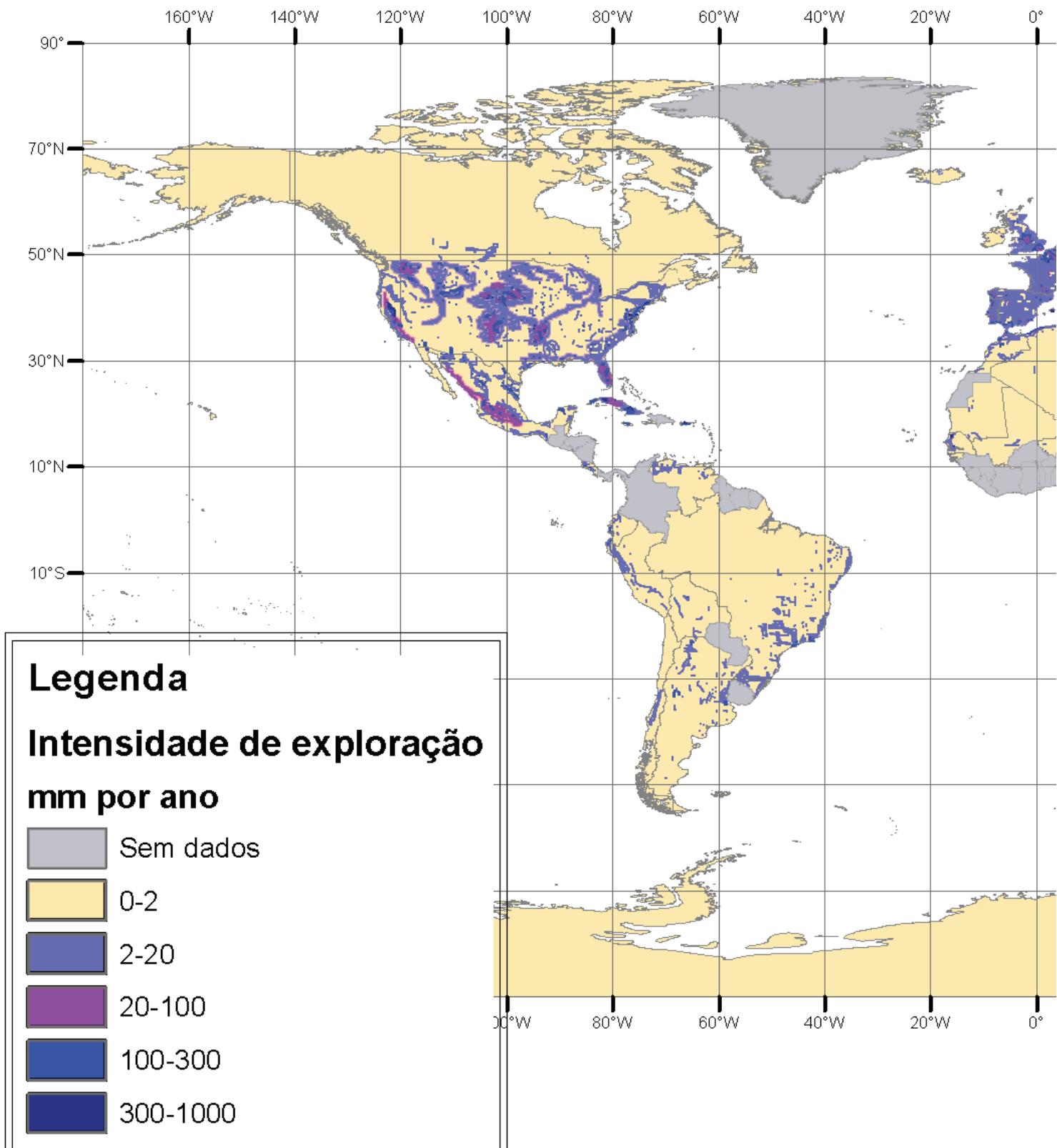
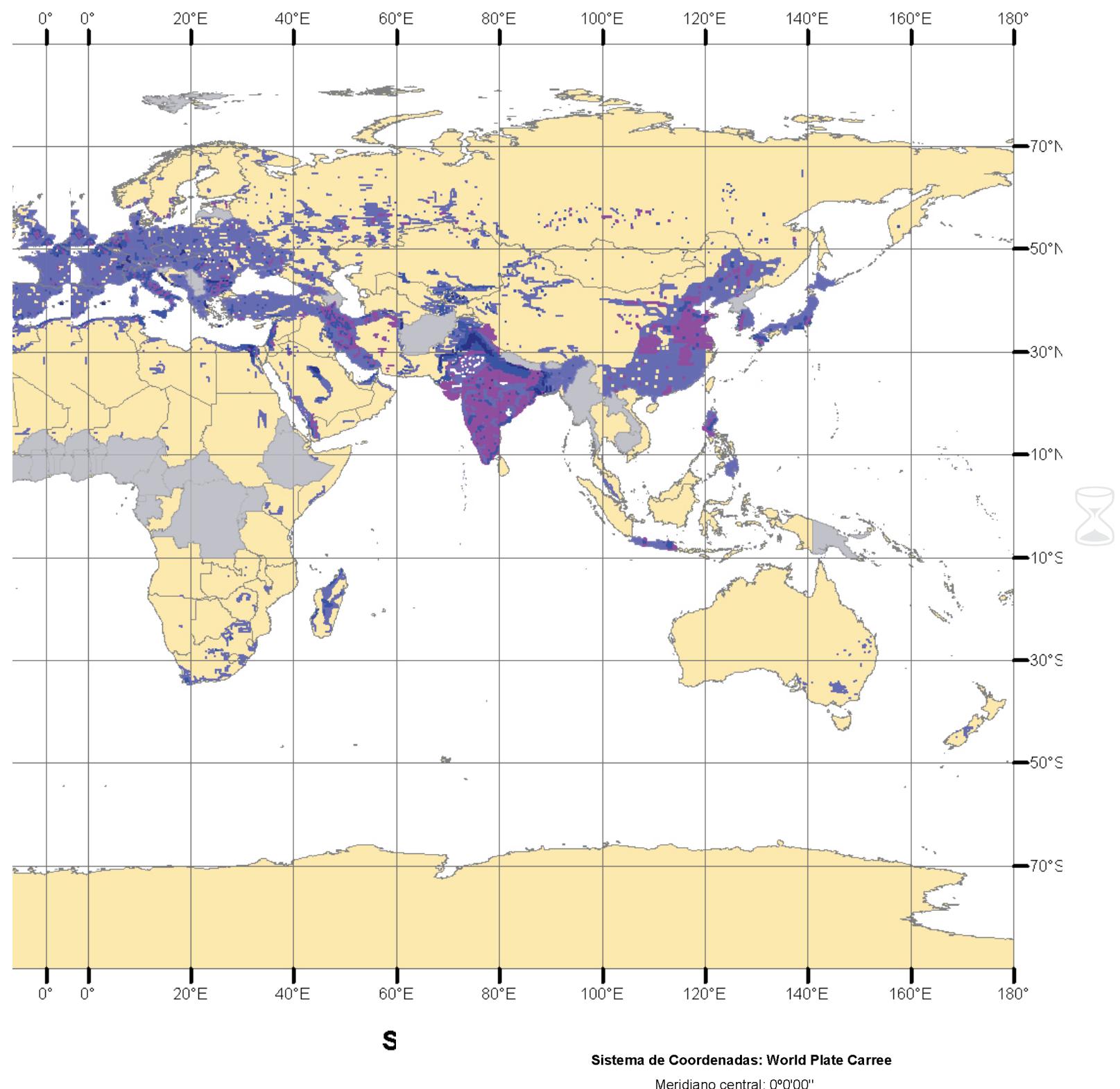


Figura 8.5 - Intensidade de uso de aquíferos no ano 2000 (em mm ao ano). A carta temática foi obtida pelo modelo PCR-GLOWB com resolução de 0,5° x 0,5°. Fonte: UNESCO, PHL.



## 8.3 - Casos de estudo

### 8.3.1 - Contaminação por nitratos

Um dos problemas mais comuns de qualidade de águas interiores são as elevadas concentrações de nutrientes, especialmente de nitrogênio (N) e fósforo (P). O aporte excessivo desses dois nutrientes causa o fenômeno da eutrofização em 100% dos casos (Vollenweider, 1971). Essa contaminação provém dos esgotos domésticos, dos efluentes (*run-off*) de atividades agrícolas (Fig. 8.7) e também da atmosfera que retém esses elementos seja na forma de partículas em suspensão na atmosfera (aerossóis), seja na forma dissolvida junto ao vapor de água. As queimadas, por exemplo, tão comuns nos trópicos são responsáveis pela injeção de milhares de toneladas de nutrientes, dentre estes o nitrogênio, na atmosfera todos os anos (Rocha, 2009).

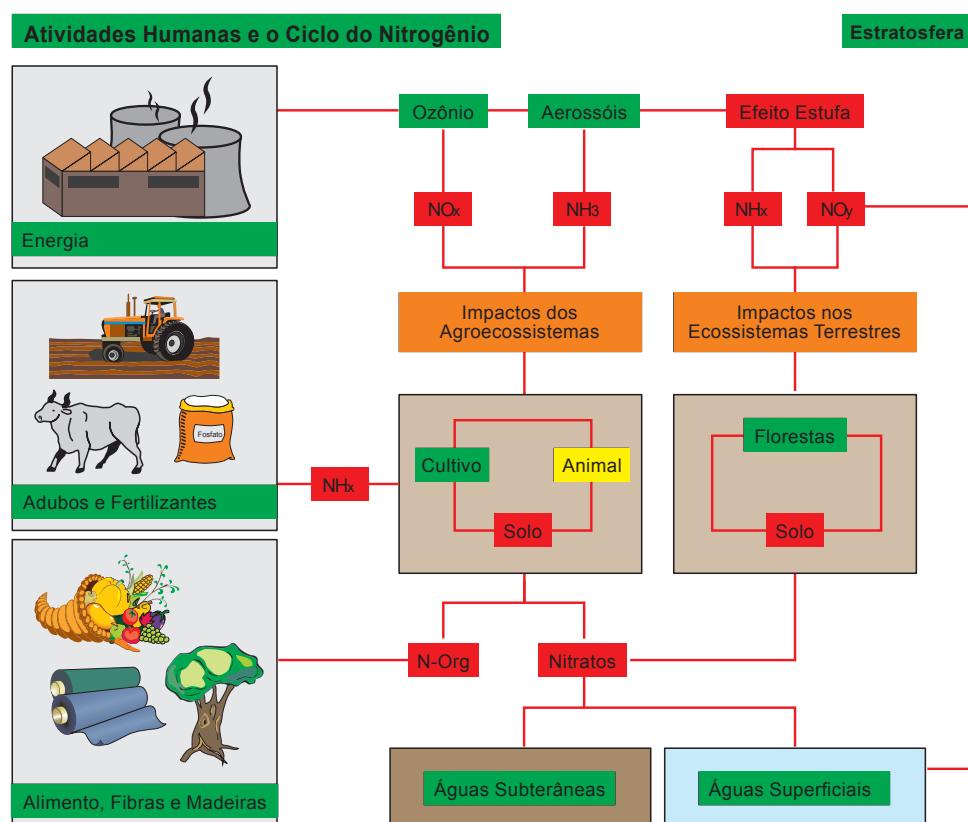


Figura 8.7 – Influência das atividades humanas no ciclo do nitrogênio. O uso intenso de fertilizantes pode contaminar seriamente os aquíferos e também as águas superficiais. O ciclo do nitrogênio é um ciclo misto, onde parte do nitrogênio, quando não está incorporado nos seres vivos, é armazenada na atmosfera e parte, é armazenada no solo. Os nitratos tendem a se concentrar gradualmente nas águas subterrâneas. O excesso dessa forma de nitrogênio inorgânico pode causar sérios problemas de saúde ao ser humano. RMPC: original.

As águas presentes nos aquíferos são extremamente suscetíveis à contaminação por diferentes agentes químicos, dentre os quais os nitratos. Essa espécie inorgânica de nitrogênio ( $\text{N-NO}_3$ ) está presente, por exemplo, nos fertilizantes. Esse tipo de contaminação é mais frequente, quando o lençol freático é raso e não existem camadas impermeáveis que impeçam a migração do nitrato, a partir da superfície, para camadas mais profundas. O nitrato tende a acumular-se nas águas subterrâneas. Quando essas águas contaminadas essa forma de nitrogênio inorgânico afloram junto à superfície e penetram em rios e lagos, esses ecossistemas podem ficar com teores muito elevados dessa forma de nitrogênio.

A pecuária intensiva (aves, suínos e bovinos), assim como a agricultura irrigada, estão dentre as atividades humanas que mais poluem os aquíferos com nitratos. Um destaque especial deve ser dado aos monocultivos de cana-de-açúcar. É uma prática comum a aspersão com vinhaça nesses cultivos. A vinhaça é um efluente líquido das destilarias, muito rico em minerais, tais como o potássio, fósforo,

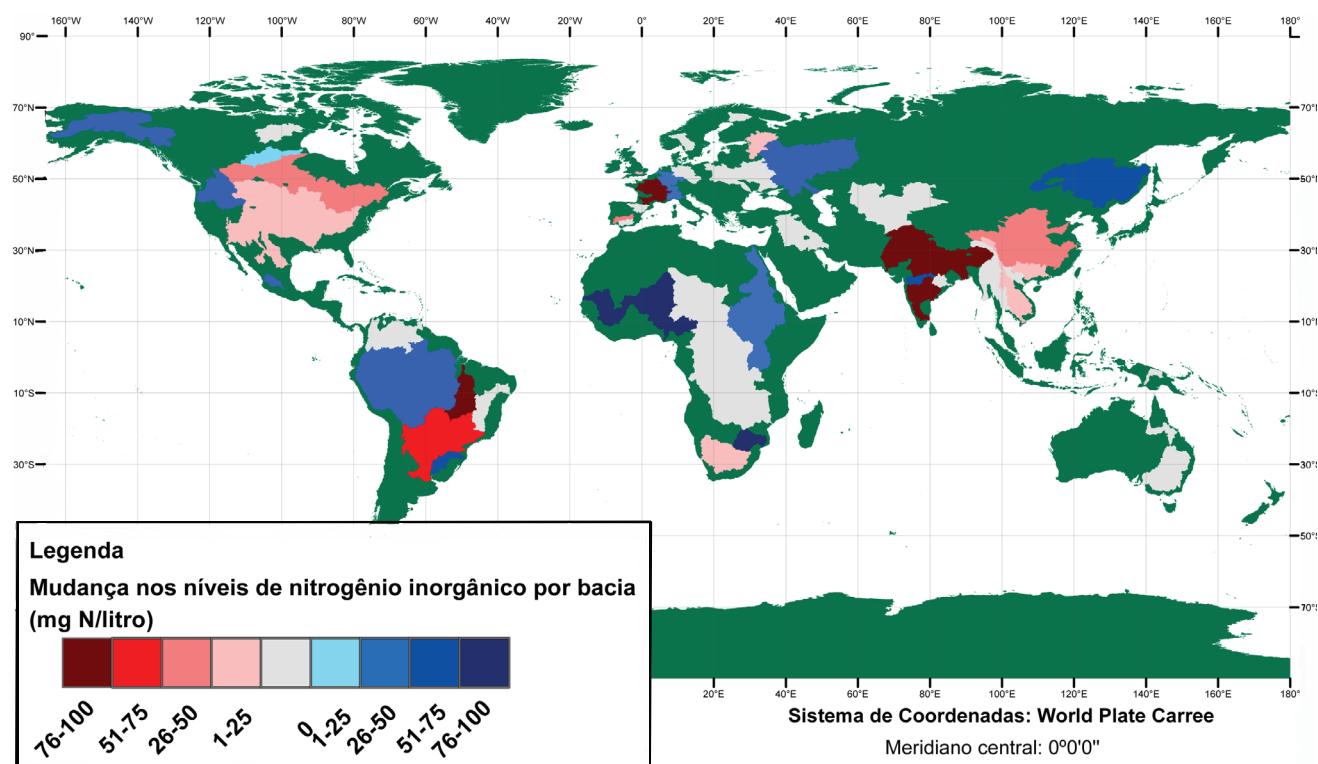
nitrogênio, e em matéria orgânica. A contaminação dos aquíferos com nitratos, provenientes da adição da vinhaça nos solos, é um dos impactos ainda pouco estudados associados ao cultivo da cana-de-açúcar (Silva et al. 2007).

Os níveis de nitrato devem ser controlados nas águas destinadas ao abastecimento humano, principalmente porque as crianças podem ser acometidas da síndrome metahemoglobinemia, ou síndrome do bebê azulado (*blue baby syndrome*) ao tomarem água com elevadas concentrações dessa forma de nitrogênio inorgânico. Pesquisas recentes têm sugerido que o consumo de água com elevadas concentrações de nitrato ( $> 10,0 \text{ mg/L}$  de  $\text{N-NO}_3$ ) pode aumentar as taxas de aborto nas populações humanas. Outros possíveis efeitos para a saúde, associados ao consumo de água com elevados teores de nitrato, são: câncer na tireoide, anomalias congênitas em crianças. Em adultos, esse tipo de poluição pode estar associado a vários tipos de neoplasias (câncer), especialmente no trato intestinal.

A remoção e o tratamento da contaminação das águas por nitratos são procedimentos caros e exigem aporte tecnológico mais avançado. Ferver ou filtrar a água de nada adianta. Nem mesmo, o uso de cloro ou de filtros potentes ou o uso do carvão ativado ou ozônio (que retiram boa parte dos poluentes orgânicos, por exemplo). A única forma de remover os nitratos seria por osmose reversa, uma forma cara de ultrafiltração e purificação da água. Não é por acaso, que o preço das águas minerais vendidas no comércio é em geral proporcional ao teor de nitratos presentes nas diferentes marcas disponíveis no mercado.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) tem se preocupado com a crescente poluição por nitratos em algumas partes do mundo, especialmente na Europa e na Índia (Fig. 8.8). No Brasil, existem poucos estudos sobre o aumento dos níveis de nitratos em rios e reservatórios afetados por atividades agro-pecuárias, mas as pesquisas do LGAR da UFMG sugerem que o problema já existe em vários reservatórios e rios do País e poderá tornar-se ainda mais grave em poucos anos (Pinto-Coelho et al. 2012; Pinto-Coelho et al. 2013).

### Níveis de Nitrogênio Inorgânico (Nitrito + Nitrato) por bacia. (1979-1990 e 1991-2005)



Os tons em azul significam decréscimo e os tons em vermelho significam acréscimo das concentrações de nitrato nas bacias hidrográficas indicadas

Figura 8.8 – Poluição por nitratos nas principais bacias hidrográficas do mundo. Dados da UNEP-GEMS (2006). Modificado segundo a Figura 8.3, página 371 de UNEP-GEO-4 (2007), Figura 5.2, página 175, de UNESCO, 2006, UNEP/GEMS (2006) e Galloway et al. 2003.

### 8.3.2 - A perfuração de poços (terrestres) de petróleo e a contaminação de aquíferos

O aquífero de Ogallala situa-se na porção central dos Estados Unidos e é considerado um dos maiores do mundo. Estende-se por oito diferentes estados da federação norteamericana e é formado basicamente por “água fóssil”, oriunda do último período de glaciação. Esse aquífero, no entanto, tem sofrido muito com o uso intensivo, tanto para abastecimento doméstico quanto para a irrigação, ou seja, por usos diretos promovidos pelo homem. Nas áreas menos úmidas desse aquífero, a taxa de recarga anual é inferior a 10% dos usos humanos. Dados recentes (2013), fornecidos pelo Serviço Geológico dos EUA (USGS), indicam que a depleção observada nesse aquífero entre os anos de 2001-2008 igualou a 32% da depleção observada em todo o século XX. A depleção de aquíferos é, aliás, um problema global e uma das evidências mais fortes que atestam a existência de uma crise mundial das águas (Konikow & Kandy, 2005). Os principais usos humanos nesse aquífero são: a extração de água para ser usada na irrigação e na extração e beneficiamento de carvão e petróleo.

A perfuração e a exploração de óleo e gás natural a partir de poços em terra firme nos EUA requerem o bombeamento de milhares de metros cúbicos de água com inúmeros aditivos químicos nos poços, em um processo conhecido como *“fracking”*. Ao contrário do Brasil, onde a produção de petróleo concentra-se na plataforma continental, a grande maioria dos países produtores de petróleo e gás explora a maior parte do petróleo e do gás a partir de poços localizados em terra firme (Fig. 8.9).

**Produção de petróleo e gás natural nos Estados Unidos**

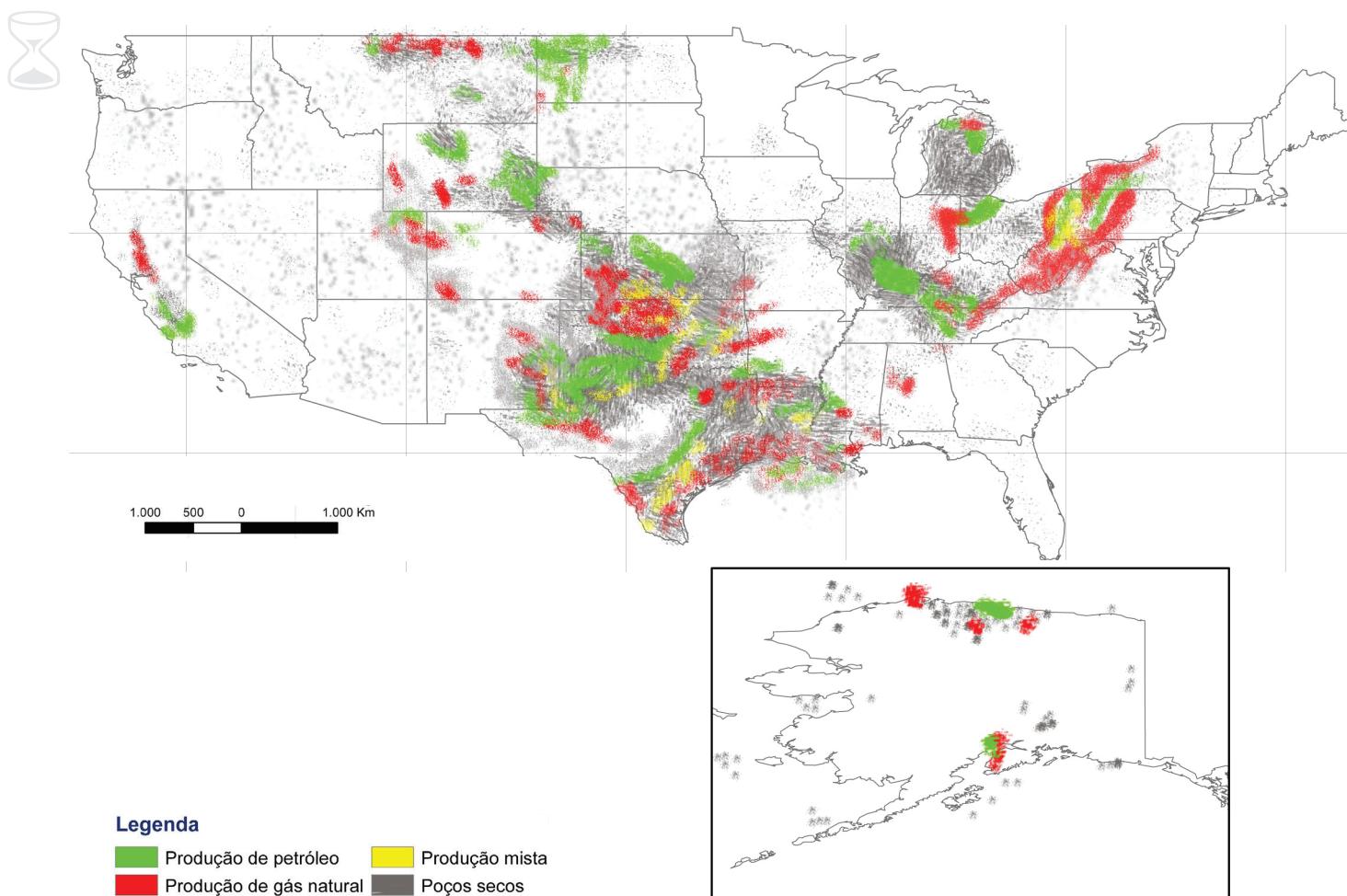


Fig. 8.9

### Zonas potencialmente contaminadas com produtos tóxicos

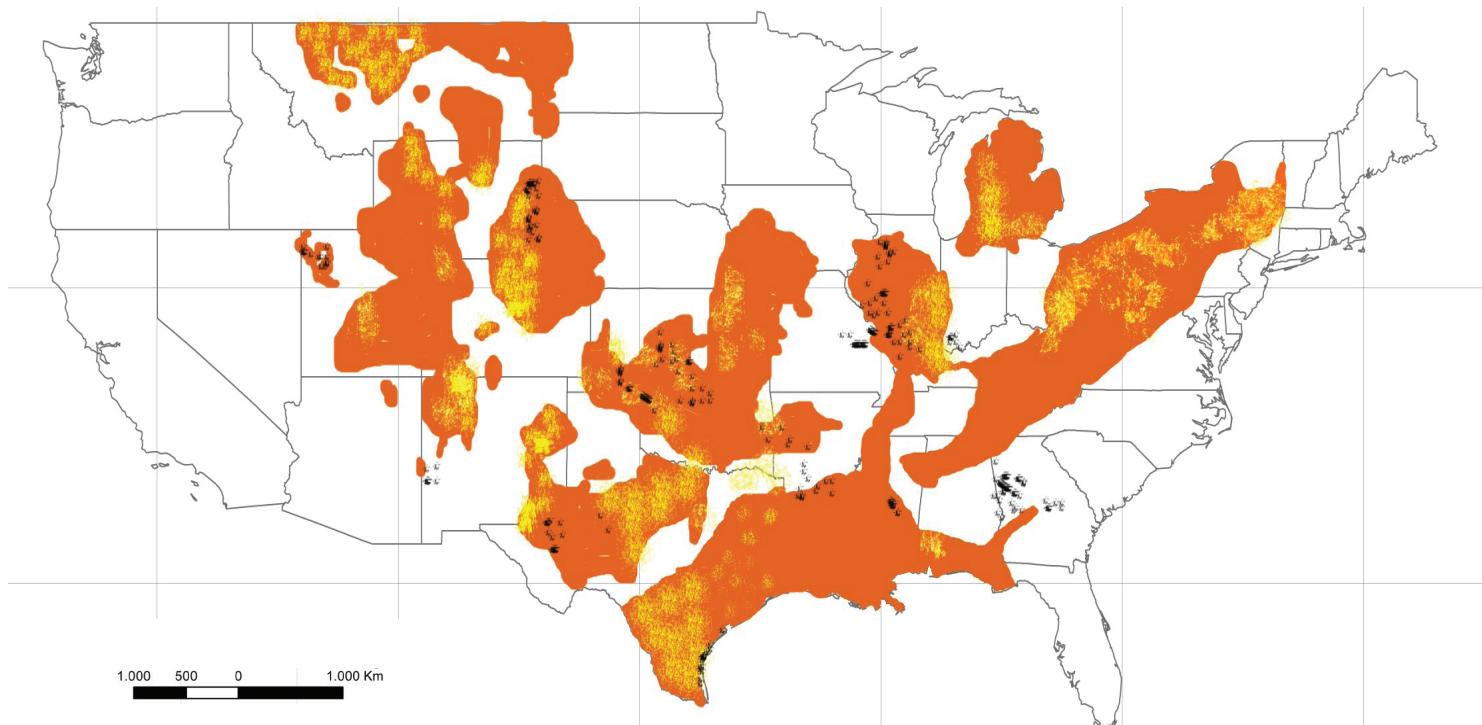


Figura 8.9 (cont.) – Relação entre a produção de óleo e gás e a contaminação de águas subterrâneas nos EUA. No mapa superior estão os locais de produção de óleo (verde) e de gás (vermelho). Abaixo, um cartograma com as zonas potencialmente contaminadas com produtos tóxicos advindos da perfuração de poços pela metodologia “fracking”. (Fontes: EIA, 2014; Mooney, 2011).

Segundo a agência de notícias americana *Associated Press*, essa prática tem levado à grande contaminação dos aquíferos em alguns estados americanos (Pennsylvania, Ohio, West Virginia e Texas). Representantes da indústria petrolífera e de produção de gás natural argumentam que apenas um pequeno porcentual de poços está realmente contaminado. E mesmo assim, não se pode afirmar com certeza de que essa contaminação é proveniente do *fracking*. De toda forma, a poluição dos aquíferos causada pelo *fracking* é um tema polêmico nos EUA. Muitos cientistas e pesquisadores têm manifestado sua desconfiança em relação aos inúmeros relatórios e documentos publicados, seja pela indústria petrolífera, seja pelo governo americano em relação ao assunto (Abrams, 2014).

## 8.4 - Desafios para a gestão sustentável de aquíferos

Nos dias atuais, existe uma tendência mundial para um grande aumento nos diversos usos humanos dos aquíferos, bem como nos diferentes impactos que esses usos estão causando (Tab. 8.1). Poços secos, aumento da salinização, diminuição da capacidade de recarga, instabilidade dos solos são alguns desses impactos.

Tabela 8.1 – Usos humanos das águas subterrâneas e os seus impactos na saúde, segurança alimentar e suas implicações socioeconômicas.

Mudanças de Estado	Impactos	Saúde	Segurança Alimentar	Segurança Física	Sócio-economia
Níveis e qualidade da água subterrânea	Poços secos		Queda na atividade de irrigação e na qualidade de água.		Aumento geral do preços dos alimentos. Diminuição da vida útil de poços e outras estruturas. Aumento da desigualdade de salários e rendas. Aumento dos custos de tratamento da água.
	Aumento da salinização e da poluição		Queda na qualidade de água.		
	Diminuição das descargas para recarga	Queda dos níveis de água disponível para as populações			
	Instabilidade de solos			Possibilidades de acidentes graves.	
	Intrusões de água salina				
	Fluxo reverso	Aumento da poluição em canais e do solo.			

Os principais desafios na gestão sustentável dos aquíferos são: (a) controle e prevenção das intrusões salinas nos aquíferos; (b) monitoramento e maior controle sobre a qualidade da água nos aquíferos, especialmente no que se refere à poluição por nitratos; (c) maior controle e, em alguns casos, menor uso dos aquíferos para a irrigação; (d) identificação, construção e gestão dos reservatórios de água subterrânea (Fig. 8.10); (e) adoção de medidas mais eficazes para gestão e proteção dos aquíferos transnacionais, tais como o Aquífero Guarani, na América do Sul.



Figura 8.10 – Barragens de águas subterrâneas (a foto ilustra uma dessas represas no sul da Tunísia) são um meio eficiente de estocar a água em aquíferos superficiais. Essa técnica permite o uso da água em atividades de pastoreio extensivo e também de alguns tipos de culturas adaptadas ao clima árido. Reproduzido a partir da Fig. 7.5, página 339, UNEP/Geo-4 (2007).

## 9 - Geleiras e Calotas Polares

A maior parte da água doce do mundo (99%) está aprisionada em espessas camadas de gelo nas regiões polares, notadamente na Groelândia e na Antártida (Fig. 9.1). Além dessas “calotas” polares, que podem ter centenas e até quilômetros de espessura, existe uma grande quantidade de geleiras espalhadas nas principais formações montanhosas do Planeta.

**A maior parte da água doce da biosfera está armazenada em geleiras e nas calotas polares**

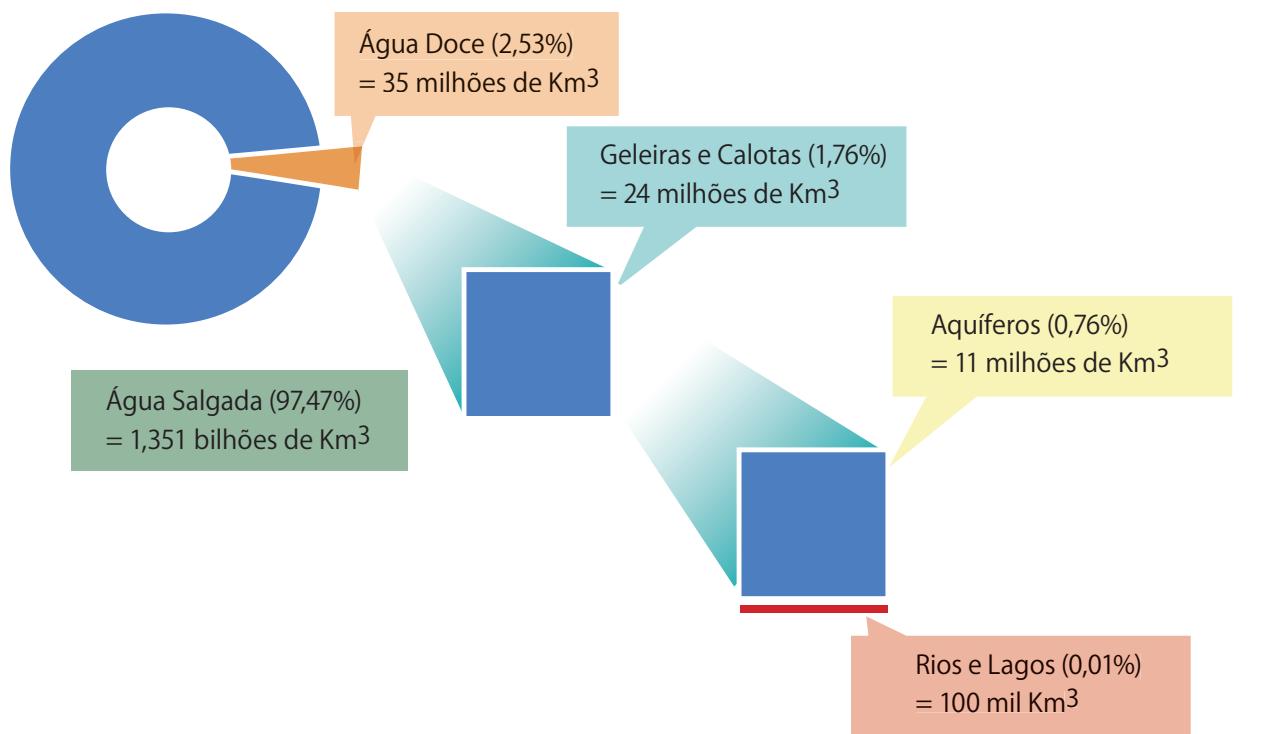


Figura 9.1 –A maior parte da água doce no Planeta Terra está nas geleiras (24 milhões de km<sup>3</sup>) e nos aquíferos subterrâneos (11 milhões de km<sup>3</sup>).

As geleiras estão presentes em todos os continentes. Cerca de 50 países possuem geleiras dentro dos seus respectivos territórios nacionais. As maiores, contudo, são observadas na Antártida, Chile, Canadá, Alasca, Groelândia e Islândia (Fig. 9.2).

### Distribuição das geleiras em zonas de montanhas ao redor do globo

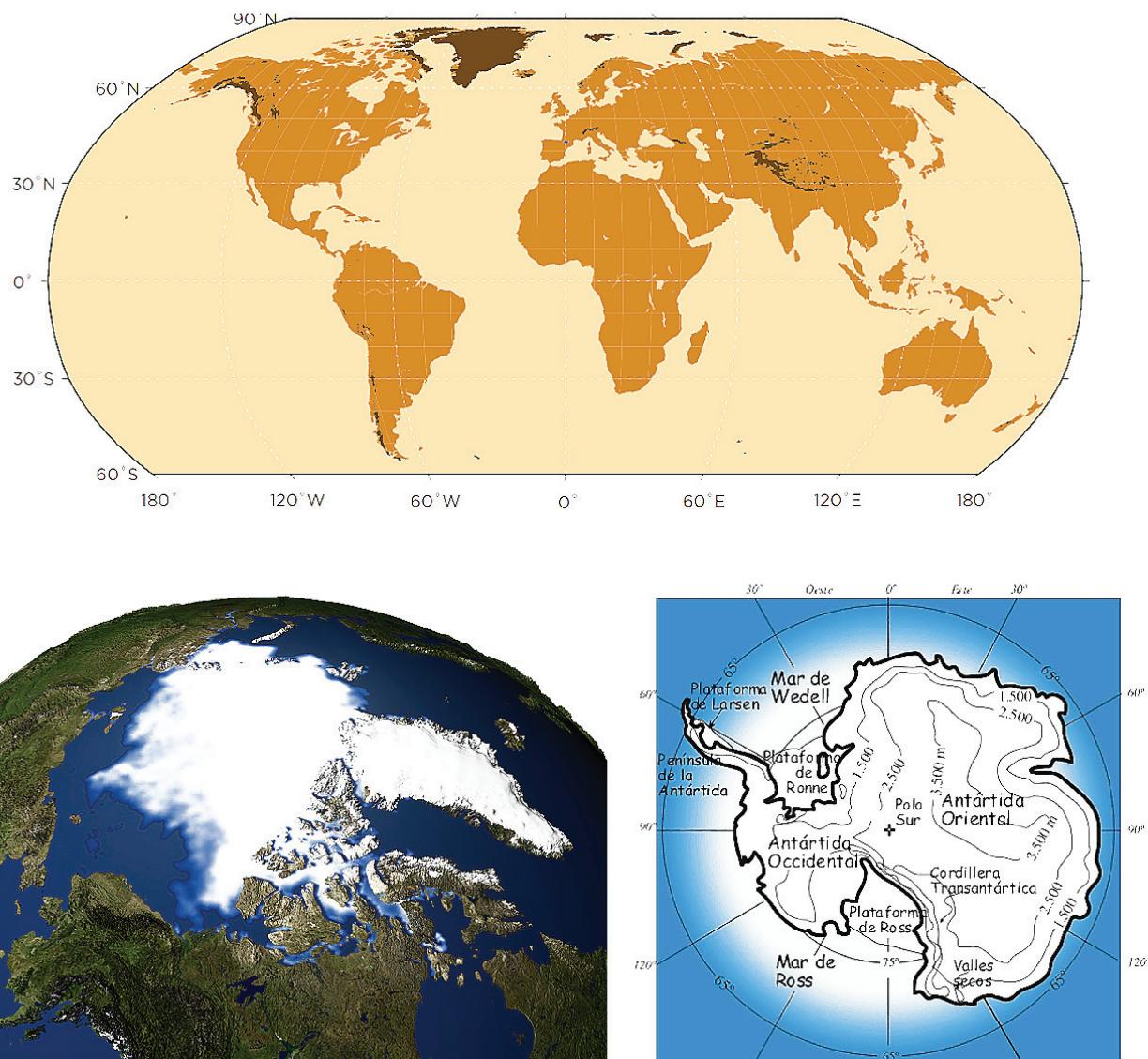


Figura 9.2 – Distribuição das geleiras em zonas de montanhas ao redor do globo (topo) e das calotas polares no polo norte (esquerda, embaixo), o continente da Antártida (à direita, em baixo). Modificado da Fig. 3.10, pág. 90, UNESCO (2012).

Geleiras de montanhas no entanto são formações vistas nos Andes, nos Himalaias, nas Montanhas Rochosas, nos Alpes e no Cáucaso. Existem geleiras ainda em algumas ilhas oceânicas na Islândia, Nova Zelândia e em diversas ilhas subantárticas (ilhas de Marion, Heard, Terra Grande e Bouvet).

A formação e a manutenção de uma geleira necessitam de uma cobertura permanente de neve. Vários fatores afetam a deposição e permanência da neve nas geleiras: latitude, altitude, inclinação do terreno, taxa de exposição ao sol, ventos etc. De modo geral, as geleiras podem-se formar em latitudes maiores do que 20° N e 27° S. Entre 19° N e 27° S, no entanto, é comum encontrarmos geleiras toda vez que a altitude for maior do que 5.000 metros uma vez que sob tais condições há neve permanente no terreno.

Algumas pequenas geleiras podem ser observadas em altas montanhas mesmo em regiões tropicais. Na Nova Guiné, existe uma geleira (Monte Puncak Jaya) que está rapidamente desaparecendo. Na África tropical, pequenas geleiras ainda podem ser vistas no Monte Kilimanjaro, na Tanzânia, Monte Quênia e nas montanhas Rwenzori.

Ao contrário do que se pensa, o extremo frio das altas latitudes não garante per se a formação de geleiras. Áreas extensas, onde dominam talvez as menores temperaturas do Planeta localizadas no Ártico, na

Antártida, na Mandchuria ou Sibéria, são consideradas verdadeiros “desertos polares”. Praticamente não recebem nenhuma precipitação mesmo sob a forma de neve. O ar extremamente frio dessas regiões não transporta quase nenhuma umidade e, em consequência, não existe a formação de geleiras.

Uma geleira é um corpo formado por gelo denso, originado de precipitações de neve em locais onde essa precipitação é maior do que a sublimação, o derretimento ou outros processos erosivos. O acúmulo progressivo da neve vai compactando as camadas inferiores e aumentando gradualmente a densidade do gelo por meio da expulsão das bolhas de ar originalmente presentes no gelo. O gelo passa então a mudar de cor, passando a ter um tom azulado. Esse processo que, em alguns casos, pode demorar centenas ou mesmo milhares de anos permite que se estude e monitore a qualidade do ar presente no interior das bolhas de ar aprisionadas em geleiras. Esse tipo de estudo está revelando como era a atmosfera terrestre há milhares de anos. Essa técnica permitiu aos cientistas confirmar o aumento gradual nas concentrações de CO<sub>2</sub> ocorrido na atmosfera terrestre nos últimos séculos.

As geleiras podem ser classificadas, em função de sua base termal, em polares, subpolares ou temperadas. As geleiras polares nunca apresentam água líquida em sua interface com o solo ou a rocha matriz. Quando a temperatura da base da geleira é suficientemente alta, a água se liquefaz. Temos aí as geleiras temperadas. A presença de água líquida na base da geleira permite a esse corpo atuar como um poderoso agente erosivo. As geleiras subpolares (ou politermais) podem conter no mesmo corpo de gelo áreas onde a sua base apresenta condições para a água permanecer no estado líquido e áreas onde isso não acontece. A presença de água na base de uma geleira subpolar irá depender de fatores edáficos, geológicos e de morfometria da geleira.

As geleiras podem ser divididas – espacialmente – em duas zonas: (a) zona de acumulação e (b) zona da ablação. Uma linha de equilíbrio divide essas duas zonas. A zona de ablação é uma zona de perda de massa da geleira (geralmente por sublimação, enquanto que na zona de acumulação (que geralmente corresponde a 60%-70% da superfície das geleiras), ocorre o contrário. A zona de acumulação pode, por sua vez, ser dividida nos seguintes compartimentos: (a) zona de neves secas, (b) zona de percolação, onde parte da água se liquefaz e novamente se congela, originando as chamadas “lentes de gelo”; (c) zona de sobreposição de camadas diferentes de gelo e (d) a zona de neve úmida, onde as temperaturas são próximas de 0°C

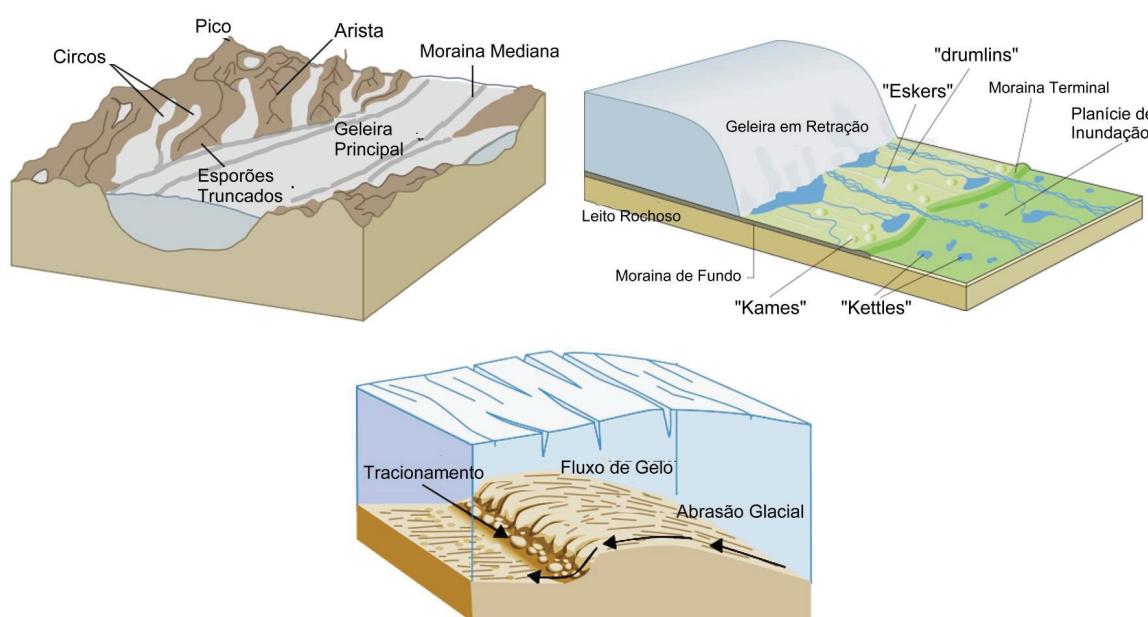


Figura 9.3 – As geleiras afetam a geomorfologia das regiões e a paisagem das regiões onde estão situadas. Mesmo em países como o Brasil, existem paisagens que resultam da ação abrasiva e erosiva do gelo aprisionado em geleiras. Muitos lagos importantes têm a sua origem na ação erosiva das geleiras e muitos rios – mesmo na bacia amazônica – são alimentados por águas oriundas de geleiras.

As geleiras, ao contrário do que se possa imaginar, estão em contínuo movimento. Isso tem a ver com as características moleculares da água congelada (Fig. 9.3). Até 50 metros de espessura, os blocos de gelo se movem como um corpo sólido por gravidade. No entanto, as camadas de gelo superiores a 50 metros de espessura podem mover-se por meio do “movimento plástico”. Isso porque o gelo é formado por camadas de moléculas de água superpostas entre si e com fraca ligação entre elas. Quando o stress gravitacional é maior do que a força que liga essas camadas moleculares, a camada então começa a mover-se plasticamente e se deforma em diferentes graus, até que o novo ponto de equilíbrio seja alcançado. Esse movimento gera grandes tensões na massa de gelo causando rupturas e fraturas que, em interação com a paisagem ao redor, confere a cada geleira em particular um aspecto único e característico.

O peso das geleiras e o seu contínuo movimento são forças poderosas capazes de impactar drasticamente a paisagem, ao longo das diferentes eras geológicas (Fig. 9.3). Normalmente, uma geleira, ao se derreter completamente, deixa uma depressão no terreno muitas vezes em forma de um anfiteatro grego. O tamanho dessas depressões pode variar, indo de centenas de metros quadrados (*circos glaciais*) a milhares de quilômetros quadrados. Para se ter uma ideia do que essas forças são capazes, basta mencionar que a origem das depressões onde estão os grandes lagos americanos está associada à retração de geleiras em um passado geologicamente não muito remoto.

No local onde o gelo se move mais rapidamente do que outras áreas das geleiras, formam-se os chamados rios de gelo (*ice streams*). Muitas geleiras sofrem um processo sazonal de acúmulo de gelo no inverno e derretimento da água no verão. Esse ciclo alimenta lagos e rios de grande importância, no mundo tal como o Rio Reno na Europa, que se alimenta do derretimento de água dos Alpes, na Suíça. Vários rios da Bacia Amazônica, dentre eles os rios que formam o próprio Rio Amazonas têm a sua origem águas de degelo dos Andes. Nos Andes peruanos, os Rios Mantaro, Ene e Apurimác formam o Rio Ucayali. Esse caudaloso rio, por sua vez, ao se juntar-se ao Rio Marañón forma o Rio Amazonas. Entretanto, existem geleiras muito estáveis que não apresentam essa dinâmica. Estão localizadas principalmente na Antártida e na Groelândia.

Quando um depósito glacial supera os 50.000 km<sup>2</sup>, estamos falando de uma camada ou plataforma de gelo de ordem continental (*ice sheets*). Esse tipo de formação só pode ser encontrado na Groelândia e na

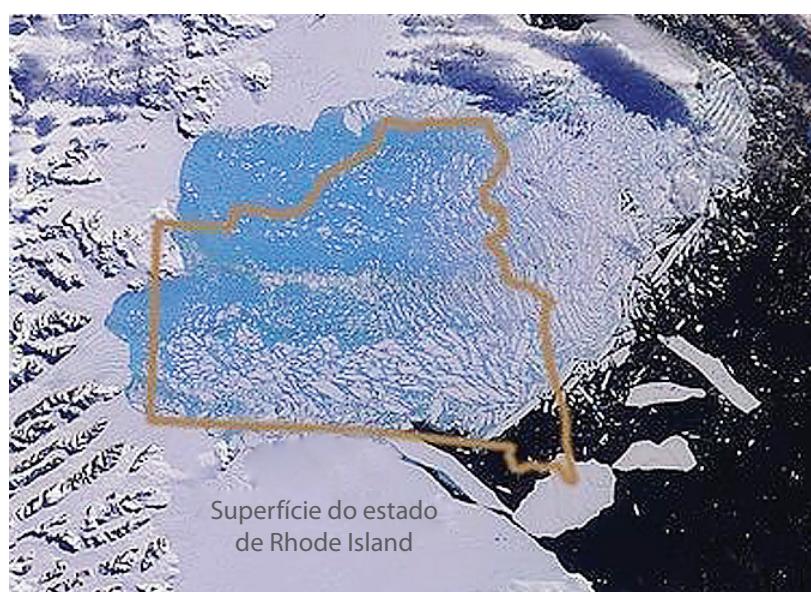


Figura 9.4 – O colapso da calota de gelo Larsen B, na Antártida envolve uma área similar ao estado americano de Rhode Island (3.140 km<sup>2</sup>), que se desprendeu do continente da Antártida.

Antártida (Fig. 9.4). Para se ter uma ideia do volume de água aprisionado nessas vastas camadas glaciais, uma vez fossem totalmente derretidas, todos os oceanos teriam o seu nível atual acrescido em mais de 70 metros! Em alguns casos, parte dessa camada de gelo pode penetrar nos mares que a circundam, formando o que se chama plataforma de gelo (*ice shelves*). Quando essas áreas são inferiores a 50.000 km<sup>2</sup>, temos os chamados campos ou calotas de gelo (*ice field or cap ice*). Essas formações normalmente são encontradas ao redor ou no topo de montanhas ou vulcões.

Além das calotas polares e das geleiras, existem ainda grandes quantidades de gelo flutuando nos mares gelados a altas latitudes, bem como em vários lagos na América do Norte, na Europa continental, na Islândia, Groelândia, Antártida, Ásia (Sibéria) e América do Sul.

As geleiras que adentram nos oceanos sofrem um grande afinamento em sua espessura vertical. São também designadas por geleiras tidais. Delas, originam-se os “icebergs”, verdadeiras montanhas de gelo flutuantes que se desprendem da geleira e ficam à deriva nos oceanos, podendo se deslocar por milhares de quilômetros a partir de sua origem.

O interesse pelas geleiras tem crescido muito ultimamente em decorrência da sequência de estudos científicos que vêm confirmando a inequívoca retração das geleiras ao longo das últimas décadas (Fig. 9.5).

### Mudanças da superfície (km<sup>2</sup>) da calota polar da Groelândia sobre o oceano

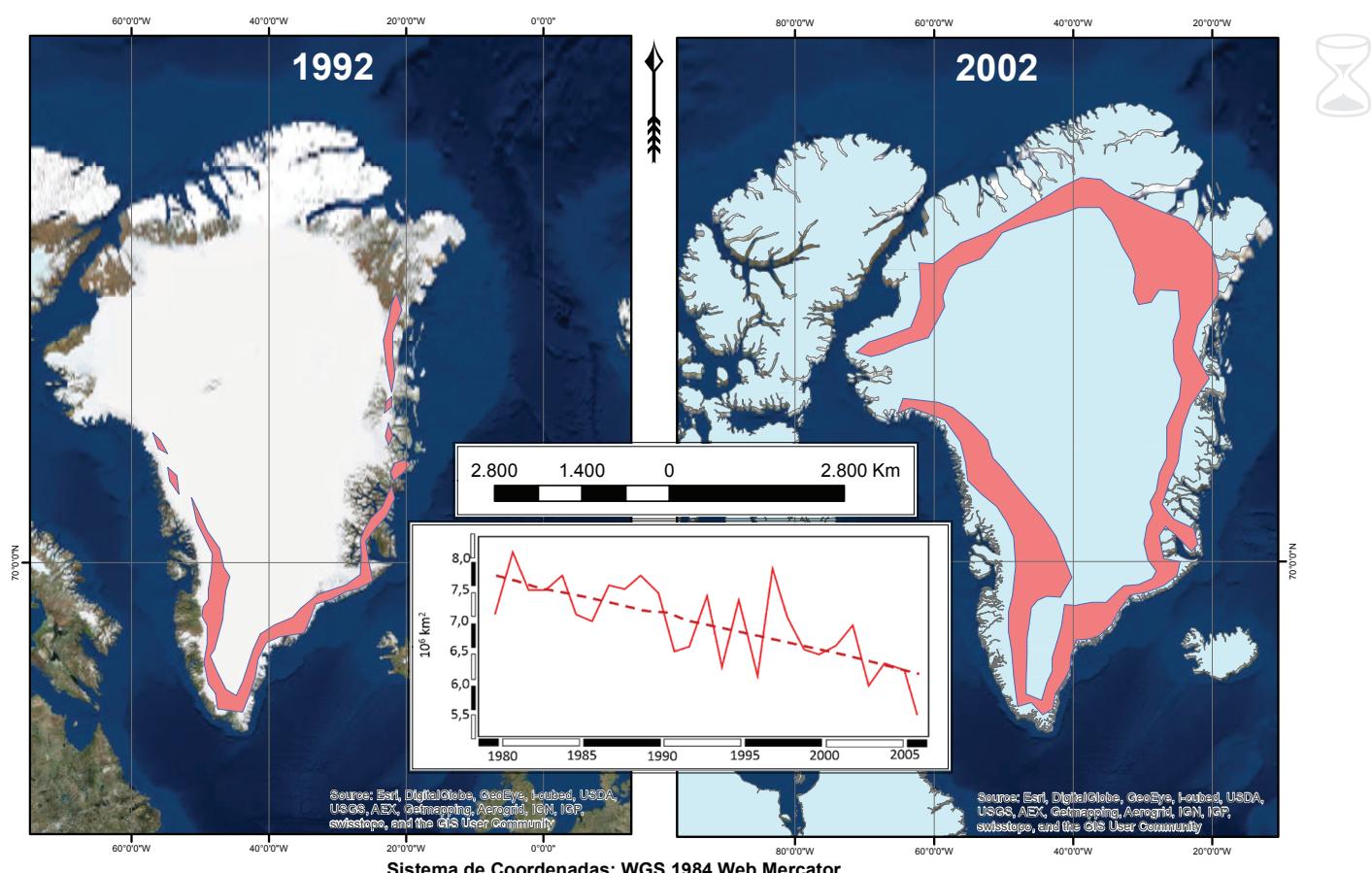


Figura 9.5 – Mudanças na superfície da calota polar no Hemisfério Norte (gráfico no encarte) e o grande aumento das áreas afetadas pelo degelo no verão da Groelândia (Fonte: IPCC, 2007).

As geleiras “saudáveis” possuem, em geral, cerca de 60% ou mais de sua superfície dentro da zona de acumulação, ou seja, com claros indícios de deposição de neve, mesmo ao final do período de degelo anual. Outra forma de avaliar as geleiras é por meio da dinâmica de fluxo de vazão do “terminus”, ou seja, a drenagem líquida final da geleira.

A saúde de uma geleira é determinada pelo seu balanço de massa. As diferenças entre as taxas de acumulação e ablação (degelo + sublimação) são as duas forças que moldam o balanço de massa de uma geleira. Uma geleira com balanço de massa positivo está fora de seu equilíbrio e irá expandir. De modo análogo, uma geleira com um balanço de massa negativo está fora de seu equilíbrio e, portanto, irá recuar. Atualmente, a maioria das geleiras do mundo exibe um balanço de massa negativo e, portanto, estão perdendo terreno (Fig. 9.6). Estas mudanças vêm sendo sistematicamente observadas nas geleiras em todo o globo e formam um poderoso conjunto de evidências atestando a mudança do clima da Terra, observado nos últimos 100 anos.



Figura 9.6 – A proporção de geleiras em retração atualmente (período 2008-2009) é muito maior do que a de geleiras em expansão (Fonte: WGMS, 2011).

Em alguns casos, existe uma base notável de dados e registros fotográficos e dados consolidados sobre o balanço de massa de uma geleira, que descrevem com grande precisão a sua retração ao longo das últimas décadas (Fig.9.7).

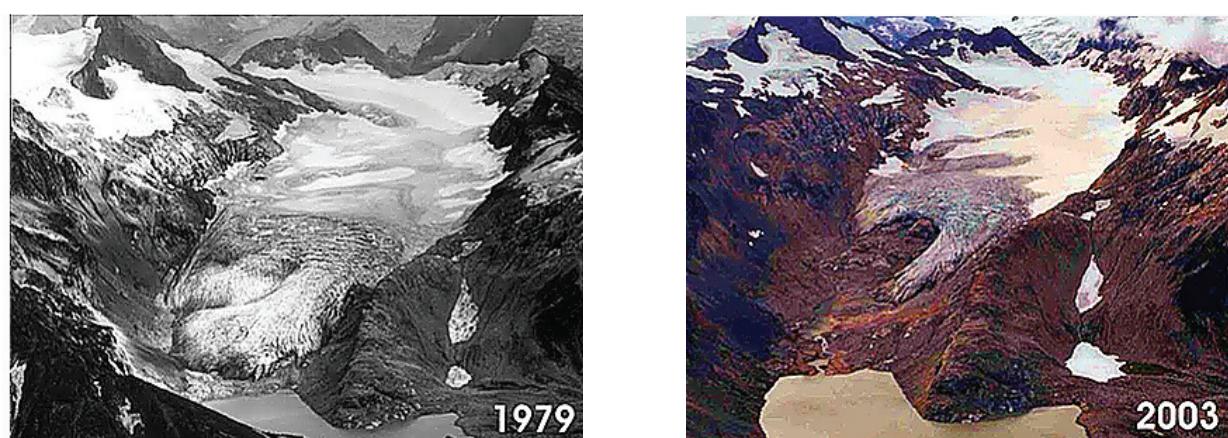


Figura 9.7

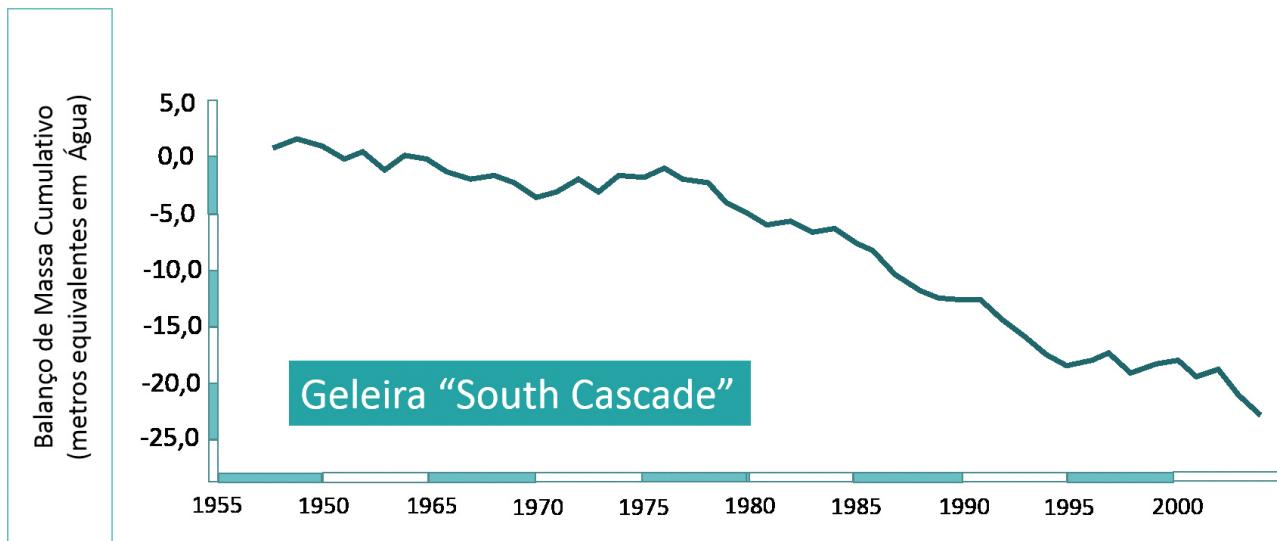


Figura 9.7 – Fotos que ilustram a retração de uma geleira em dois períodos distintos (1979 e 2003): a geleira *South Cascade*. No gráfico abaixo, o balanço de massa – negativo – ao longo dos últimos 50 anos (Fonte: Geller, 2006).

Os impactos da retração das geleiras são importantes e devem ser seriamente considerados pelos tomadores de decisão. Muitos rios são alimentados por águas provenientes das geleiras. Uma eventual diminuição de vazão desses rios poderá causar sérios impactos na irrigação e produção de alimentos em países da América do Sul, Ásia e da Europa, continentes onde é grande a importância de rios, cuja origem e existência dependem das geleiras alpinas e subalpinas.



Outro impacto importante refere-se à potencial perda na produção de energia hidroelétrica em países, tais como os Estados Unidos (região noroeste), a Noruega, os Alpes europeus, particularmente a França, a Itália e a Suíça.

A retração de geleiras ainda pode trazer grandes prejuízos a países que tem como uma importante fonte de renda o turismo de inverno, tais como a Suíça, Áustria, Itália e França. E os prejuízos não ficam restritos às atividades humanas.

Muitas pessoas acreditam que apenas os grandes mamíferos que habitam as regiões polares estão sob o risco da extinção. Entretanto, é preciso ter em mente que inúmeras espécies de animais e plantas evoluíram para viver nas águas frias dos rios que drenam as geleiras alpinas. Essas espécies também estão sob forte risco de extinção.

A retração das geleiras não irá somente afetar o nível dos oceanos. A diminuição dos influxos de água doce poderá causar aumentos locais de salinidade em algumas áreas. Alterações nos padrões de circulação e estratificação térmica dos oceanos são também esperadas. Todas essas alterações podem causar (e na realidade já estão causando) uma redução generalizada nas populações de peixes, muitas

delas de expressão comercial. As estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) dão conta de que está havendo um aumento anual da ordem de 0,5 mm no nível dos oceanos em virtude do derretimento de geleiras. O mesmo IPCC prevê um aumento do nível dos oceanos de 0,8 m até 2100 (IPCC, 2007).

## 10 - Águas urbanas

### 10.1 - O mundo está se urbanizando cada vez mais

O aumento da urbanização é um fenômeno mundial. Esse fenômeno ocorreu nos países industrializados, principalmente no século XIX e vem se repetindo - de modo muito mais acentuado e veloz - nos países em desenvolvimento e com grande contingente populacional tais como Brasil, Índia, China, Rússia e África do Sul (BRICS). Enquanto que na Europa ou nos EUA esse fenômeno atingiu dezenas de milhões de pessoas no século XIX, agora, nos BRICS, estamos falando de centenas de milhões de pessoas. Uma das regiões, onde é mais intenso o processo de urbanização é a América Latina, especialmente o Brasil (Fig. 10.1).

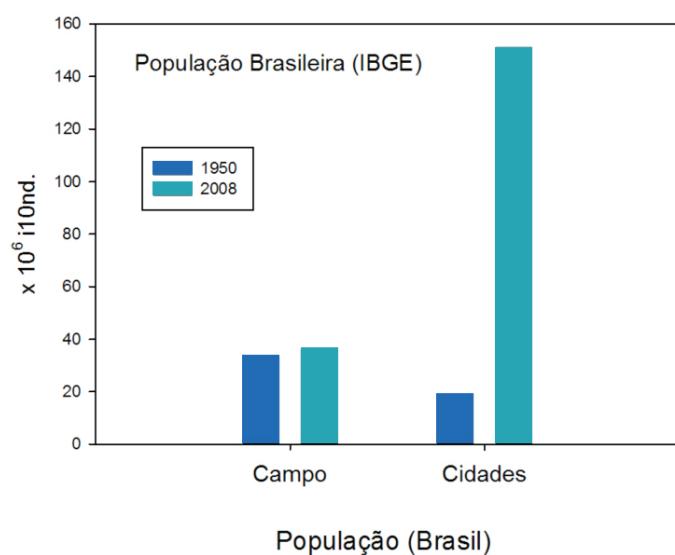


Figura 10.1 – Aumento da população urbana no Brasil entre 1950 e 2008, segundo o IBGE.

A enorme migração de pessoas do campo para as cidades impõe limites muito mais restritivos à capacidade de suporte dos ecossistemas afetados principalmente no tocante aos recursos hídricos, à qualidade do ar, à disponibilidade de unidades de conservação, dentre outros.

Atualmente, em todo o mundo, mais de 800 milhões de pessoas vivem em aglomerados, favelas ou comunidades sem condições minimamente aceitáveis de saneamento (água tratada, esgotos tratados, coleta regular de lixo) e, destes, mais de 400 milhões dividem instalações sanitárias (fontes, banheiros e depósitos comunitários de lixo) com outros membros de sua comunidade. A cada ano, seis milhões de pessoas passarão a viver em favelas em todo o mundo. Segundo estudos patrocinados pela UNESCO (UNEP/GEO-4, 2007), a tendência da urbanização vai acentuar-se de maneira notável nas próximas décadas, em todo o mundo (Fig. 10.2).

De acordo com os dados da ONU (programa UN Water, UNEP, 2007), a cada segundo nascem duas crianças no Planeta e, a cada ano, 80 milhões de indivíduos são acrescentados à população mundial. A cada mês, cinco milhões de indivíduos migram para as cidades. Nas cidades dos países em desenvolvimento, pelo

delas de expressão comercial. As estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) dão conta de que está havendo um aumento anual da ordem de 0,5 mm no nível dos oceanos em virtude do derretimento de geleiras. O mesmo IPCC prevê um aumento do nível dos oceanos de 0,8 m até 2100 (IPCC, 2007).

## 10 - Águas urbanas

### 10.1 - O mundo está se urbanizando cada vez mais

O aumento da urbanização é um fenômeno mundial. Esse fenômeno ocorreu nos países industrializados, principalmente no século XIX e vem se repetindo - de modo muito mais acentuado e veloz - nos países em desenvolvimento e com grande contingente populacional tais como Brasil, Índia, China, Rússia e África do Sul (BRICS). Enquanto que na Europa ou nos EUA esse fenômeno atingiu dezenas de milhões de pessoas no século XIX, agora, nos BRICS, estamos falando de centenas de milhões de pessoas. Uma das regiões, onde é mais intenso o processo de urbanização é a América Latina, especialmente o Brasil (Fig. 10.1).

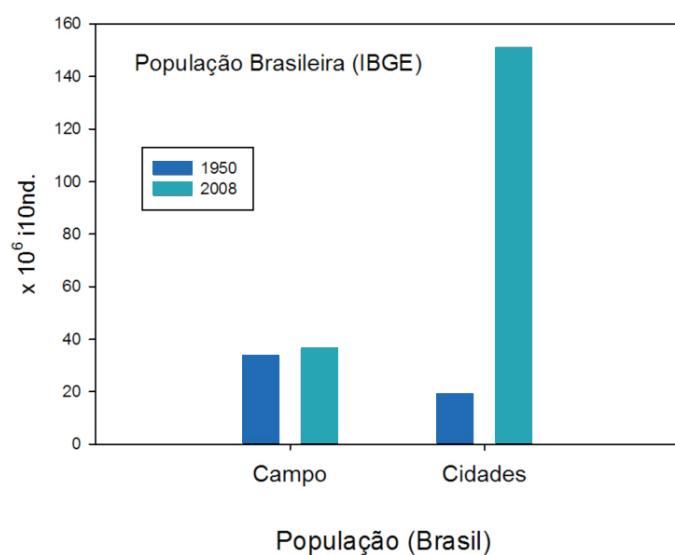


Figura 10.1 – Aumento da população urbana no Brasil entre 1950 e 2008, segundo o IBGE.

A enorme migração de pessoas do campo para as cidades impõe limites muito mais restritivos à capacidade de suporte dos ecossistemas afetados principalmente no tocante aos recursos hídricos, à qualidade do ar, à disponibilidade de unidades de conservação, dentre outros.

Atualmente, em todo o mundo, mais de 800 milhões de pessoas vivem em aglomerados, favelas ou comunidades sem condições minimamente aceitáveis de saneamento (água tratada, esgotos tratados, coleta regular de lixo) e, destes, mais de 400 milhões dividem instalações sanitárias (fontes, banheiros e depósitos comunitários de lixo) com outros membros de sua comunidade. A cada ano, seis milhões de pessoas passarão a viver em favelas em todo o mundo. Segundo estudos patrocinados pela UNESCO (UNEP/GEO-4, 2007), a tendência da urbanização vai acentuar-se de maneira notável nas próximas décadas, em todo o mundo (Fig. 10.2).

De acordo com os dados da ONU (programa UN Water, UNEP, 2007), a cada segundo nascem duas crianças no Planeta e, a cada ano, 80 milhões de indivíduos são acrescentados à população mundial. A cada mês, cinco milhões de indivíduos migram para as cidades. Nas cidades dos países em desenvolvimento, pelo

### Porcentuais de crescimento da população urbana nos principais continentes

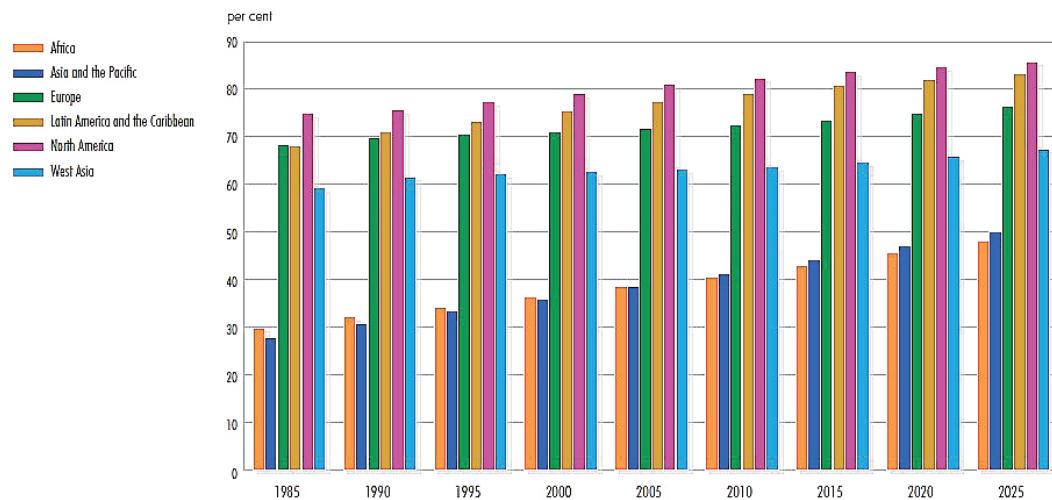


Figura 10.2 – Porcentuais de crescimento da população urbana nos principais continentes e sua projeção para o ano de 2015. (Fonte: UNEP/GEO-4, 2007).

menos 27% de suas populações não têm acesso à água encanada e tratada. As maiores densidades demográficas do mundo podem ser encontradas na Índia, China, Japão, Europa central e meridional, países orientais africanos, zona central do México, costa leste dos EUA e ao longo do litoral, no Brasil. As populações humanas, em todo o mundo, concentram-se, cada vez mais, nas regiões costeiras e em áreas urbanas (Figs. 10.3 e 10.4).

Em 1950, as maiores cidades do mundo eram, respectivamente, Nova Iorque e Tóquio sendo que Tóquio tinha pouco mais de 6,0 milhões de habitantes. Hoje, uma cidade desse porte não iria aparecer em qualquer lista que traga as 20 maiores cidades do Planeta. O crescimento projetado para o ano de 2015 prevê que nenhuma das dez maiores cidades do mundo tenha menos do que 10 milhões de habitantes (Fig. 10.4).



### Crescimento populacional em megacidades (cidades com mais de 10 milhões de habitantes)

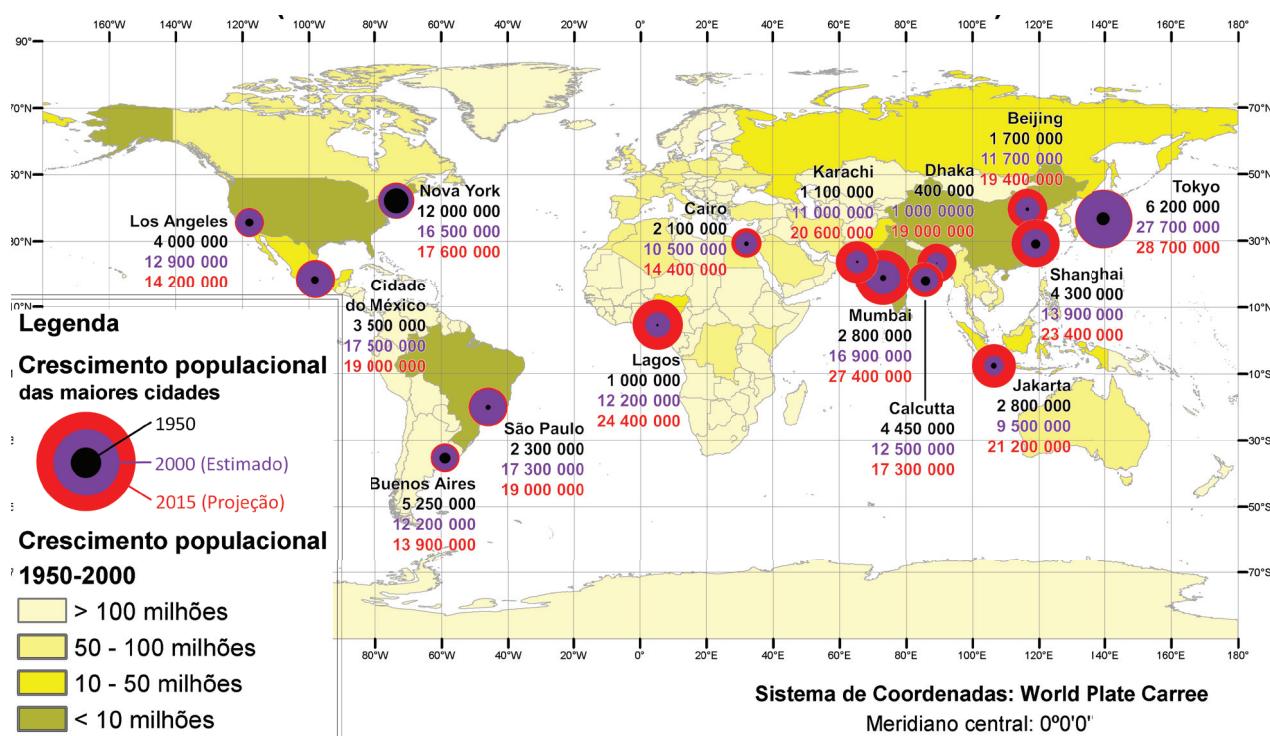


Figura 10.4 – Megacidades do mundo e o seu crescimento desde 1950. Fonte: <http://www.mappery.com/map-of/Growth-of-Megacities-Map>

## Distribuição mundial das populações humanas entre os diferentes continentes

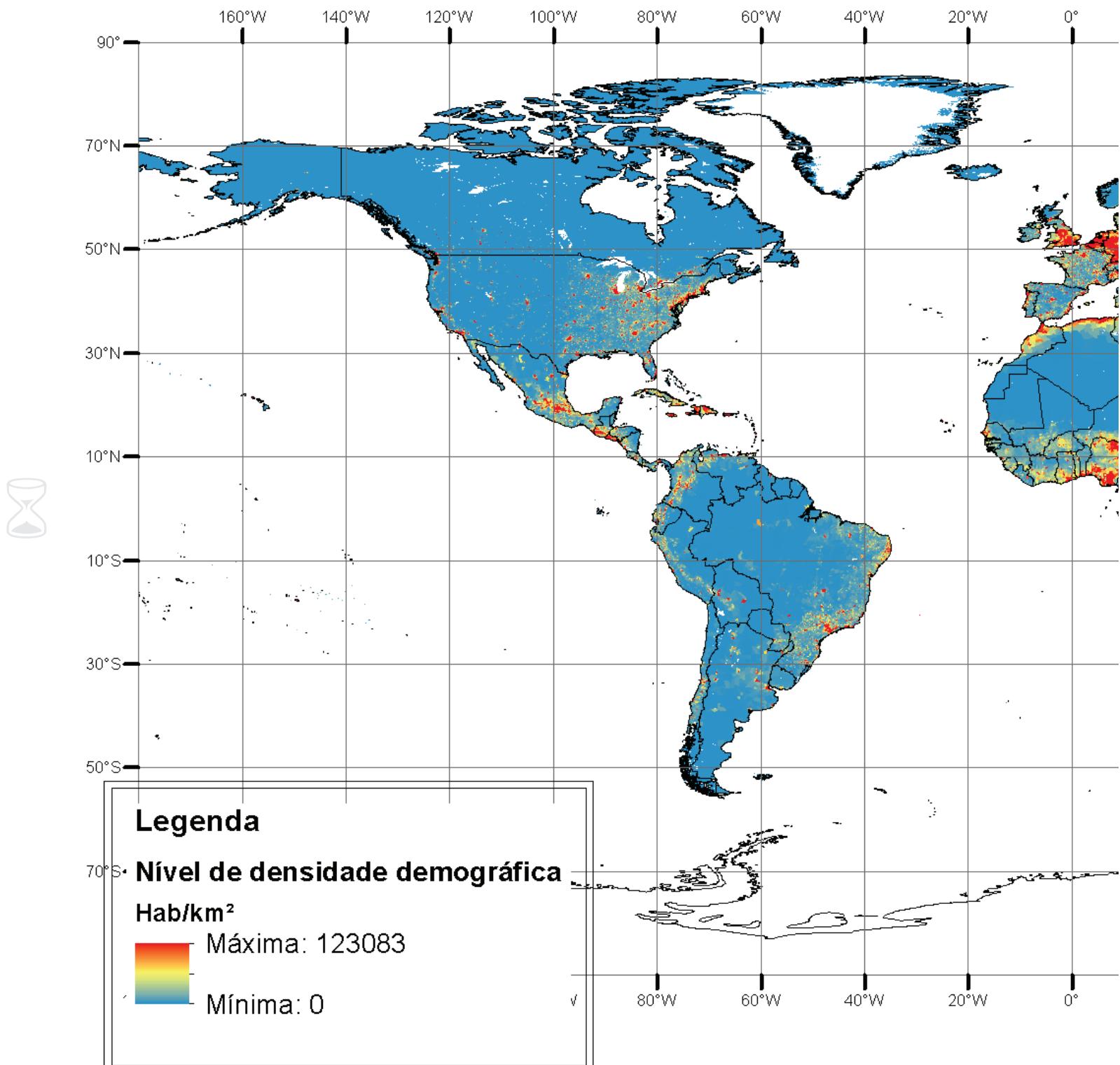
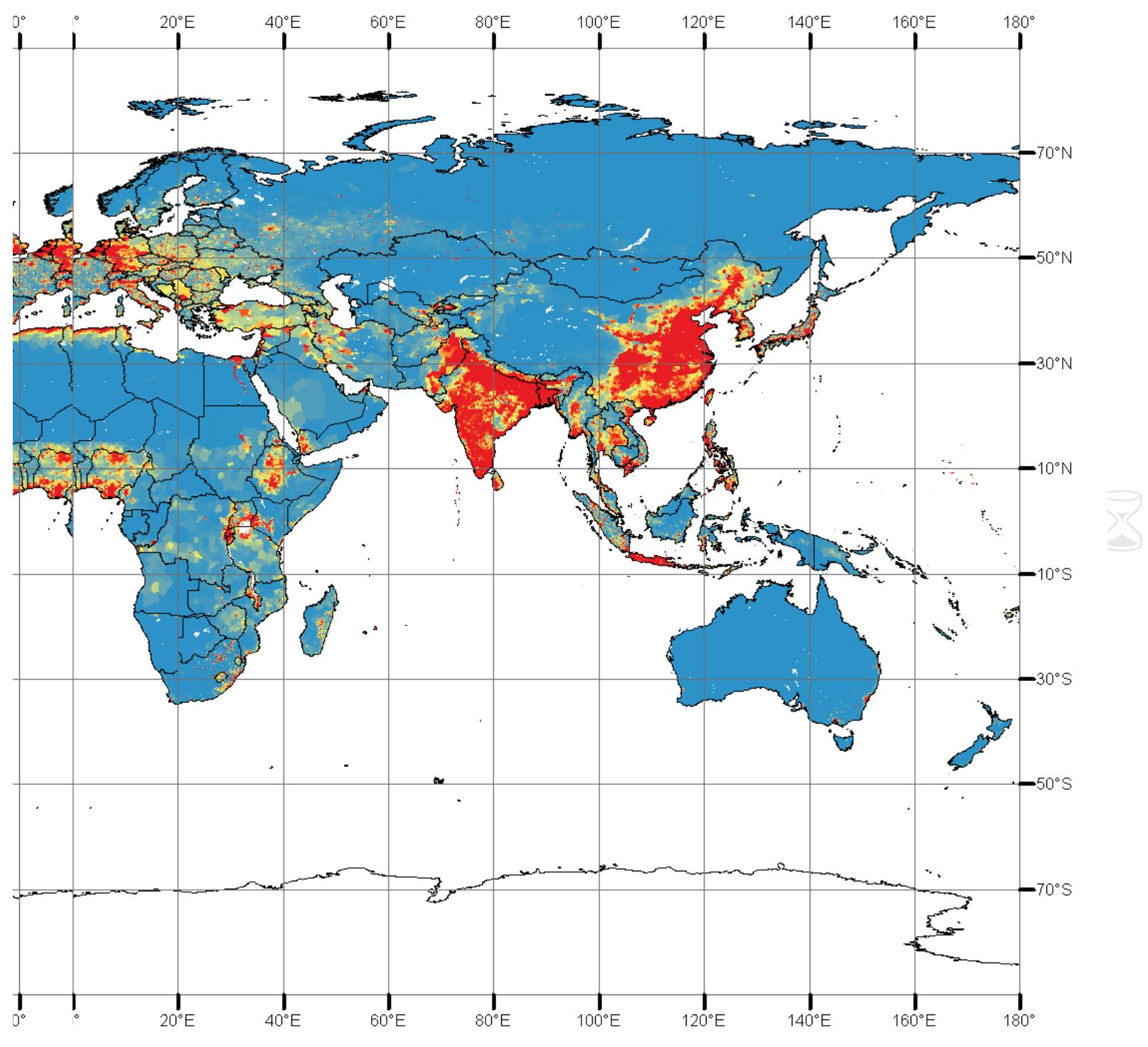


Figura 10.3 – Distribuição mundial das populações humanas entre os diferentes continentes (Fonte: IBGE, 2007).



Sistema de Coordenadas: World Plate Carrée

Meridiano central: 0°0'0"'

## 10.2 - O Consumo de águas cidades e o saneamento

Em todo o mundo, a agricultura e a indústria ainda são as atividades que mais água consomem (Fig. 10.5). Entretanto, há uma tendência para o aumento do uso doméstico das águas nas próximas décadas. Esse aumento no consumo humano de água deve-se não só ao crescimento populacional observado nas cidades, mas também ao aumento no consumo per capita. Essa nova tendência está ainda associada às mudanças de hábitos e ao aumento generalizado das necessidades de consumo da população urbana.

Um dos maiores déficits em termos de desenvolvimento da humanidade é aquele relacionado com as carências do saneamento básico. Em 2010, apenas 79% dos habitantes de cidades, em todo o Planeta, tinham acesso à água tratada e à rede de coleta de esgotos, enquanto que no ambiente rural esse porcentual era de apenas 47% (Fig. 10.6).

Outro problema ainda mais grave que o desperdício é a baixa ou má qualidade de água que é distribuída ou está disponível aos moradores das grandes cidades em várias partes do mundo. Em muitas cidades, os sistemas de distribuição de água não impedem a perda de grandes volumes de água causada pela má conservação ou mesmo pelo roubo de água. Um habitante de favela geralmente paga muito mais (de 5 a 7 vezes mais) pela água, do que os cidadãos de classe média de países como os EUA.

A má qualidade de água pode ser responsável por mais de 80% das doenças que acometem os moradores dessas áreas, principalmente surtos de cólera, malária e diarreias. A cada dia, 5.000 crianças irão morrer de diarreia em alguma parte do mundo (UNEP/GEO-4, 2007).

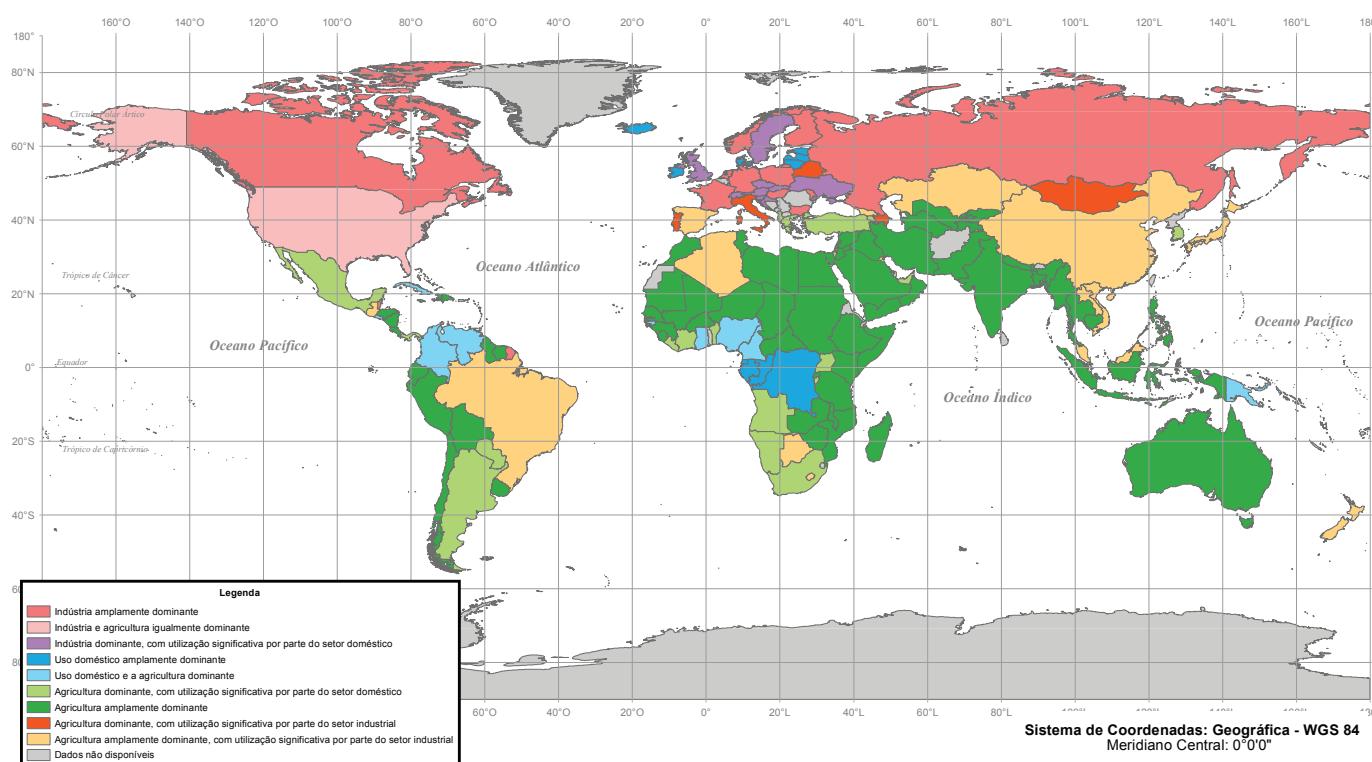


Figura 10.5 – Principais usos da água nos diferentes países do mundo.

### Percentuais de acesso ao saneamento no mundo, 2004

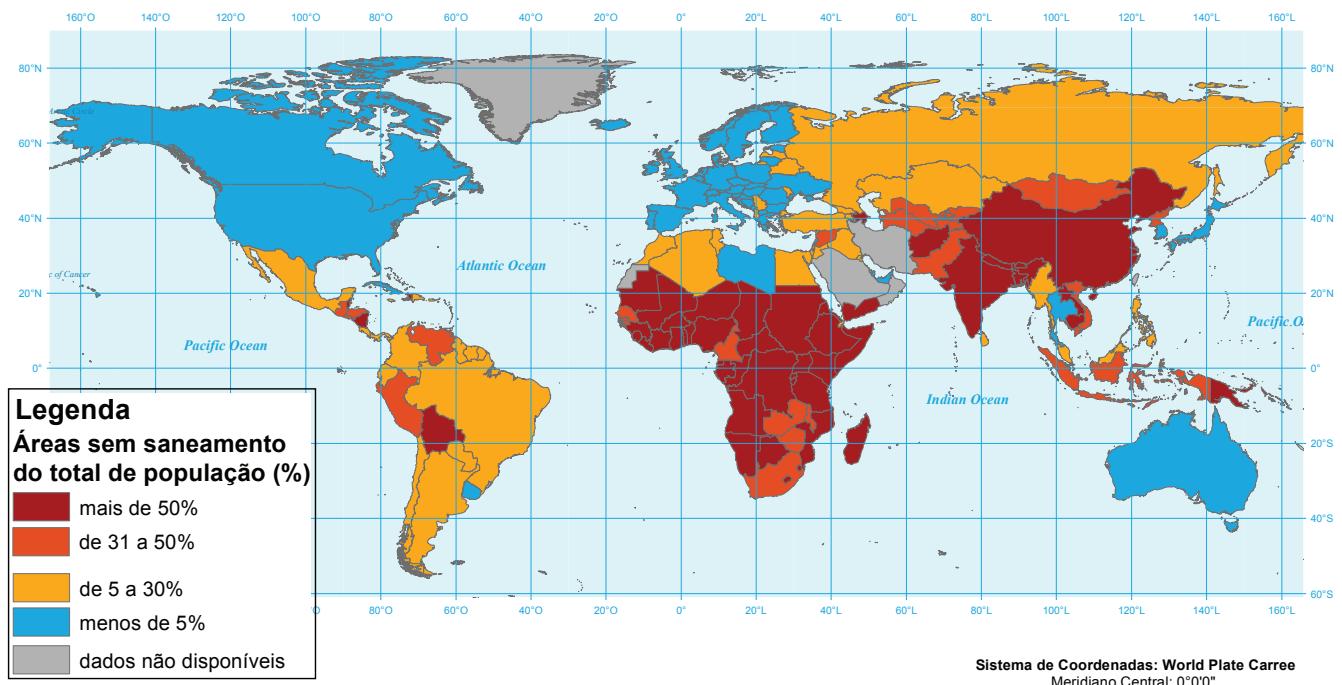


Figura 10.6 – Porcentuais de acesso ao saneamento, no mundo. Fonte: *World Health Organization* (WHO) e UNICEF.

O consumo de água para as diferentes atividades humanas está crescendo a uma velocidade de 64 bilhões de metros cúbicos por ano, ou seja, o equivalente a 64 km<sup>3</sup> ao ano. A maior parte dessa água vai para a agricultura (70%), mas o consumo de água nos centros urbanos vem aumentando. A demanda de água tratada para abastecimento público nas cidades é também da ordem de bilhões de metros cúbicos por dia (Fig. 10.6).

Atualmente, estimativas da ONU dão conta de que a população urbana em todo o mundo já supera os 7,2 bilhões de indivíduos (Worldometers, 2014). Desse total, cerca de 3,6 bilhões de indivíduos vivem em cidades. Se aplicarmos a esse número o consumo per capita de um país industrializado (EUA) e de um país em desenvolvimento (Brasil), veremos que as necessidades de consumo diário de água tratada variam entre 7,7 e 14,5 milhões de litros por segundo. A água armazenada no Reservatório de Furnas, o maior da Região Sudeste brasileira, com mais de 1.400 km<sup>2</sup> de extensão e 22,5 bilhões de m<sup>3</sup> daria para suprir a demanda de água tratada nas cidades por 33 dias, se considerarmos a demanda per capita do brasileiro. Se usarmos, as taxas de consumo típicas de um país industrializado, toda a água do reservatório de Furnas daria para atender a demanda de água nos centros urbanos pouco mais do que duas semanas (Fig. 10.7).

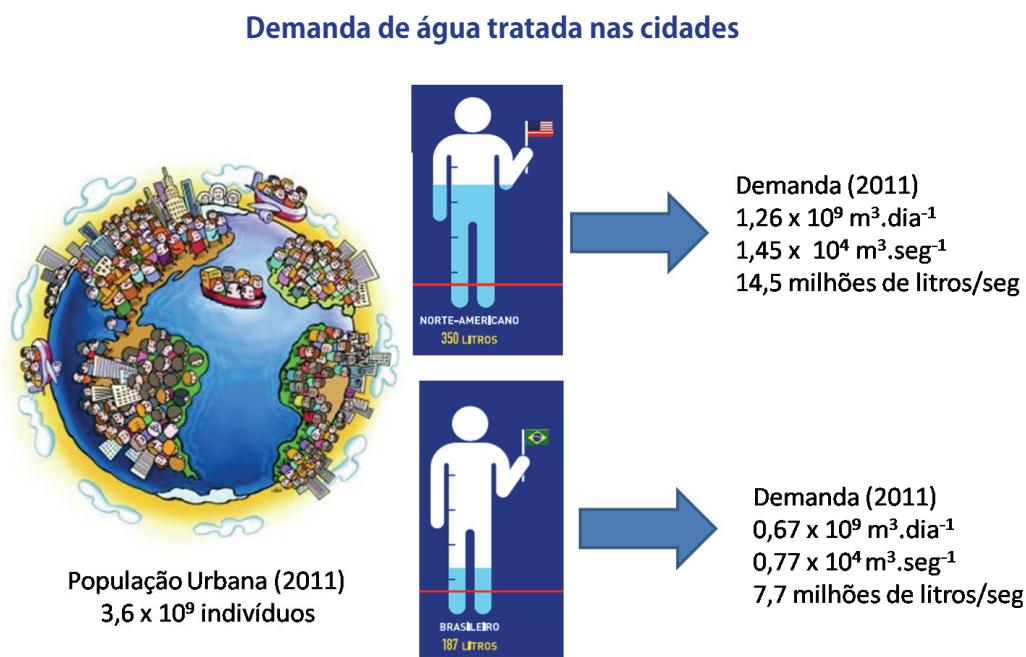


Figura 10.7– A população urbana, consumo per capita nos EUA e Brasil e estimativas de consumo de água tratada para a população mundial.



### 10.3- A vida nas cidades, o automóvel e as águas urbanas

É perfeitamente possível compatibilizar a vida em cidades com a integridade e a saúde das águas urbanas (Fig. 10.8). Entretanto, muitas vezes, a presença das cidades é uma ameaça constante à saúde ecológica de suas águas. Existem diversos fatores que contribuem para essa convivência tão complicada: (a) fatores históricos, culturais e sociais; (b) fatores geográficos e ambientais; (c) fatores econômicos.



Figura 10.8 – A cidade de Brugg, na Bélgica, é um bom exemplo de convivência harmoniosa entre uma cidade e as suas águas urbanas.

Muitas cidades surgiram ao longo dos rios. Seus habitantes foram acostumados a ver o rio como via de transporte e, não muito raro, como uma via pela qual podiam ser lançados todos os tipos de dejetos e descartes produzidos nas cidades. Em muitas cidades brasileiras, por exemplo, banhadas por rios, pode-se notar que as casas sempre têm as suas respectivas fachadas voltadas para a rua principal enquanto seus quintais dão as costas para o rio. O rio era visto principalmente como uma grande latrina e um grande depósito de lixo. Os administradores locais viam como um problema associado ao saneamento, muito mais do que um recurso e um patrimônio a ser preservado. Para se eliminar o “problema”, era (e ainda é) uma prática comum, a canalização dos rios e ribeirões em áreas urbanas, aplicando concreto e construindo longas avenidas ao longo dos rios. Esse tipo de intervenção muitas vezes torna a questão das enchentes urbanas ainda mais graves.

Os conflitos entre as águas urbanas e as cidades muitas vezes são aguçados por razões ligadas ao relevo, à hidrologia ou à Ecologia. Assim, quando o relevo é muito acidentado, são mais graves os efeitos de chuvas torrenciais sobre as cidades. Além das enchentes, são comuns os relatos sobre problemas da erosão de encostas que causam desmoronamentos e muitas mortes todos os anos. A dinâmica sazonal de muitos rios que mudam naturalmente seus cursos, a inundação sazonal das várzeas alagáveis são características ambientais combinadas ou não que podem piorar ainda mais a convivência pacífica entre a cidade e suas águas.

Como qualquer ecossistema, as águas urbanas podem sofrer de surtos de determinados organismos que podem causar problemas ao homem tais como o surto de mosquitos, de plantas aquáticas ou mesmo de vetores de doenças que afetam os seres humanos (Fig. 10.9). Esses eventos podem-se tornar ainda mais graves quando os ecossistemas estão fora de seu estado natural de equilíbrio, como frequentemente acontece com as águas urbanas.

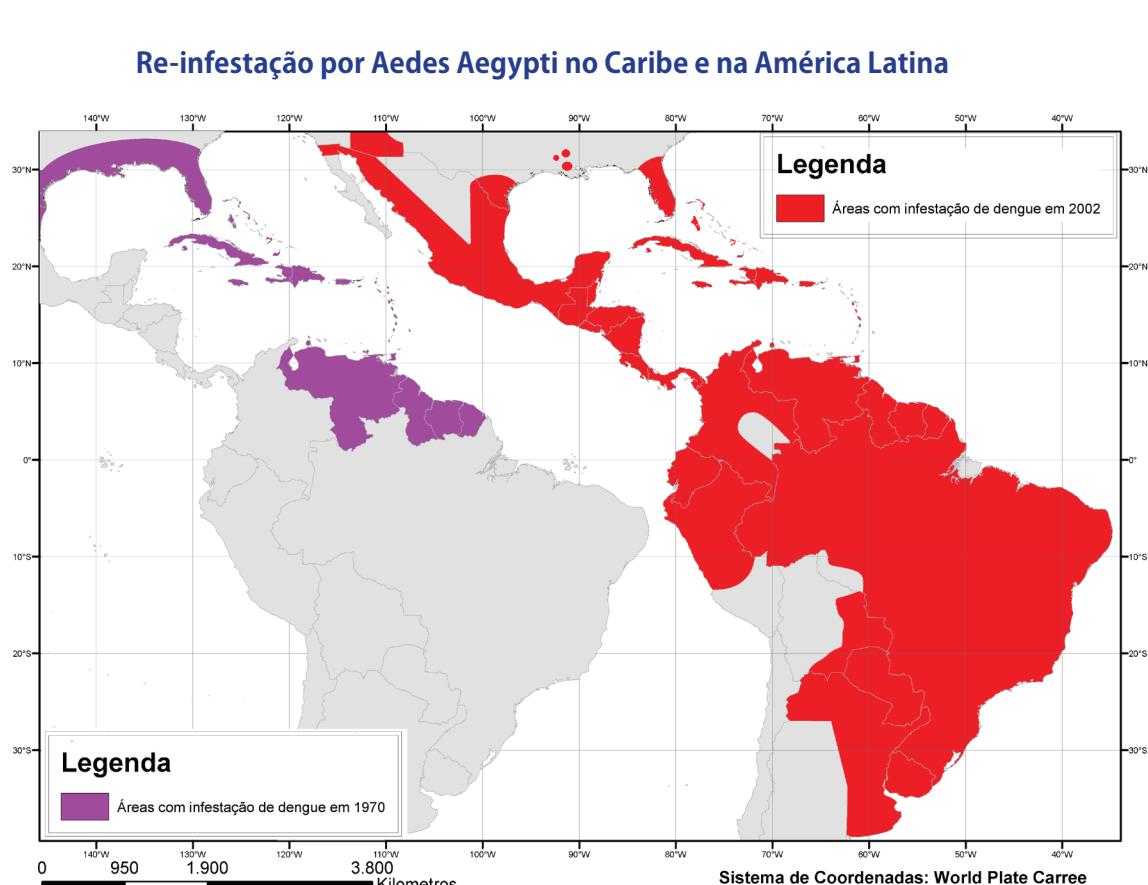


Figura 10.9 – A expansão de doenças de veiculação hídrica é uma realidade em áreas tropicais em todo o mundo. A enorme expansão da dengue na América do Sul está muito ligada à expansão das cidades e às más condições existentes em termos de saneamento urbano. O *Aedes aegypti*, mosquito transmissor do vírus da dengue, prolifera-se muito bem em uma série de habitats e biótopos associados às águas urbanas.

Comunidades de baixa renda ou mesmo favelas são uma paisagem comum de se ver ao longo dos rios e demais ecossistemas aquáticos localizados em áreas urbanas (Fig. 10.10). A concentração de populações de baixa renda em áreas próximas às águas urbanas torna muitas vezes a convivência entre as cidades e suas águas ainda mais difícil e arriscada.



Figura 10.10 – Uma guerra com dois perdedores. A convivência entre populações carentes e os recursos hídricos nas cidades do Brasil gera frequentemente imagens como a que está ilustrada. Nessa foto, vemos que o homem e o ecossistema aquático vivem uma guerra cotidiana onde um agride o outro a cada dia e cada qual sofre enormes prejuízos ao final.

Por outro lado, o oposto também pode ocorrer principalmente quando as águas urbanas são uma atração especial, seja pela sua beleza, seja pelos serviços ambientais que oferecem. Daí, temos a especulação imobiliária ao longo de praias, restingas, lagunas, lagoas e reservatórios com a sistemática invasão, pelo homem, de áreas litorâneas, de margens etc. Aterros, asfalto, barulho, lançamento de efluentes modificam rapidamente essas áreas de santuários naturais em problemas sérios de saúde pública.

Nada afeta mais a integridade e a saúde ambiental das águas urbanas do que o automóvel. O modelo de transporte urbano baseia-se no deslocamento das pessoas em seus automóveis particulares o que obriga os municípios a altos investimentos de infraestrutura de transporte urbano.

Estruturas, tais como vias pavimentadas e verticalização das moradias geram maior impermeabilização dos solos e maior pressão antrópica sobre os recursos hídricos (Fig. 10.11). Essas alterações estão diretamente associadas ao aumento da frequência e gravidade das enchentes urbanas, bem como induzem severas alterações no microclima das cidades, com o aparecimento das “ilhas de calor” (Melo, 2011).



Figura 10.11 – O aumento da frota de veículos nas grandes cidades, em todo o mundo, leva à crescente impermeabilização dos solos, à crescente emissão de gases formadores do efeito estufa. As mudanças climáticas e as alterações na drenagem urbana, associadas a esses dois fatores, levam ao aparecimento de grandes enchentes urbanas.



## 10.4 - Casos de Estudo

### 10.4.1- A crise das águas na cidade de São Paulo

São Paulo não é somente a capital do estado mais desenvolvido do Brasil, trata-se da cidade mais populosa do País e de toda a América do Sul. Está entre as dez cidades mais populosas do mundo e conta com mais de 20 milhões de pessoas morando em sua enorme região metropolitana. É o centro da economia, das indústrias e das finanças do Brasil. Ali se concentram mais de 10% de todo o PIB nacional. Além de exibir uma agenda de eventos religiosos, culturais e corporativos que não é igualada por outra cidade no continente, e é, ainda, o maior centro universitário do país. Cerca de 28% de toda a produção científica nacional estava concentrada em São Paulo no ano de 2005. Apesar de sua importância política, econômica e cultural, a cidade vive nos dias atuais (outubro de 2014) uma das piores crises no abastecimento público de água potável de sua história (Calixto & Imérico, 2014).

O principal sistema de abastecimento de água para a cidade é chamado de Sistema da Cantareira. Trata-se de um conjunto de represas interligadas entre si e é responsável por abastecer 9 milhões de habitantes na Grande São Paulo (Fig. 10.12). Pelas características climáticas da região que incluem um longo período de seca, normalmente concentrado entre os meses de maio e setembro, todo esse sistema depende das chuvas de verão. A situação piorou a partir de maio de 2014, após um período longo de estiagem em 2013 e de uma fraca estação chuvosa em 2014. Essa anomalia climática (seca) ocorreu em todo o Sudeste brasileiro, não apenas na Cantareira. Nos três primeiros meses de 2014, em vez dos esperados 600 milímetros, caíram menos de 300 milímetros na área de captação do sistema.

A falta de chuvas explica apenas parte do problema. O Sistema Cantareira existe desde a década de 1970. As represas que abastecem o sistema retiram água das bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Em 2004, a empresa concessionária de serviços de saneamento básico da cidade de São Paulo (SABESP) (que serve ainda outras cidades no estado de São Paulo), fez uma série de obras, visando obter uma nova outorga que permitisse o aumento do volume a ser retirado do Sistema Cantareira.

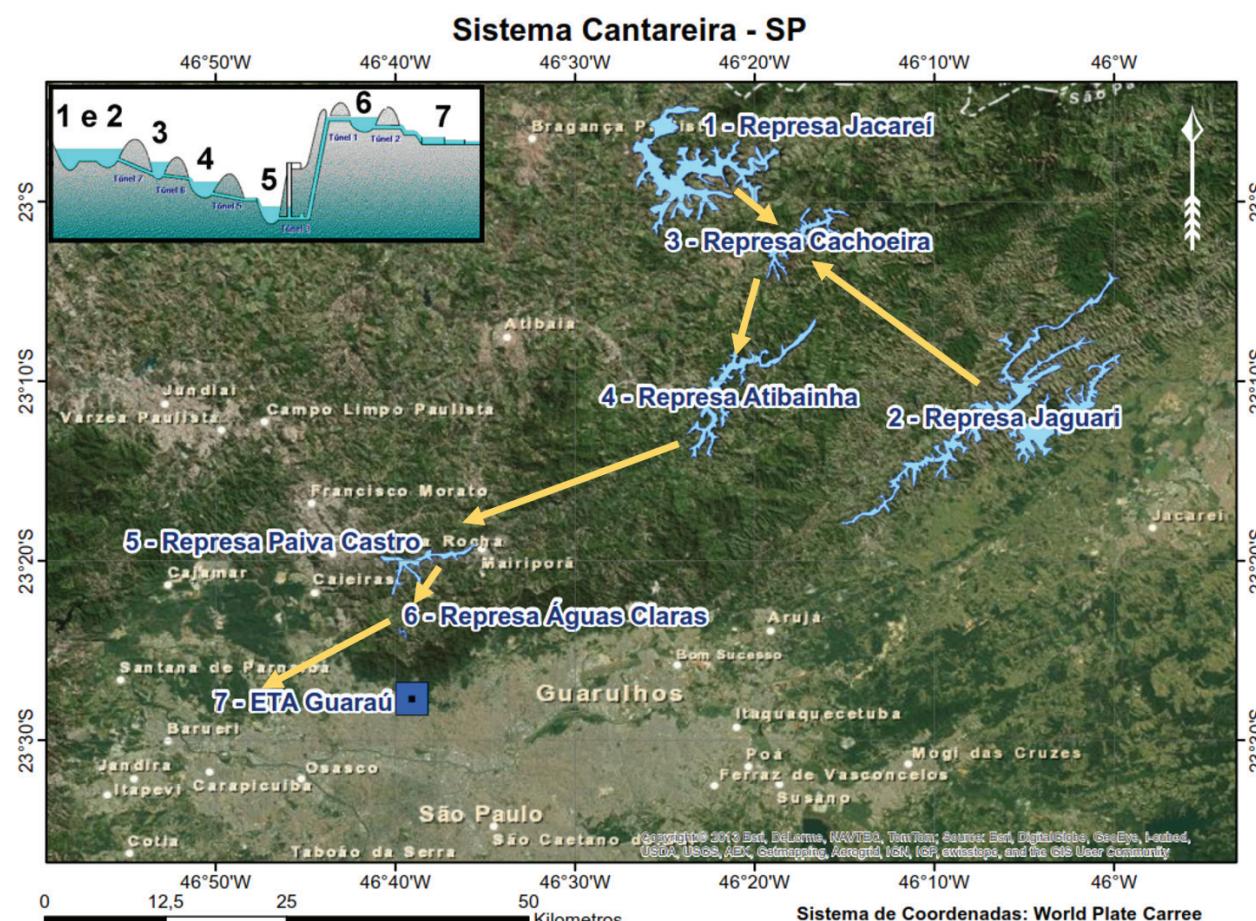


Figura 10.12 – O Sistema “Cantareira” não é o único mas é o principal sistema que garante o abastecimento de água tratada a pelo menos 10 milhões de pessoas na Grande São Paulo. O sistema é composto por um conjunto de reservatórios interligados por túneis. As águas dos demais reservatórios ao chegarem na Represa de Paiva Castro passam por uma estação elevatória que conduz essas águas até a Estação de Tratamento de Águas do Guarapiranga, após uma breve passagem pela Represa de Águas Claras.

O estado de São Paulo concedeu a outorga para a SABESP retirar 36.000 litros por segundo, mesmo sabendo que nem todas as obras previstas tinham sido concluídas. Muitos especialistas, na época dessa outorga protestaram principalmente por considerar que o volume acumulado dessas represas baseia-se em batimetrias antigas e que estão certamente defasadas. As bacias de captação de todos os reservatórios do Sistema da Cantareira vêm sofrendo com o desmate e com usos indevidos do solo. Além disso, o crescimento da demanda por água tratada supera a real capacidade de recarga de todo o sistema em épocas de seca como a que vivemos. Em síntese, a falta de planejamento e de monitoramento, as políticas públicas equivocadas, os usos inadequados do solo, o grande aumento do consumo de água e uma das piores secas da sua história acabaram por desencadear a maior crise de abastecimento das águas, na maior cidade do Brasil e da América do Sul.

### 10.4.1.2 - Como evitar a crise de abastecimento de água na cidade de São Paulo?

A seguir, estão listadas algumas medidas que devem ser tomadas para a reversão do atual quadro de escassez de água na cidade de São Paulo:

- a) reavaliar a real capacidade de estocagem de água nos reservatórios;
- b) alterar, readequar os múltiplos usos das bacias hidrográficas dos principais mananciais que abastecem a cidade de São Paulo;
- c) economizar água;
- d) reciclar água;
- e) evitar o desperdício de água na rede de abastecimento público
- f) modificar as leis municipais visando diminuir o uso *per capta* de água tratada no município;
- g) buscar novas fontes de água para a cidade de São Paulo (importar água de outras bacias).

Todas as medidas citadas dependem, no entanto, de ajustes na legislação, novas regulamentações, ações políticas integradas cujos resultados só poderão ser vistos a médio e a longo prazos. A reciclagem de água, por exemplo, não pode ser feita pelo cidadão comum sem uma perfeita regulamentação da matéria pelo Poder Público, já que essa reciclagem exige uma série de normas a ser observadas, tanto na reforma e ajuste de moradias, quanto na construção de novas unidades habitacionais (Fig. 10.13).

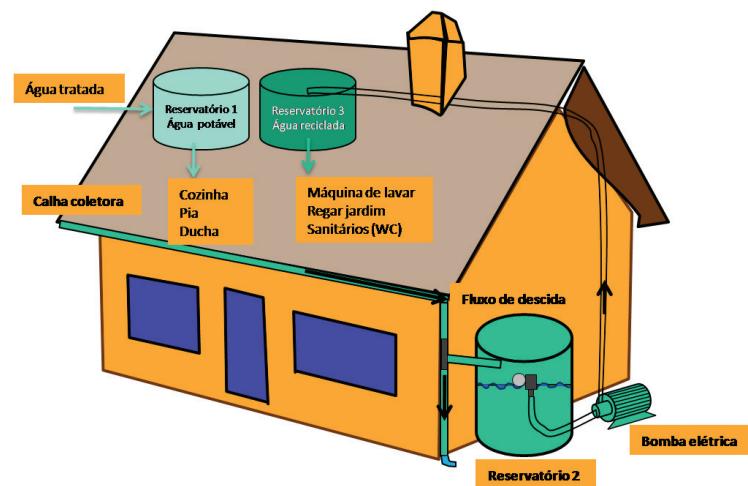


Figura 10.13 – A reciclagem de água nos domicílios é uma realidade, hoje, em vários países do mundo. No Brasil, no entanto, essa prática depende de legislação e normas específicas, bem como de apoio e financiamento do governo e de outras entidades envolvidas com a cadeia da construção civil (Pinto-Coelho, 2009).

### 10.4.2 – Represa da Pampulha, Belo Horizonte

O metabolismo das cidades interfere de várias maneiras no funcionamento das águas urbanas. O lançamento de esgotos e de efluentes industriais afeta principalmente os ciclos do nitrogênio e do fósforo. As alterações causadas pelo homem na ciclagem do fósforo são mais importantes pois, muitas vezes, o fósforo e não o nitrogênio é o elemento limitante regulador de todo o metabolismo de lagos e represas urbanas (Fig. 10.14).

As águas residuárias ou servidas (esgotos domésticos) são ricas em fósforo mesmo após sofrer tratamentos primário e secundário. O fósforo está presente nos dejetos não somente em virtude de sua presença nos excretas, mas também pelo fato de que os detergentes que são usados em várias partes do mundo (e o Brasil é ainda um desses casos) contêm polifosfatos. Os polifosfatos entram na composição dos

detergentes nas formas de tetrassodio pirofosfato ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) e pentassódio tripolifosfato ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ).

Alguns países e vários estados dos EUA já restringem ou mesmo proíbem a presença de fósforo na composição de detergentes. Na Europa, apenas 25% dos detergentes em pó contêm fósforo na sua composição. Outros países possuem legislação ainda mais severa, tal como é o caso do Japão, onde apenas 10% dos detergentes contêm algum fósforo em sua formulação química. No Canadá, a legislação permite um limite máximo de 2,2% em peso, enquanto no Brasil é tolerado um porcentual bem superior, ou seja, um valor médio de 3,5% (Alonso, 2012).

A remoção do fósforo dos esgotos domésticos é possível apenas com o tratamento terciário, uma alternativa de tratamento que não é muito utilizada na maioria dos países, mesmo industrializados, em virtude do seu alto custo operacional (Rybicki, 1997). Entretanto, recentemente têm surgido no Brasil tecnologias alternativas promissoras que permitem a remoção do fósforo de águas residuárias, a baixo custo (Lourdes et al. 2006).

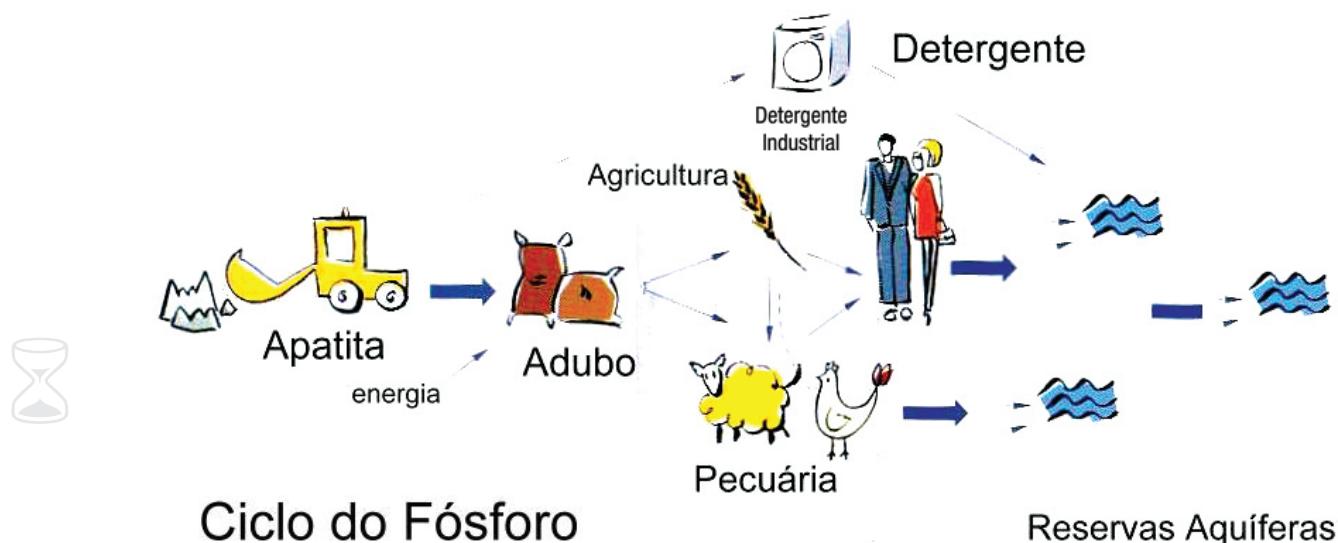


Figura 10.14 – Um dos principais problemas enfrentados pelos reservatórios refere-se à eutrofização. Esse fenômeno é caracterizado por um abrupto aumento na produção primária, ou seja, por um processo que leva a uma “capitalização” da biomassa de plantas no sistema. Essas plantas podem ser tanto microscópicas (fitoplâncton) quanto macroscópicas (macrofitas). A eutrofização é causada, na maioria dos casos, pela entrada indiscriminada de fósforo nos reservatórios. A Figura ilustra as diferentes formas de entrada desse nutriente nas águas superficiais bem como quais atividades humanas estão mais associadas ao aumento de fósforo nas águas. Fonte: Pinto-Coelho et al. (2012)

E quais são os resultados do aporte crescente do fósforo nas águas? O Reservatório da Pampulha é um pequeno reservatório urbano ( $A = 1,9 \text{ km}^2$ ), localizado na cidade de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, Brasil (Fig. 10.15). Em sua bacia hidrográfica, com cerca de  $98 \text{ km}^2$ , vivem cerca de 250 mil pessoas. Uma grande parte dos esgotos oriundos das residências chega sem qualquer tratamento à represa por meio de seus principais tributários que se localizam na porção oeste do reservatório. Em consequência, o lago mantém um padrão quase que constante de estratificação horizontal das concentrações de fósforo com um gradual aumento de suas concentrações em direção à entrada do canal que traz a água dos principais tributários, os Rios Ressaca e Sarandi. Esse padrão somente é desfeito durante a estação chuvosa, quando, então, ocorre uma intensa renovação da massa de água do reservatório.

Estudos conduzidos pelo Laboratório de Gestão de Reservatórios (LGAR) da UFMG demonstraram que existe uma forte associação espacial entre as concentrações de clorofila-a e as concentrações de fósforo (Fig. 10.16). O reservatório tem sido afetado por frequentes “blooms” de organismos fitoplantônicos, principalmente cianobactérias que podem ter efeitos tóxicos (De Mott et al. 1991)

**O ecossistema do reservatório da Pampulha**  
**Um complexo de três lagos distintos, uma área úmida degradada e um parque ecológico**

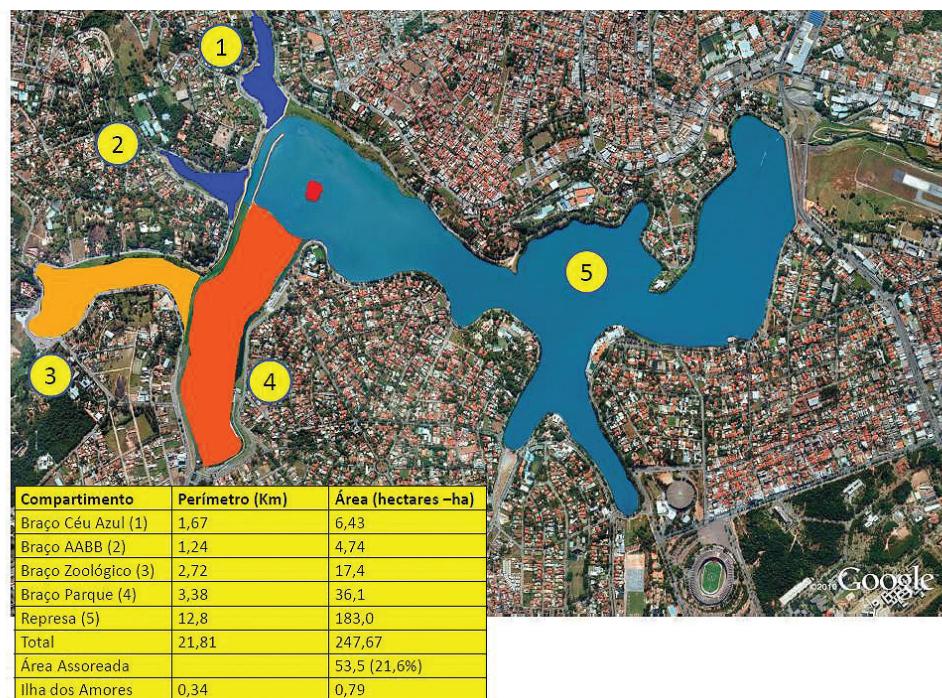
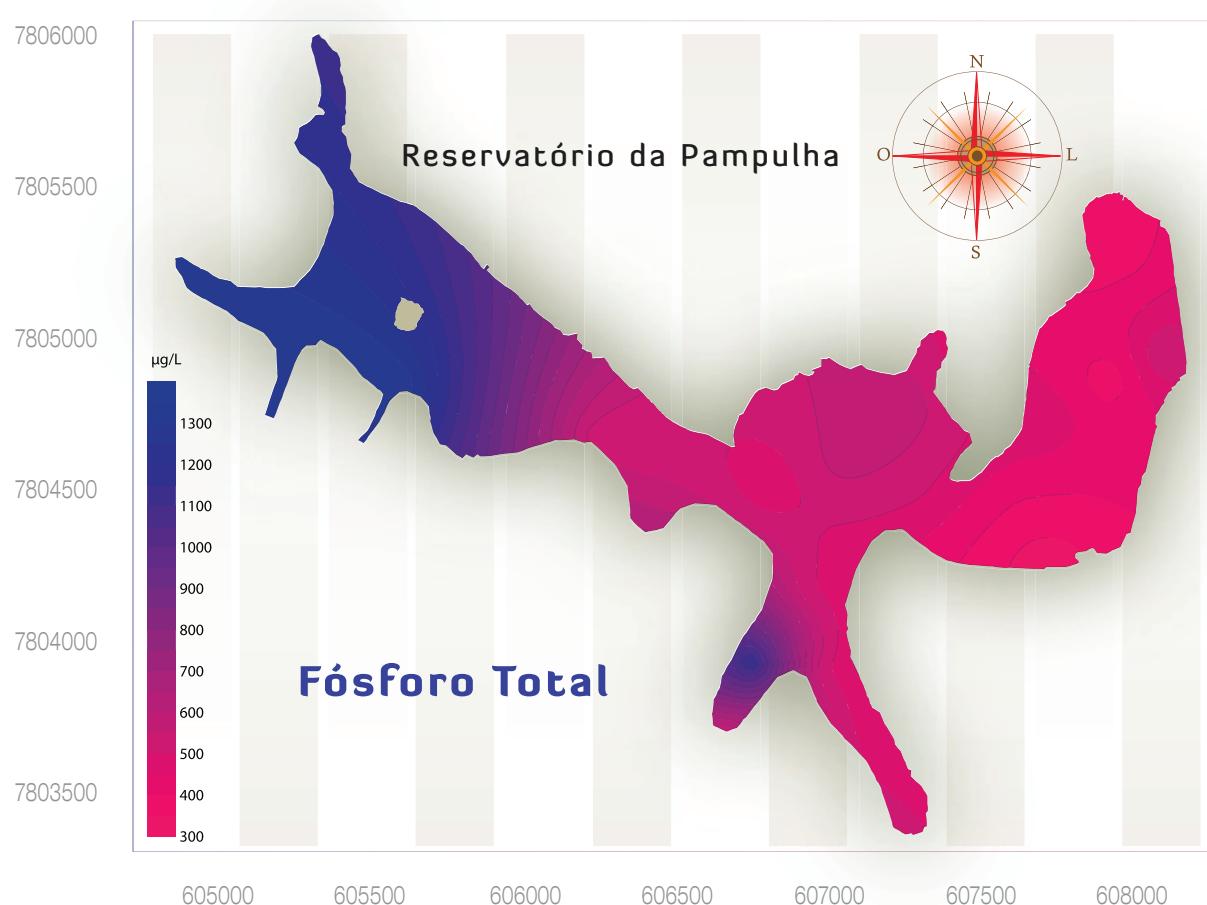


Figura 10.15 – Reservatório da Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. A Represa está situada na porção norte da cidade, em uma área densamente habitada. À direita da barragem está o Aeroporto da Pampulha. Pode-se ainda ver o estádio de futebol, O Mineirão, anexo ao Campus da UFMG (Pinto-Coelho, 2012).



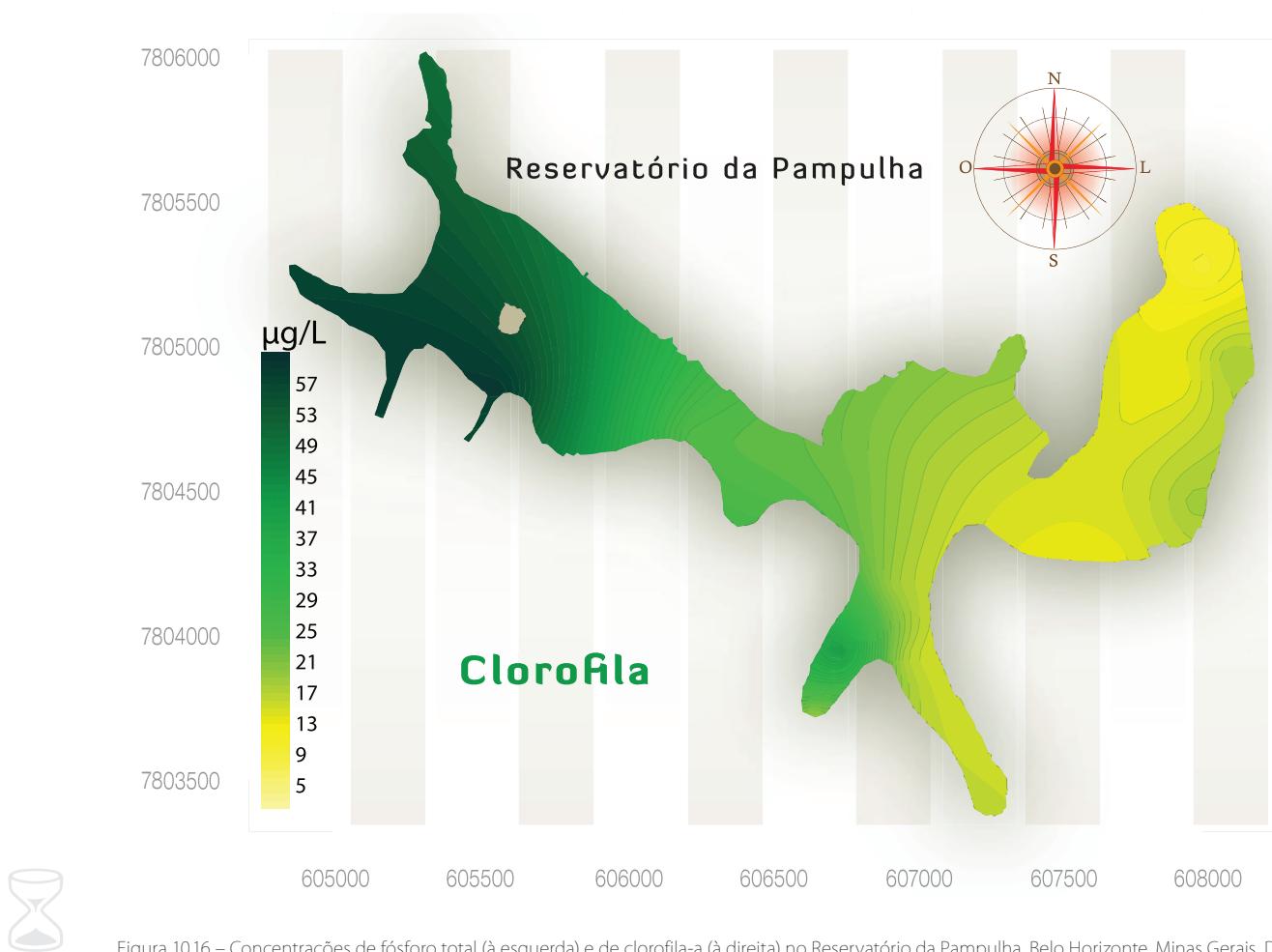


Figura 10.16 – Concentrações de fósforo total (à esquerda) e de clorofila-a (à direita) no Reservatório da Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. Dados obtidos a partir do Programa de Monitoramento Plurianual do reservatório conduzido pelo Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios (LGAR) da UFMG. Fonte: Pinto-Coelho et al. (2012).

O excesso de fósforo no reservatório causa a sua hipereutrofia, um fenômeno que afeta centenas de reservatórios urbanos em todo o mundo. A hipereutrofia é caracterizada por concentrações elevadas de nutrientes (N e P). As águas desses ambientes tornam-se turvas com elevados teores de clorofila-a ou de outros tipos de sólidos em suspensão. Há um permanente déficit de oxigenação das águas nas partes mais profundas do reservatório e mortes frequentes de peixes. Nessa condição, as águas são impróprias mesmo para o contato primário e, em muitos casos, podem exalar fortes odores típicos da decomposição anaeróbica dos sedimentos (o tradicional cheiro de “ovo podre” decorrente do acúmulo do gás sulfídrico ( $H_2S$ )).

O Reservatório da Pampulha, sendo um ambiente hiper-eutrófico, assim como a maioria dos lagos e reservatórios nessas condições, exibe, em determinadas épocas do ano, um crescimento excessivo de plantas aquáticas, as chamadas macrófitas. Essas plantas, quando suas populações estão fora de controle, além de exercerem um impacto visual negativo, permitem a propagação de vetores de doenças, tais como moluscos e insetos. O seu manejo é difícil, caro e normalmente exerce um peso político muito negativo aos gestores locais.

A Prefeitura de Belo Horizonte, em parceria com o governo do estado de Minas Gerais está colocando em prática um ambicioso projeto de restauração ecológica da Represa da Pampulha. Esse projeto está sendo executado em três etapas distintas: (a) retirada e tratamento dos esgotos que ainda entram pelos principais tributários da represa; (b) retirada dos sedimentos que causam o assoreamento de grande parte do espelho d’água e (c) recuperação da qualidade de água da represa. As duas primeiras fases devem ser concluídas em 2014, e a terceira deverá estar concluída em 2016.



Figura 10.17 – Um dos maiores impactos associados à construção dos reservatórios é o gradual acúmulo de nutrientes que as águas represadas possibilitam. Esse aumento de nutrientes, principalmente o fósforo e o nitrogênio, acaba por favorecer o aparecimento da eutrofização. Um dos eventos mais frequentes que refletem a eutrofização dos reservatórios é o aparecimento de extensas populações de plantas aquáticas, as macrofitas, que podem ocupar grandes porções da área alagada, como visto na Represa da Pampulha, em Belo Horizonte (Foto: RMPC).



## 11 - Educação para as águas

A educação sempre foi vista como um instrumento impulsionador da transformação social. Uma das mais importantes funções da educação é a possibilidade de ser usada como via para a mobilidade social. Sem dúvida alguma, trata-se de uma chave tanto para o progresso individual, quanto do grupo social envolvido.

Os investimentos em educação têm muitos outros aspectos relevantes, além de incentivarem a mobilidade e o bem-estar social. É sabido que vários indicadores associados à saúde pública, à paz, à justiça social e à conservação do meio ambiente estão muito ligados ao grau de investimentos que um determinado país aplica em educação. Por conseguinte, acreditamos que a crise nas águas tem muito a ver com os investimentos em educação.

A partir dos anos noventa, principalmente após a Conferência Rio 92, e do documento que dela resultou, a Agenda 21, uma nova e desafiadora dimensão foi incluída na educação básica, a educação ambiental. Essa nova visão encoraja o desenvolvimento e a adaptação de uma série de práticas educacionais dentro de um contexto marcado pela degradação permanente do meio ambiente e do seu ecossistema. Nesse contexto, surge a ideia de sustentabilidade. Esse conceito implica em reconhecer que existe uma limitação nas possibilidades de crescimento o que contradiz com a maioria dos modelos econômicos vigentes. Assim, a educação ambiental traz em seu corpo central de conhecimentos não só o desafio da mudança de paradigmas vigentes, mas também o desenvolvimento de um sentimento de corresponsabilização e de constituição de toda uma nova ética voltada à preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais.

Apesar dos avanços, tais como o desenvolvimento de programas e conteúdos ligados à educação ambiental, é clara a noção de que algo mais precisa ser feito, quando falamos sobre a crise nas águas.



Figura 10.17 – Um dos maiores impactos associados à construção dos reservatórios é o gradual acúmulo de nutrientes que as águas represadas possibilitam. Esse aumento de nutrientes, principalmente o fósforo e o nitrogênio, acaba por favorecer o aparecimento da eutrofização. Um dos eventos mais frequentes que refletem a eutrofização dos reservatórios é o aparecimento de extensas populações de plantas aquáticas, as macrófitas, que podem ocupar grandes porções da área alagada, como visto na Represa da Pampulha, em Belo Horizonte (Foto: RMPC).



## 11 - Educação para as águas

A educação sempre foi vista como um instrumento impulsionador da transformação social. Uma das mais importantes funções da educação é a possibilidade de ser usada como via para a mobilidade social. Sem dúvida alguma, trata-se de uma chave tanto para o progresso individual, quanto do grupo social envolvido.

Os investimentos em educação têm muitos outros aspectos relevantes, além de incentivarem a mobilidade e o bem-estar social. É sabido que vários indicadores associados à saúde pública, à paz, à justiça social e à conservação do meio ambiente estão muito ligados ao grau de investimentos que um determinado país aplica em educação. Por conseguinte, acreditamos que a crise nas águas tem muito a ver com os investimentos em educação.

A partir dos anos noventa, principalmente após a Conferência Rio 92, e do documento que dela resultou, a Agenda 21, uma nova e desafiadora dimensão foi incluída na educação básica, a educação ambiental. Essa nova visão encoraja o desenvolvimento e a adaptação de uma série de práticas educacionais dentro de um contexto marcado pela degradação permanente do meio ambiente e do seu ecossistema. Nesse contexto, surge a ideia de sustentabilidade. Esse conceito implica em reconhecer que existe uma limitação nas possibilidades de crescimento o que contradiz com a maioria dos modelos econômicos vigentes. Assim, a educação ambiental traz em seu corpo central de conhecimentos não só o desafio da mudança de paradigmas vigentes, mas também o desenvolvimento de um sentimento de corresponsabilização e de constituição de toda uma nova ética voltada à preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais.

Apesar dos avanços, tais como o desenvolvimento de programas e conteúdos ligados à educação ambiental, é clara a noção de que algo mais precisa ser feito, quando falamos sobre a crise nas águas.

Se, mesmo em países com alto grau de acesso às escolas, podemos identificar claros sinais de crescente degradação ambiental, o que dizer então dos países onde os investimentos em educação são muito mais retraídos?

O acesso à universidade é fundamental, para que possamos melhor proteger e conservar os recursos hídricos. Somente o ensino universitário é capaz de produzir engenheiros sanitários, ecólogos, hidrólogos, médicos e vários outros tipos de profissionais necessários, para que se possa cumprir essa tarefa de modo adequado. É possível aumentar os padrões de sustentabilidade ambiental de um país sem ter que esperar pela formação de tantos profissionais no ensino superior?

A Figura 11.1 resume o acesso ao ensino universitário em 36 países, sendo a maioria deles pertence à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). O Brasil ocupa uma das últimas posições dentre os países selecionados. Apenas 12% dos jovens brasileiros com idade entre 25 e 34 anos, uma faixa etária caracterizada pelo início da vida profissional, têm acesso à universidade. Na Coreia do Sul, por exemplo, esse porcentual sobe para 63%. Dentre os países sul-americanos, destaca-se o Chile com um acesso de 35% para os jovens dessa mesma faixa etária.

**Taxa de escolaridade superior para jovens de 20 a 24 anos:  
Países selecionados - 2007**

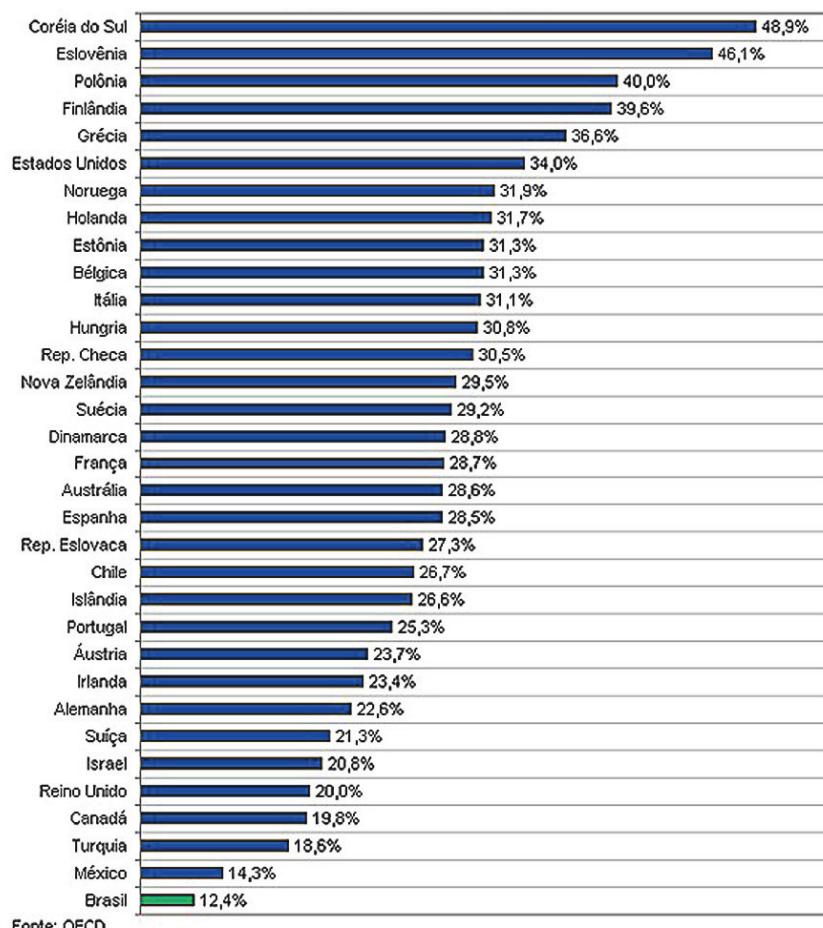


Figura 11.1 – Porcentuais de acesso ao ensino superior entre a população jovem (20-24 anos) em alguns países (OECD).

Uma das conclusões que podem ser tiradas da Figura 11.1 é a de que não se pode esperar tanto tempo para que países, tais como o Brasil, possam mudar radicalmente os porcentuais de acesso à universidade e, assim, promover uma mudança em direção a conservação e sustentabilidade dos recursos hídricos. A solução para a crise nas águas não pode esperar o tempo necessário para que os efeitos da universalização do ensino universitário cheguem à maior parte da população de países como o Brasil. O que fazer então? A possível resposta para essa questão está na chamada “educação popular”.

A educação popular é um método que valoriza os saberes prévios do povo. Trata-se de uma forma de educação comprometida e participativa voltada à realização de todos os direitos do povo. A principal característica da educação popular é utilizar o saber da comunidade como matéria-prima para o ensino. A educação popular pode ser aplicada em qualquer contexto, mas as aplicações mais comuns ocorrem em áreas de conflitos sociais, tais como assentamentos rurais, em aldeias indígenas e no ensino de jovens e adultos de favelas ou mesmo em processos educativos no Sistema Único de Saúde (SUS).

A educação popular não requer, mas também não exclui, os domínios restritos e formais do ensino: a pré-escola, o ensino fundamental, o ensino médio, a universidade, e mesmo os programas de alfabetização. É uma forma diferente da educação tradicional, porque não é uma educação imposta, já que se baseia no saber da comunidade. A educação popular incentiva o diálogo. Por outro lado, não se trata de uma forma de educação informal já que possui uma relação horizontal e diferenciada entre educador e educando. A educação popular pressupõe maior abertura dos espaços do ensino e requer uma escola aberta a diferentes grupos sociais. Os conteúdos e os programas pedagógicos são muito mais flexíveis e dinâmicos e não há a obrigatoriedade de obter um diploma ou grau acadêmico. Ela visa à formação de sujeitos com conhecimentos específicos e necessários para se atingir um determinado objetivo dentro de uma noção trabalhada de cidadania e pertencimento ao lugar. A educação popular, ao contrário da educação formal, pode atingir muitos dos segmentos da população de países como o Brasil os quais, tradicionalmente, ficam excluídos do ensino formal, notadamente do ensino superior.

O enorme acervo de conhecimentos hoje existente sobre a questão ambiental e sobre os recursos hídricos não pode ser acessado, assimilado ou mesmo digerido pela sociedade em geral já que está codificado, armazenado e estocado nas prateleiras do saber acadêmico strictu sensu. Uma das razões que podem explicar esse aparente paradoxo do excesso de conhecimento que não é acessível a todos é a falta do que a UNESCO apregoa como sendo “educação para as águas” que é uma forma de educação popular e ambiental que envolve vários segmentos da sociedade civil. O conhecimento sobre a realidade do meio ambiente deve ultrapassar os muros das universidades e do ensino formal e deve ser assimilado por comerciários, marceneiros, frentistas, motoristas de ônibus e de taxi, comissárias de bordo, marceneiros, manicures etc.

Segundo a UNESCO, a chamada “educação para as águas” é um tipo de educação popular. E ela vem estimulando, cada vez mais, a prática universal dessa forma de ensino, pois só o ensino formal não seria capaz de produzir, a curto prazo, as mudanças sociais, políticas e econômicas necessárias para impedir o avanço ou mesmo reduzir a degradação ambiental que cerca a todos nós. O primeiro passo para a adoção desse novo paradigma no ensino é ampliar, disseminar e democratizar o conhecimento sobre as questões relativas ao meio ambiente. Isso significa promover acesso imediato e claro a todas as informações ambientais pertinentes que, por sua vez, devem estar disponíveis a amplos segmentos sociais.

Controlar e mesmo recuperar a qualidade global das águas envolve necessariamente um maior comprometimento ambiental (e de recursos) em todas essas cadeias produtivas, da classe política e da mídia em geral. A educação para as águas pode contribuir para a adoção do chamado “consumo consciente”. Esse novo comportamento de consumo mais sustentável pode ser adquirido pelos cidadãos ao desenvolverem uma consciência mais crítica e uma capacidade de avaliar melhor a relação entre a degradação ambiental e as diferentes cadeias de produção, tais como as cadeias do agronegócio, da hidreletricidade, da petroquímica ou da indústria automobilística. Processos usados pelos diferentes agentes econômicos, tais como o “green laundering” e o “green marketing” que, muitas vezes, procuram confundir o cidadão e mantê-lo mal informado sobre os reais impactos ambientais causados por uma



dada cadeia produtiva poderão ser mais facilmente identificados e rejeitados pela sociedade.

A UNESCO está apoiando em diversas partes do mundo, através de chancelas oficiais, a criação de centros de educação para as águas cujo modelo pode ser visto na Figura 11.2. A ideia é mudar o paradigma da educação para as elites e promover uma grande socialização do conhecimento ambiental que passa a ser desfrutado por amplos segmentos da sociedade, que hoje tem acesso muito restrito às universidades, sejam públicas sejam privadas. A ênfase é dada a cursos, projetos e outras ações de extensão que têm por objetivo central repassar conhecimentos teórico-práticos que possam ser usados imediatamente pelo público-alvo pretendido. Exemplos desses cursos podem ser: (a) irrigação e meio ambiente para agricultores, (b) aquicultura intensiva e sustentável para pescadores, (c) reciclagem e coleta seletiva para sucateiros etc.

### Pesquisa de capacitação em recursos hídricos

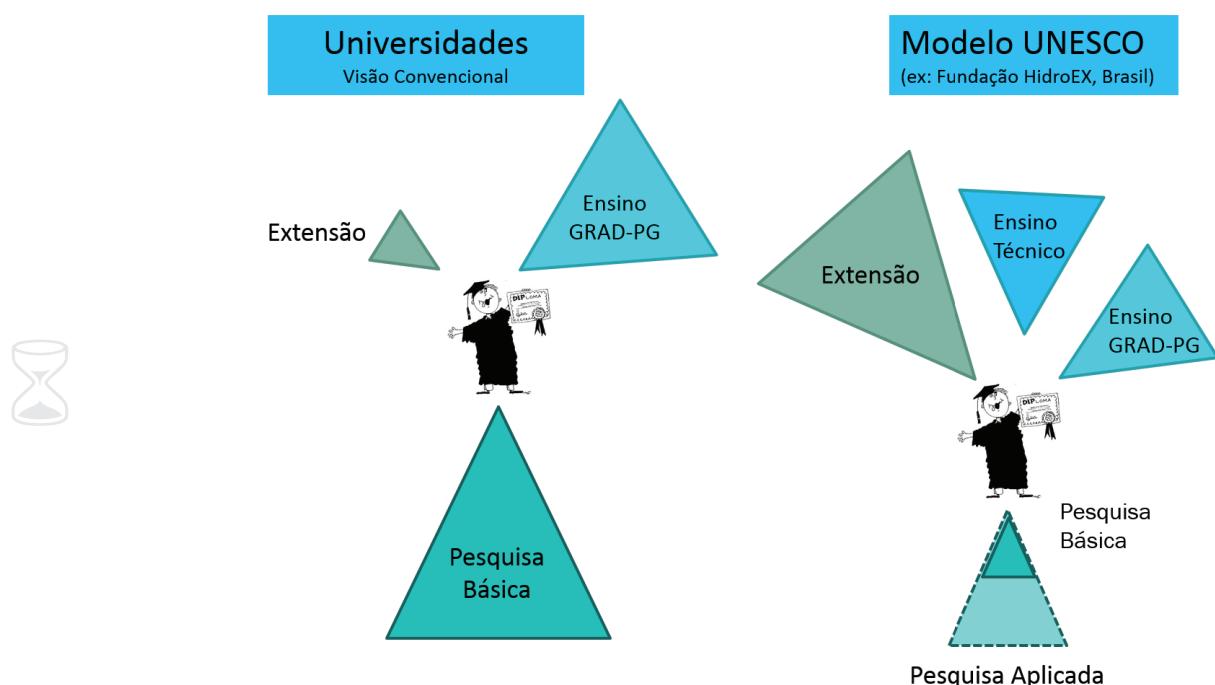


Figura 11.2 – O modelo pedagógico dos centros UNESCO não exclui cursos de graduação e pós-graduação “strictu sensu” mas, por outro lado dá uma grande abertura aos chamados programas de extensão que têm a capacidade de atender um público-alvo muito maior e, assim, promover uma rápida mudança de comportamentos na sociedade.

É muito comum encontrarmos uma certa aversão às atividades extencionistas nas universidades de alguns países em desenvolvimento. Essa postura justifica-se, em parte, pela grande necessidade que essas universidades mais jovens compartilham entre si de serem reconhecidas como centros de produção de saber tipicamente acadêmico. As atividades de extensão são vistas como um “desvio” de rota, como uma perda de foco central que deve ser dado ao ensino formal e à atividade científica “strictu sensu”. A atividade de extensão não é priorizada, mas apenas tolerada, e os docentes, que a esse tipo de atividade se dedicam, não desfrutam, em geral, de boa reputação junto aos seus pares.

Os centros UNESCO relacionados com a questão da conservação e recuperação dos recursos hídricos são divididos em duas categorias (centros categorias I e 2, respectivamente). Apesar de atuarem no ensino formal mantendo cursos de graduação e de pós-graduação, eles têm uma vocação especial para as ações extencionistas. Atualmente, apenas o *Institute for water Education* (IHE) (<http://www.UNESCO-ihe.org/working-UNESCO-ihe>) é o único centro da UNESCO que possui a categoria I. O IHE é o maior estabelecimento de ensino de pós-graduação internacional de água no mundo. O instituto está

localizado na cidade de Delft, Holanda. Fornece uma ampla variedade de programas de capacitação e ainda confere graus de mestrado e doutorado, em colaboração com universidades parceiras na Holanda. Fundado em 1957 e mantido pela Coroa Real Holandesa, o Instituto já formou mais 14.500 profissionais de água de mais de 160 países. O Instituto conta com uma população de 180 funcionários permanentes dos quais 90 são dos quadros científicos e cerca de 250 professores convidados de universidades e empresas contribuem para os programas educacionais. Anualmente, cerca de 750 profissionais da água de todo o mundo participam dos vários programas educativos do IHE. Esta instituição é uma prova concreta de que a “educação para as águas” pode conviver perfeitamente com o ensino formal e, ao mesmo tempo, promover uma incontável lista de ações ligadas à extensão.

A rede de Centros UNESCO relacionados com as águas está crescendo rapidamente. Temas como irrigação, aquicultura, educação para as águas, drenagem urbana, desastres ambientais, zonas áridas são tratados de modo específico em cada um deles (Fig. 11.3).

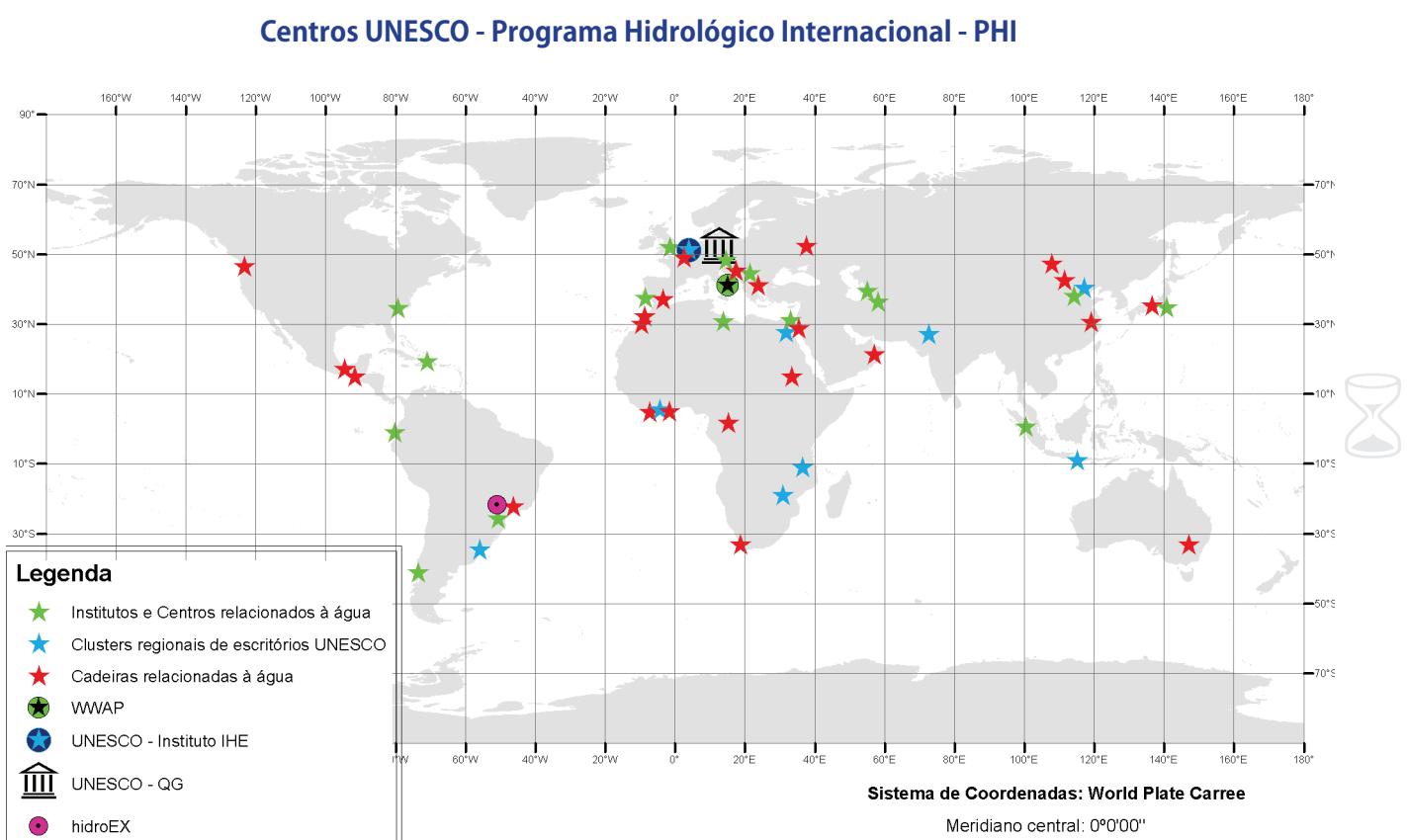


Figura 11.3 – Centros UNESCO relacionados com recursos hídricos no mundo. No Brasil, existem dois centros localizados, respectivamente em Foz do Iguaçu, PR (Usina de Itaipu) e Frutal (Campus da UEMG-HidroEX).

Durante os anos de 2010 e 2011, tive o prazer de desfrutar da companhia do prof. Dr. Richard Meganck, trabalhando em equipe na Fundação UNESCO-HidroEX, um centro de categoria II, localizada no Campus da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), em Frutal (MG). O prof. Meganck foi reitor do IHE em Delft, em 2003. Além dessa importante missão, o professor coleciona uma série de importantes postos acadêmicos e missões internacionais, a serviço de órgãos tais como a OEA, ONU etc. Atuou em mais de 100 países, ao longo dos últimos trinta anos. Atualmente, o prof. Meganck ocupa uma cátedra na Faculdade de Ciências Florestais da Oregon State University (OSU).

Em um recente artigo, o prof. Meganck constata a incapacidade do sistema mundial de educação formal de atender os enormes desafios gerados pela atual crise nas águas. Somente no continente africano,

existe uma demanda imediata de aumentar os recursos humanos em pelo menos 300%, para que haja um mínimo de esperança em impedir a grande degradação observada nos diversos ecossistemas aquáticos dessa região (Meganck, 2010). O professor ainda propõe um plano de sete metas para que seja possível ao sistema mundial de C&T combater a atual crise nas águas:

- (1) aumentar enormemente as relações acadêmicas (troca de estudantes, de professores, créditos, projetos etc.), entre os países desenvolvidos do norte e os países emergentes ou em desenvolvimento do Hemisfério Sul.
- (2) O mundo acadêmico deve aceitar que a pesquisa aplicada é tão importante quanto a pesquisa básica e empírica.
- (3) Todos os países devem aprimorar ao máximo os mecanismos de troca e compartilhamento de dados hidrológicos e ambientais, bem como deve haver um maior suporte financeiro dos países ricos do norte à pesquisa realizada em Ciências Ambientais nos países do Hemisfério Sul.
- (4) O Hemisfério Norte deve desistir da ideia de ter uma posição hegemônica, quando se trata de pesquisa em Ciências Ambientais ou qualquer outro tipo de pesquisa que resulte em um aumento do bem-estar ou em melhores condições de vida das populações humanas em geral. O compartilhamento de informações, tecnologias e recursos nessa área deve ser uma prioridade mundial.
- (5) Os acadêmicos e editores de revistas científicas “top” do Hemisfério Norte devem incentivar ao máximo seus colegas (principalmente os jovens pesquisadores) do Hemisfério Sul em publicarem nessas revistas. Quando necessário, eles devem disponibilizar todo o suporte para que essa meta seja alcançada.
- (6) Abandonar a visão assistencialista que prevalece no Hemisfério Norte quando se trata das relações bilaterais de cooperação científica com países do Hemisfério Sul. Não se trata de doar nada e sim de investir no futuro e na preservação de toda a humanidade.
- (7) Deve haver um maior envolvimento da comunidade acadêmica tanto no norte quanto no sul com programas não formais de educação, tais como a “educação para as águas”. Aumentar enormemente o networking entre instituições e pessoas interessadas em superar a atual crise nas águas.



## 11.1 - Educação para as águas no Brasil

É fato que a sociedade humana moderna não se relaciona harmonicamente com outras espécies vivas ou com o meio ambiente. No Brasil, não é diferente, e a relação do homem moderno com a água no País é também muito conflituosa. Quase sempre, essa relação exibe contradições internas importantes. Portanto, qualquer modelo pedagógico de educação para as águas deve ressaltar quais são as relações entre as águas e as estruturas de poder. As águas afetam e são afetadas pelas transformações sociais e econômicas observadas nas diferentes nações. Essa é uma condição *sine qua non* para a construção de uma postura crítica e efetivamente transformadora na sociedade. Além desse pressuposto básico, três outras questões relevantes ainda devem ser observadas.

Em primeiro lugar, devemos instrumentar a sociedade para que ela perceba o fato de que há uma efetiva degradação das águas com a qual estabelecemos uma relação duradoura com base na simples convivência com o problema, mas que muitas vezes pode ser melhor caracterizada pela negligência ou mesmo apatia. Aprendemos a aceitar a degradação das águas como um fato normal: poluição, desperdício e concorrência com outras atividades humanas, contaminação de lençóis freáticos, assoreamento de leitos de cursos superficiais de água, destruição e descaracterização de suas margens, introdução de espécies exóticas, proliferação de pragas águas, dentre tantos outros.

Em segundo lugar, há uma relação extremamente desigual entre diferentes grupos sociais e a água. Essa

desigualdade social no acesso às águas pode ser observada entre diferentes regiões, entre diferentes estados da federação ou mesmo entre países. A disponibilidade hídrica e o acesso às águas são tão desiguais que se pode falar em escassez mesmo em regiões com grandes ofertas de água, dependendo do grupo social considerado. Essas diferenças são definidas por questões políticas, econômicas e sociais e raramente por questões ligadas ao meio ambiente.

Em terceiro lugar, há uma diferença do valor que a água assume em diferentes circunstâncias. A água pode ser vista como um recurso a ser pago; pagamos pelo quanto usamos de água em nossos domicílios. Num segundo momento, a água é vista como um bem totalmente disponível, um elemento que compõe uma paisagem natural. Em outros momentos, passamos a ver a água como um recurso econômico passível de ser explorado por uma indústria hidroelétrica ou por um projeto de irrigação, por exemplo. E nem sempre esse uso é devidamente pago como deveria. A água ainda pode ser vista como uma alternativa de lazer, como um elemento central da cultura ou um elemento chave para a religião. Qualquer proposta de educação para as águas, que não considere essas formas de se valorizar as águas corre o risco de se tornar uma ação inócuia, ou pior, geradora ou amplificadora das desigualdades ora existentes.

O governo do Brasil consolidou, a partir dos anos 90, vários instrumentos políticos que visam ao desenvolvimento da educação para as águas no País (Tab. 11.1). Duas leis muito importantes para a educação das águas no Brasil foram aprovadas na década de 1990: A lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e a lei Nº 9.795, de 27 de abril de 1999. A Lei 9.433 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil. A Lei 9.795 dispõe sobre a educação ambiental (EA) e institui a Política Nacional de Educação Ambiental no País.

A Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), criada pela Lei 9.795/99, estabelece, como um dos objetivos estratégicos, o incentivo à participação individual e coletiva, permanente responsável, voltada à preservação do equilíbrio do meio ambiente. A PNEA parte do pressuposto de que a defesa da qualidade ambiental é um valor inseparável do exercício da cidadania. Ela visa à construção de uma cultura da participação qualificada por meio do diálogo. Ela também almeja favorecer o acesso da sociedade a informações claras sobre a realidade socioambiental, com foco nos usos e usuários da água, nos conflitos e impactos associados a esses usos. A qualidade da água, os papéis dos diferentes atores sociais e os instrumentos da PNRH são destacados como pontos focais da PNEA.

Em 2004, foi criada a Câmara Técnica de Educação, Capacitação, Mobilização Social e Informação em Recursos Hídricos (CTEM), pela Resolução nº 39 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A criação da CTEM possibilitou a institucionalização da educação ambiental dentro do contexto da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), nos termos da Lei Federal 9.433/97.

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), elaborado de 2003 a 2005 e aprovado pelo CNRH, em janeiro de 2006 (Resolução nº 58), incorporou em suas diretrizes a estrutura programática da educação ambiental. Esse programa prevê o desenvolvimento de capacidades, a difusão de informações, a comunicação e a mobilização social para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH).

A educação ambiental no Brasil procura integrar as políticas e os sistemas que compõem tanto o setor de recursos hídricos (SINGREH) quanto o setor ligado ao meio ambiente ao nível federal, Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). A EA desempenha o indispensável papel de fortalecer o viés ambiental das políticas públicas de recursos hídricos, assegurando o compromisso com o desenvolvimento sustentável e com o aprofundamento democrático na gestão de águas. Os principais papéis da EA no Brasil não se relacionam somente ao mero repasse de informação, mas também ao desenvolvimento de uma capacidade de interpretação e análise aos educandos participantes.



Tab. 11.1 - Base Legal da educação para as águas no 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.
LEI Nº 9.795, DE 27 DE ABRIL DE 1999	Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências
Resolução nº 39, de 26 de março de 2004 do CNRH	Institui a Câmara Técnica de Educação, Capacitação, Mobilização Social e Informação em Recursos Hídricos.
DECRETO DE 22 DE MARÇO DE 2005	Institui a Década Brasileira da Água, a ser iniciada em 22 de março de 2005.
Resolução nº 58, de 30 de janeiro de 2006 do CNRH	Aprova o Plano Nacional de Recursos Hídricos.
RESOLUÇÃO Nº 98, DE 26 DE MARÇO DE 2009 do CNRH	Estabelece princípios, fundamentos e diretrizes para a educação, o desenvolvimento de capacidades, a mobilização social e a informação para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Assim, os instrumentos políticos para a implementação de uma eficiente educação para as águas já estão disponíveis no Brasil há mais de uma década. No entanto, a pergunta que se coloca é a seguinte: como esses instrumentos não impediram que a população brasileira - de modo geral - ainda não tenha um entendimento e um comprometimento capazes de estimularem a prevenção ou mesmo possibilitarem um enfrentamento da atual crise nas águas em que vivemos? Certamente, essa não é uma pergunta fácil de ser respondida.



Eu, Ricardo M. Pinto Coelho, sou docente de uma universidade pública do Brasil, a UFMG, há mais de 30 anos. Trabalhei ainda no ensino fundamental e médio logo no início de minha carreira de professor. Centenas ou mesmo milhares de alunos já frequentaram as minhas aulas e práticas. Já convivi com dezenas de docentes de todos os níveis. Já coordenei cursos de graduação e pós-graduação e algumas dezenas de cursos de extensão e cursos a distância. Participei de centenas de eventos nas áreas ambientais e nas áreas de educação e do ensino superior. Considerando essa experiência, posso afirmar que muito ainda resta a ser feito na educação brasileira, quando se trata de educação ambiental e mais especificamente de educação para as águas.

Quando se discute o que deve ser feito para melhorar a educação no Brasil, fala-se muito em salários, em infraestrutura, em programas de capacitação mais adequados, em democratização e universalização dos acessos ao ensino. Tudo isso tem a ver e deve ser levado a sério. Entretanto, acredito que um dos maiores males da educação ambiental no País reside em uma questão muito simples: o educando, em geral, tem muito acesso à informação mas pouquíssimo acesso à prática. Não temos a tradição da experimentação científica na educação ambiental e muito menos temos a tradição de sair para o campo e associar o que vemos no campo com a teoria extraída das aulas e dos livros e das infinitas discussões em classe e fora dela. Essa carência do contato com a realidade em campo pode ser generalizada para todos os níveis: da pré-escola ao pós-doutoramento. Entender a magnitude da crise nas águas que afeta não só o País mas todo o mundo, pressupõe um contato permanente com o mundo real. Sair para o campo, é conhecer a realidade que nos cerca. É muito comum, oferecermos aos nossos alunos interessados no meio ambiente a deliciosa experiência prática de conhecer uma belíssima Unidade de Conservação. Tudo é muito lindo e maravilhoso. No entanto, para aplicarmos os fundamentos dos instrumentos legais vistos, é preciso contextualizar em nossos educandos a teoria dada aos problemas reais existentes. Os educadores devem estimular nos educandos a constante busca de soluções. Dentro dessa ótica, acredito que seja a hora de repensar toda a estratégia de ensino de Ciências Ambientais em todos os níveis, em todas as escolas e universidades do Brasil. A grande verdade é que temos o conhecimento, mas não sabemos como e onde vamos aplicá-lo.

## 12 - Governança das Águas

Os termos governo e governança embora sejam parecidos têm significados bem diferentes. Governo tem a ver com uma autoridade única, enquanto que a governança tem a ver com o compartilhamento de propostas e responsabilidades (Saunier & Meganck, 2007). A governança das águas é definida como sendo um sistema político, social, econômico e administrativo montado para diretamente ou indiretamente influenciar os usos, o desenvolvimento e a gestão integrada de recursos hídricos, bem como garantir a oferta de serviços e produtos diretamente ligados aos recursos para a sociedade. Por definição, o sistema de governança das águas não fica isolado de todas as outras esferas administrativas do país, onde está sendo implementado. Muitos acreditam que a governança reduz o poder do governo, mas isso não é verdade já que o governo mantém o seu poder regulatório e fiscal. Ao contrário, esse sistema não só deve influenciar, mas também sofrer adaptações e influências das demais esferas de governo.

Os focos centrais da governança das águas são:

1. Equidade e eficiência no uso dos recursos hídricos, reconhecendo as bacias hidrográficas como unidades centrais da gestão das águas; o sistema deve atuar de forma integrada e em harmonia com as atividades econômicas possíveis de ser atendidas dentro das limitações naturais de cada uma dessas bacias hidrográficas.
2. O sistema deve atuar de acordo a políticas públicas muito bem definidas que, por sua vez, devem estar embasadas em instituições cuja conduta esteja ancorada em uma base legal apropriada.
3. Clara definição dos papéis de cada um dos órgãos ambientais, sem que haja sobreposição de funções, com garantia plena de participação da sociedade civil e do setor privado, com a definição dos papéis de cada um desses segmentos (direitos à propriedade, outorgas, acessos etc.); alguns exemplos de questões sensíveis dentro desse item:

- diálogo intersetorial (diálogo entre o governo, as ONGs e as empresas)
- resolução de conflitos gerados por usos diferenciados da água
- direitos e outorgas
- papel da mulher em relação aos recursos hídricos
- barreiras burocráticas
- padrões de qualidade de água e indicadores ambientais
- preço dos serviços ligados aos diferentes usos (irrigação, abastecimento etc.)
- acesso ao crédito ou a incentivos fiscais (aquicultura, saneamento etc.).



As quatro dimensões sobre as quais é definido um sistema de governança das águas, bem como as metas administrativas associadas a cada uma dessas dimensões são ilustradas na Figura 12.1.

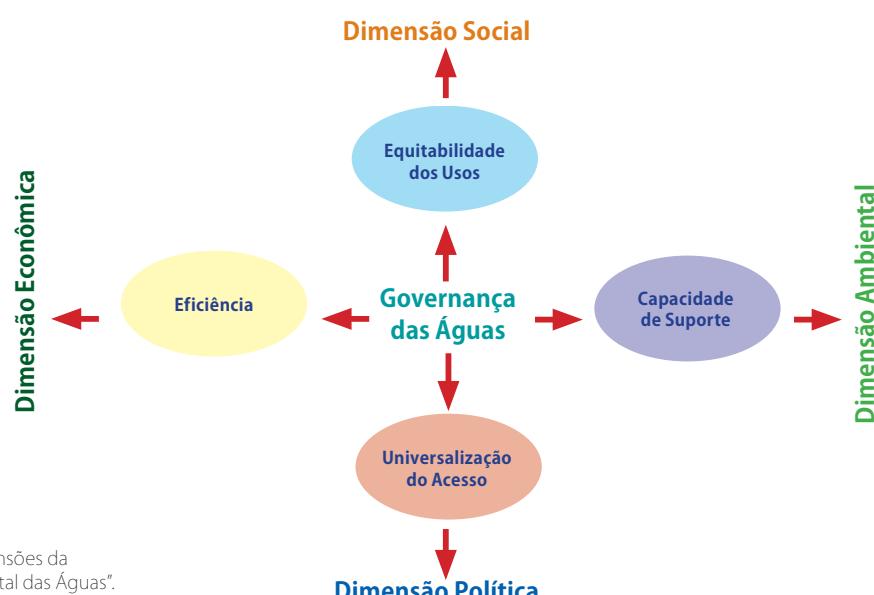


Figura 12.1 – As dimensões da "Governança das Águas".

A governança das águas é um sistema de governo. Como todo sistema de governo, as seguintes questões devem estar muito claramente respondidas ao se implantar o sistema: (1) Como deverá ser o processo de tomada de decisões? (2) Quais serão as partes interessadas envolvidas ("stakeholders") em cada processo decisório? (3) Quais serão os princípios e regras que deverão ser observados por todos os tomadores de decisão envolvidos? Para que essas três questões possam ser convenientemente respondidas, são necessários os seguintes elementos:

- (a) Políticas públicas claras e definidas para os recursos hídricos;
- (b) Legislação apropriada;
- (c) Regulamentação clara e precisa da legislação.

O sistema de governança das águas a ser implantado em um dado país ou região deve ter claramente reconhecidas quais as prioridades e metas a ser alcançadas no curto, médio e longo prazos. Exemplos dessas prioridades: acesso universal ao saneamento, conservação e recuperação dos recursos hídricos, produção de energia, irrigação, aquicultura etc. É claro que tais prioridades devem estar plenamente afinadas com as políticas públicas, planejamento estratégico e a realidade orçamentária disponível.

A implantação de um sistema eficiente de governança das águas é uma das formas mais eficazes não só de garantir o acesso universal às águas, mas também de combater a pobreza, evitar abusos do poder econômico. Um sistema de governança de recursos hídricos pode amenizar ou evitar conflitos de uso presentes ou futuros ou, ainda, ele deve dispor das bases legais para coibir e eventualmente punir ações criminosas contra os recursos hídricos.

As dimensões sociais e políticas do sistema de governança das águas devem atender aos seguintes requisitos:



- O sistema deve ter uma clara dimensão social, garantindo maior igualdade na distribuição dos recursos hídricos para todos os setores da sociedade. Conflitos entre os usos industriais e sociais ou entre as áreas rurais e urbanas têm uma melhor chance de ser resolvidos de forma mais sustentável e igualitária. Muitos estudos mostram que uma boa governança das águas está diretamente relacionada com o aumento da renda per capita em muitas regiões do globo.

- A governança das águas deve reconhecer o direito que populações marginais dentro da sociedade (comunidades indígenas, mulheres, habitantes de favelas e outras áreas de risco) de atuarem como partes interessadas ("stakeholders"), garantido o seu pleno acesso aos recursos hídricos compartilhados.

- A governança das águas deve garantir base legal apropriada para que fenômenos tais como a poluição, as secas e as enchentes, possam ser evitados, administrados e mitigados. Se houver, improbidades, negligências ou mesmo má-fé, o sistema deve garantir a punição ou a responsabilização dos agentes envolvidos, quando em crime.

- O fluxo natural das águas e da atmosfera (que contém água) e muitos dos serviços ambientais prestados pelos recursos hídricos transcendem os limites das fronteiras entre municípios, estados e países. As águas devem ser entendidas como um patrimônio universal. Portanto, a governança das águas deve também garantir o diálogo construtivo entre municípios, entre os Estados da Federação e entre a União e países vizinhos, observando, no entanto, suas respectivas soberanias nacionais.

A governança das águas tem poucas chances de dar certo onde não seja garantido o pleno direito das pessoas em se organizarem e que elas possam ter garantidas a livre expressão de suas ideias. É preciso que os grandes projetos nacionais que envolvam os recursos hídricos, tais como a construção de barragens, hidrovias, portos, transposições de bacias hidrográficas, sejam implementados após passar por um processo democrático, transparente e legítimo de tomada de decisões. O processo decisório deverá levar em conta o levantamento de todas as opções viáveis, de todos os impactos socioambientais previstos, onde todos os "stakeholders" sejam sempre considerados e devidamente ouvidos.

A governança das águas não deve ser uma mera cópia de congêneres implantados em outros países.

Deve estar plenamente afinada com a condução da política macroeconômica e também deve estar afinada com as peculiaridades socioeconômicas, culturais, históricas e mesmo religiosas do país em questão. Esse tipo de governança não combina com palavras tais como “autoritarismo”, “corrupção”, “patrimonialismo”, “paternalismo” ou “centralismo” tão típicos em muitos países do globo.

Tendo em vista as necessidades de reformas políticas em muitos países, a ONU estabelece certas prioridades de reformas que são necessárias para que as principais metas sociais e ambientais sejam alcançadas mais rapidamente:

- (a) Descentralização do processo de tomada de decisões;
- (b) Inclusão de novas partes interessadas (“*stakeholders*”) no processo decisório;
- (c) Inclusão das parcerias público-privadas;
- (d) Inclusão do princípio do manejo integrado de bacias hidrográficas;
- (e) Melhor base legal com eliminação dos entraves burocráticos e das sobreposições de autarquias e órgãos de governo com funções similares;
- (f) Conscientização das partes interessadas (“*stakeholders*”) de que o direito à propriedade ou a concessão de uma outorga implica também em responsabilidade ambiental;
- (g) Como combater a corrupção em todos os níveis de governo.

Essas metas podem ser vistas na Fig. 12.2



Figura 12.2- Desmembramento das dimensões políticas e sociais de um sistema de governança das águas.

O que é descentralizar? É a estratégia de transferir o poder de tomada de decisões administrativas para níveis inferiores de governo; transferir poder para a iniciativa privada ou para as sociedades civis organizadas. Muitos países têm adotado uma estratégia descentralizadora em relação aos recursos hídricos em contraste com a visão tradicional “*top down*”, caracterizada pelo centralismo político-administrativo. Assim, a sociedade passa a assumir não só um controle maior, mas também uma responsabilidade maior na tomada de decisões. Essa estratégia, entretanto, também implica que a informação e o nível de educação da sociedade em geral seja compatível com a complexidade das decisões a ser tomadas.

A noção de que a principal unidade de manejo dos recursos hídricos seja a bacia hidrográfica não é facilmente assimilável em muitos sistemas de governança das águas. A grande vantagem da adoção da bacia hidrográfica refere-se a uma questão de escala. Os problemas são vistos e tratados dentro de uma perspectiva totalmente regionalizada. Assim, as decisões a ser tomadas têm grande probabilidade de ser bem-sucedidas não só quanto as suas maiores eficácia técnicas (por estarem mais adaptadas ao contexto regional), mas graças à facilidade de ser aceitas pelas comunidades locais.

Todo processo de tomada de decisões envolve o manejo de conflitos. Nunca existe a unanimidade e, se ela existir, provavelmente será falsa. A melhor estratégia é a de incluir todas as partes interessadas nesse processo. É importante a inclusão nos processos de tomada de decisões das partes menos favorecidas e mais fracas. Toda decisão relativa à gestão e governança das águas não será eficaz se não contribuir, em última análise, para melhorar as condições sociais e econômicas das partes menos favorecidas.

Em muitos países, a ideia de que não é possível governar as águas sem algum nível de corrupção é um fato consumado. Entretanto, um sistema de governança das águas deve estar pautado na absoluta transparência e lisura de suas ações. Assim, deve conter todas ferramentas que impeçam a corrupção. Essa doença social afeta todos os governos no mundo (Fig. 12.3), particularmente as organizações que prestam serviços à comunidade, tais como aquelas que cuidam da oferta de saúde, água e segurança aos diferentes segmentos da sociedade. Portanto, o desenvolvimento sustentável passa, em primeira linha, pelo combate sistemático a todas as formas de corrupção, em todas as organizações dentro e fora do governo. É preciso ter uma “tolerância zero” a todas as práticas, mesmo aquelas aparentemente “inofensivas” de corrupção. Os recursos usados para corromper ou deixar-se corromper são aqueles que seriam usados para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.



### A corrupção no mundo em 2013

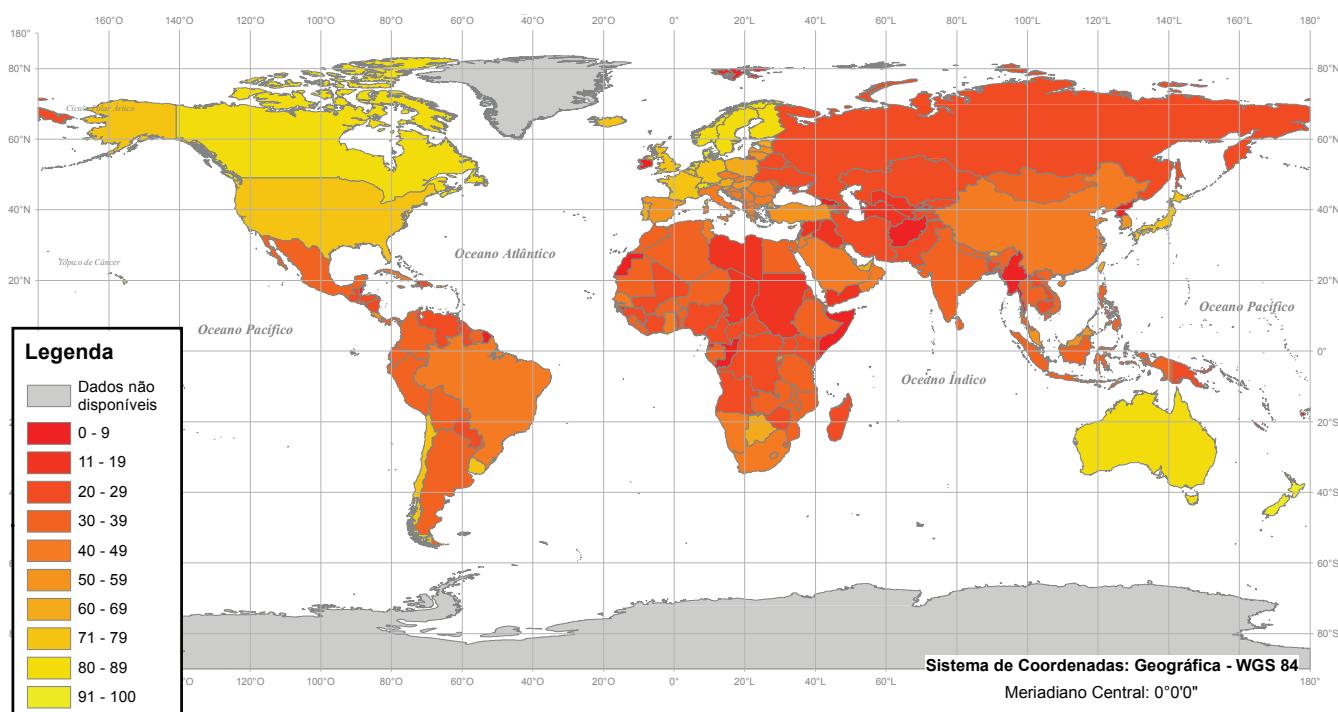


Figura 12.3- A corrupção no mundo em 2013 (Fonte: <http://www.transparency.org> ).

E quais são os efeitos perversos da corrupção?

- reduz o crescimento econômico e desestimula a vinda de investimentos;
- impede uma distribuição equitativa dos recursos hídricos;
- reduz os orçamentos do governo que poderiam ser usados na melhoria dos serviços hídricos;
- torna ineficaz toda e qualquer legislação sobre recursos hídricos por melhor que ela seja;
- permite a proliferação de decisões discriminatórias que frequentemente afrontam a justiça e a própria lei.

A corrupção sempre aparece quando existem deficiências na governança de um dado país. Em muitos países, não existe a clara percepção de que a infração a uma lei levará o indivíduo a um ato condenatório da Justiça, ou seja, prevalece a impunidade. A noção do ganho pessoal é muito mais forte do que o conceito de bem-estar da população. Em decorrência, essas sociedades aceitam como um fato normal existir uma classe minoritária de pessoas injustamente favorecidas dentro e fora do governo, com rendas pessoais centenas de vezes maiores do que o salário mínimo do país.

Uma vez tendo sido montado um sistema observando os tópicos citados, resta sabermos como ele irá atuar, ou seja, por meio de quais instrumentos de poder será feita essa governança dos recursos hídricos. A governança das águas tem à sua disposição vários instrumentos para a sua ação executiva. Ela pode agir via concessões de serviços de abastecimento e saneamento; por meio da coleta de taxas e impostos associados aos usos múltiplos das águas; através da concessão de linhas de crédito para projetos e outras iniciativas de interesse ligadas à sustentabilidade dos recursos hídricos. Outro instrumento importante refere-se à criação de fundos setoriais (ex: CT-Hidro) que irão financiar pesquisas em universidades e institutos de pesquisa, visando desenvolver novas tecnologias ligadas à gestão sustentável dos recursos hídricos. Finalmente, deve-se montar um sistema de unidades de conservação voltadas estrategicamente à proteção de bacias hidrográficas ou criando um sistema nacional de seguros que projeta, por exemplo, a produção aquícola e a pesca em determinadas regiões de interesse (Fig. 12.4).



Figura 12.4 – Instrumentos de ação executiva da governança das águas.

## 12.1 - Gestão das águas no Brasil

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Cnumad), ou Rio 92, no seu documento final, a Agenda 21, lançou os fundamentos para a gestão e governança dos recursos hídricos: (a) usos múltiplos da água; (b) múltiplos objetivos (sociais, econômicos, ambientais etc.); (c) transversalidade de domínios científicos; (d) coordenação interinstitucional; (e) participação de vários segmentos envolvidos.

Além de ser um país com uma enorme diversidade de recursos hídricos, o Brasil é muito grande, populoso e com muitas diferenças regionais. O País é também caracterizado por uma grande autonomia político-administrativa entre seus 26 Estados e 5.564 Municípios. Administrar, explorar, recuperar e fiscalizar e proteger os recursos hídricos é uma tarefa que é executada por todos os níveis de governo (União, Estados e Municípios) por diferentes sistemas de gestão que, muitas vezes, apresentam sobreposições, contradições e falta de integração entre si.

A Constituição Federal de 1988 em seu artigo 20 delibera que rios, lagos ou quaisquer cursos de água ou lagos no território federal ou que banham um ou mais estados, servindo como fronteira com outro país são bens da União. A mesma Constituição, em seu artigo 21, preconiza que a União deve instituir *um sistema nacional de gestão de recursos hídricos e definir os critérios de outorga de direitos de uso*.

A Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. As premissas dessa lei são as seguintes: (a) a água é um bem público; (b) a prioridade deve ser dada ao consumo humano e à dessementação de animais; (c) a gestão das águas deve sempre permitir os seus usos múltiplos; (e) a gestão das águas deve ser descentralizada e envolver a participação do governo, usuários e também da sociedade organizada; (f) a bacia hidrográfica deve ser a unidade territorial para a implementação da Lei 9.433.

Segundo a Constituição Brasileira, um rio é considerado rio federal quando banha mais de um estado brasileiro ou atravessa as fronteiras do País (Fig. 12.5). A gestão dos rios federais é responsabilidade do governo federal.



Fig. 12.5- Rios estaduais e federais no Brasil. Fonte: ANA.

Um grande avanço na base legal da governança das águas do Brasil foi dado pela Lei 9.433, que em seu Artigo 39, cria o Comitê e a Agência de Bacia. O Comitê de Bacia é composto:

1. governo federal;
2. governos dos Estados ou do DF (onde se localiza a bacia);
3. administrações municipais (pelo menos uma parte do município está dentro da bacia considerada);
4. usuários da água (provedores, concessionárias etc.);
5. sociedade civil organizada desde de que demonstre ter atuação na bacia considerada;

Observação: o número de representantes dos diferentes níveis de governo não poderá ultrapassar a metade dos assentos desse comitê.

### Gestão das bacias hidrográficas

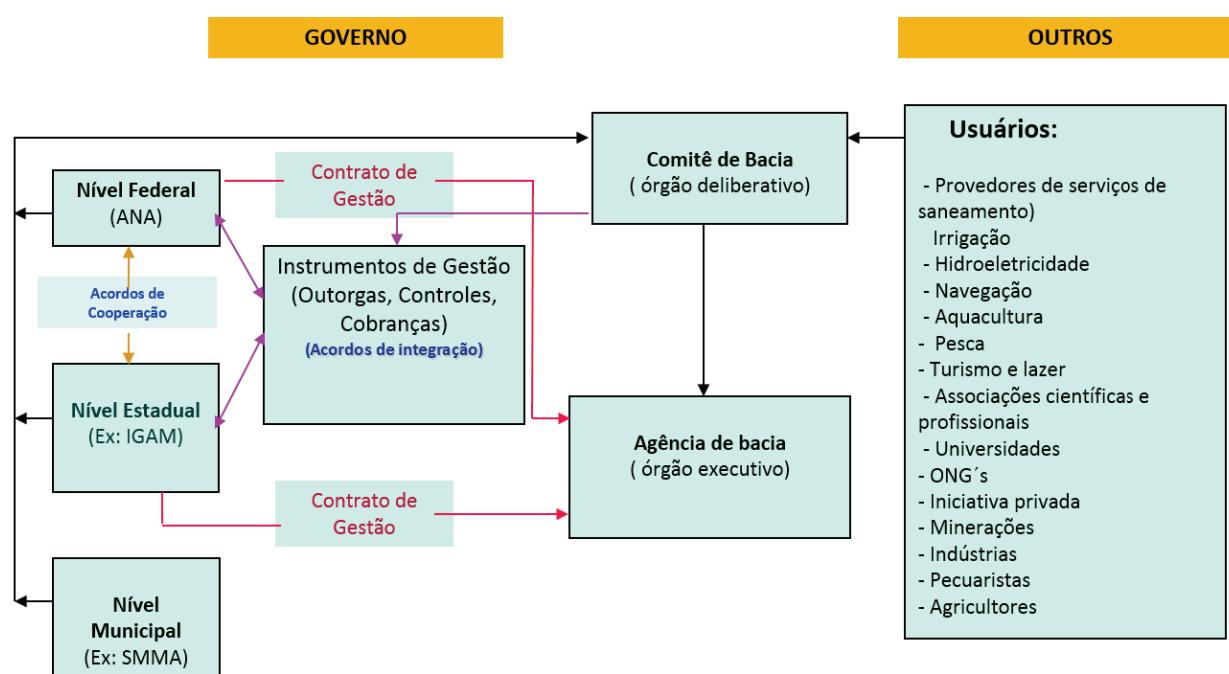


Figura 12.6 – Articulação dos diferentes níveis de governo, atuação dos Comitês de Bacia e Agências de Bacia e diferentes “stakeholders” participantes da gestão das águas no Brasil.

A Lei 9.433/97, no seu artigo 12, também estabelece que o uso das águas, sejam estas superficiais, sejam subterrâneas, depende de licença do Poder Público. Tal licença se chama outorga. A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433. Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos.

A Lei 9.984, de 17 de julho de 2000, criou a Agência Nacional de Águas (ANA). Essa agência tem como missão implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e regular o acesso à água, promovendo seu uso sustentável em benefício das atuais e futuras gerações (Fig. 12.6).

A ANA tem as duas importantes funções e todas ligadas à governança das águas no Brasil:

(1) Função executiva: promover o manejo de bacias hidrográficas por meio do Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (SINGRH);

(2) Funções reguladoras:

2.1 - Autorizações: concessão de outorgas para os usos da água em rios federais;

2.2 - Arbitragens: dirimir conflitos entre usuários;

2.3 - Controle: monitorar e fiscalizar os múltiplos usos da água em rios federais.

Compete à ANA outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos d'água de domínio da União, bem como emitir outorga preventiva. Também é competência da ANA a emissão da reserva de disponibilidade hídrica para fins de aproveitamentos hidrelétricos e sua consequente conversão em outorga de direito de uso de recursos hídricos. A Figura 12.7 sumariza as diferentes funções a atribuições da ANA já previstas na Lei 9.433.

### Instrumentos de implatação da PNRH (Lei Nº 9433)

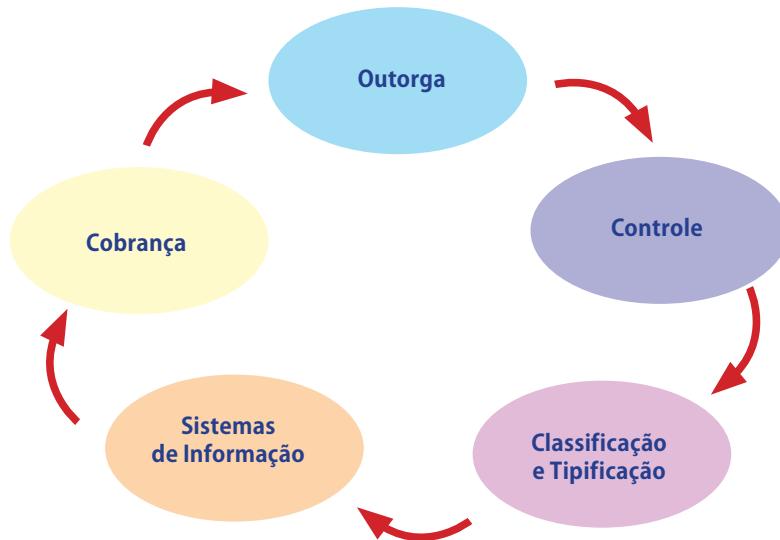


Figura 12.7 – Instrumentos de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997).

Uma das maiores carências do Brasil em termos de recursos hídricos é na área do saneamento. Todos reconhecem que há uma demanda histórica ainda não atendida de maiores investimentos nessa área. Os fundamentos do Saneamento Básico no Brasil estão na Lei 11.445/2007. O instrumento conceitua e estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; destaca as funções da gestão, planejamento, fiscalização e regulação dos serviços ligados ao saneamento; define o controle social na formulação, no planejamento, na avaliação e na regulação de políticas públicas do setor; aponta as responsabilidades de todos os atores envolvidos na condução da política nacional de saneamento básico no Brasil.

O Plano Nacional de Saneamento Básico foi lançado pelo Decreto 6.942 de 19/8/2009. Os principais objetivos desse decreto são: (a) contribuir para a redução das desigualdades regionais, a geração de emprego e de renda e a inclusão social; (b) priorizar áreas ocupadas por populações de baixa renda; (c) atender povos indígenas, populações tradicionais, populações rurais e núcleos urbanos isolados; (d) assegurar o maior retorno social na aplicação dos recursos; (e) incentivar mecanismos de planejamento, regulação e fiscalização; (f) promover alternativas de gestão: cooperação federativa; (g) fomentar desenvolvimento científico e adoção de tecnologias apropriadas; (h) minimizar os impactos ambientais

e promover o desenvolvimento sustentável; (i) promover o desenvolvimento urbano e regional; (j) melhorar o atendimento da população rural dispersa; (k) estimular a adoção de mecanismos de cooperação federativa.

A Lei 6.492 ressalta que a formulação e a implementação de políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, combate à pobreza, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras que estão sob a tutela de outros ministérios e autarquias devem sempre considerar a necessária articulação com o saneamento básico, o que nem sempre acontece.

Em 2007, em meio às dificuldades para licenciar os grandes projetos hidroelétricos na Amazônia, o governo decidiu dividir o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em dois órgãos independentes. Assim, foi aprovada – por medida provisória – a Lei 11.516 que dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). As principais funções do Instituto Chico Mendes são: (a) proposição, implantação, gestão, proteção, fiscalização e monitoramento das Unidades de Conservação instituídas pela União, incluindo o fomento ao lazer e ao ecoturismo nessas áreas; (b) fomentar e executar programas de pesquisa, proteção, preservação conservação da biodiversidade e de educação ambiental; (c) exercer o poder de polícia ambiental para a proteção das unidades de conservação instituídas pela União.

Ao IBAMA ficaram reservadas as atividades: Controle Ambiental (monitoramento de acidentes ambientais e suas consequências), licenciamento e avaliação de planos/impactos ambientais, aplicação de penalidades. O IBAMA ainda tem a função de articulação institucional (promover articulação entre os órgãos envolvidos), participação em planos de contingência e, finalmente, o órgão possui a função de disseminação de informações relevantes sobre o meio ambiente no Brasil. Essas funções foram estabelecidas pelo Decreto Nº 6.099/2007. A Tabela 12.1 sumariza alguns dos principais instrumentos legais sobre os quais se apoia a governança das águas no Brasil.

Tabela 12.1 - Base Legal existente no Brasil para a gestão dos recursos hídricos



LEI NÚMERO	ASSUNTO
Lei nº 4.771/1965	A lei cria o Código Florestal.
Lei 5.197/1967	Dispõe sobre a proteção a fauna.
Lei 6.938/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
Lei 7.804/1989	Altera a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a 6.803, de 2 de junho de 1980, e dá outras providências.
Lei 9.433/1997	Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e institui o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos.
Lei 9.605/1998	Lei dos Crimes Ambientais.
Lei 7.661/1998	Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.
Lei 9.984/2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da política nacional de recursos hídricos e de coordenação do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos.
Lei 9.985/2000	Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC
Lei 11.445/2007	Dispõe sobre as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico.
Lei 11.516 de 28 de agosto de 2007	Dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes
Dec. 6.942/2009	Plano Nacional de Saneamento Básico
Lei Nº 11.958, de 26 de junho de 2009.	Dispõe sobre a transformação da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República em Ministério da Pesca e Aquicultura;

## 12.2 - Existe governança das águas no Brasil?

O sistema de gestão das águas no Brasil é composto não por um único sistema mas, na realidade, por quatro sistemas distintos. O primeiro deles é responsável pelas concessões de outorga e pelos licenciamentos ambientais. Essas funções estão atribuídas por lei à ANA e ao IBAMA, no caso dos corpos d'água não federais, e aos órgãos similares em nível estadual (IGAM em Minas Gerais, por exemplo). Esse sistema de concessões de outorga e licenciamento sofre pressões de grandes corporações que atuam no agronegócio, na produção de energia elétrica ou na mineração, por exemplo.

O segundo sistema de gestão está concentrado na área de prestação de serviços de saneamento, cuja responsabilidade é atribuída por lei aos municípios, por concessões dos serviços de abastecimento público e de esgotamento a companhias estatais e privadas de saneamento. É um subsistema que sofre pressões de grandes empreiteiras ligadas à construção civil e está, permanentemente, saturado por uma série de problemas ligados às enchentes, à escassez das águas, e uma crônica má qualidade dos serviços de saneamento básico existentes no país, com carências na distribuição de água tratada, nas redes coletoras e nas estações de tratamento de esgotos, na drenagem urbana, ou no gerenciamento de resíduos sólidos.

O terceiro sistema de gestão das águas está ligado ao uso das águas tomada agora como uma matéria-prima, um recurso econômico ou industrial. Vários ministérios atuam nesse sub-sistema e, dentre eles, podemos citar: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Ministério das Minas e Energia (MME), Ministério da Pesca e da Aquicultura (MPA). Esse subsistema, que é composto pelos ministérios e várias agências reguladoras, é responsável pelo planejamento, coordenação, fiscalização e fomento de uma variedade de atividades econômicas que exercem profundos impactos ambientais sobre os recursos hídricos: agricultura irrigada ou não, pecuária, hidreletricidade, mineração, pesca e aquicultura, dentre outras.

Finalmente, o quarto sistema de gestão das águas está ligado à questão da conservação dos recursos hídricos. É composto pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), e é chefiado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, ICMBio) em conjunto com as autarquias estaduais que atuam na área de conservação e biodiversidade.

E ainda poderíamos incluir um quinto subsistema de gestão das águas que é aquele responsável pelos aquíferos e águas subterrâneas.

Esses sistemas de gestão estão muito distantes de uma autêntica governança das águas. Sofrem de crônica falta de articulação interinstitucional e, muitas vezes, vivem sob conflitos. São sistemas que atendem a demandas corporativas e apresentam uma integração horizontal muito fraca entre si. Não estão aptos a se submeterem a uma transversalidade de competências, na maioria dos casos. É uma complexa estrutura institucional e que não está atrelada a um planejamento estratégico integrado. Existe uma grande pulverização de ações, de recursos, muitas obras redundantes ou mesmo contraditórias e apenas um tênuo enfoque na bacia hidrográfica (em detrimento dos municípios, p.ex.). Os sistemas obedecem a políticas de governo (e não políticas de estado) que estão mudando a cada novo ciclo de governo (Fig. 12.8 e Fig. 12.9).

### Gestão ambiental de recursos hídricos no Brasil

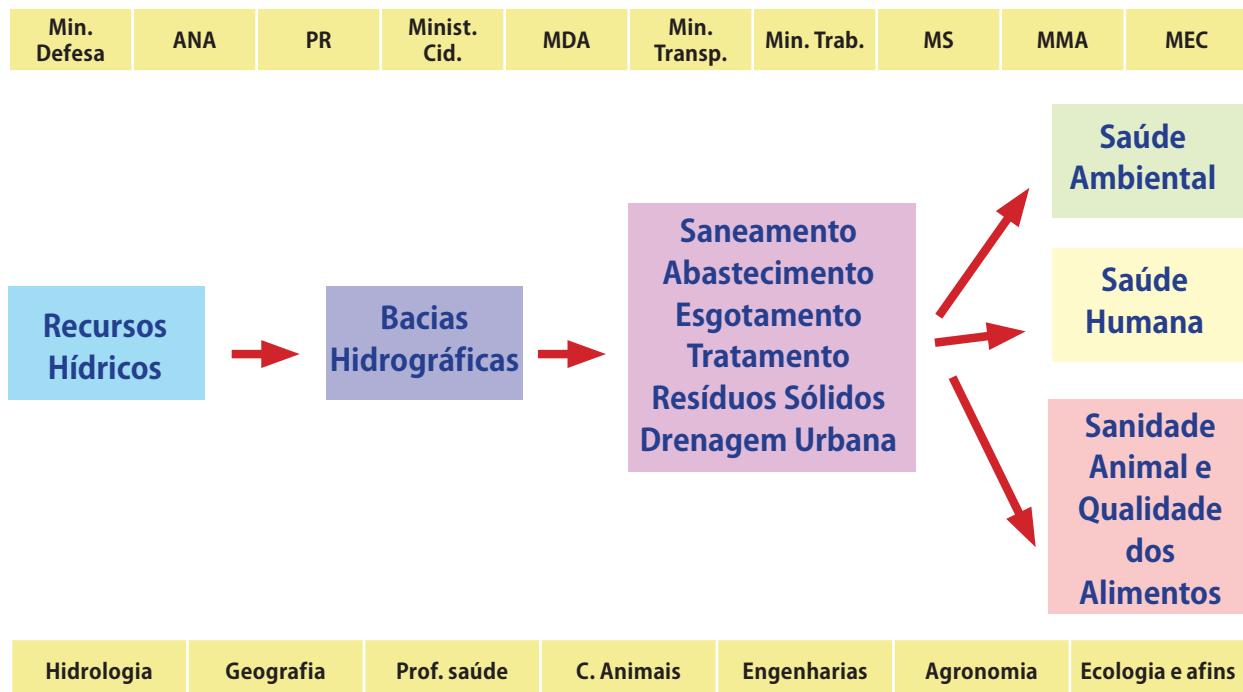


Figura 12.8 – Envolvimento institucional, áreas de atuação e especialistas envolvidos na gestão ambiental de recursos hídricos no Brasil.

A convivência no governo de tantos setores acadêmicos que atuam em sistemas relativamente independentes e sem uma coordenação clara nem sempre é fácil. Isso decorre não diferenças na formação acadêmica ou ideológica, mas também do arcabouço institucional existente no Brasil e da grande pulverização do poder e de competências associadas à gestão das águas nos diferentes níveis e esferas do governo (Fig. 12.9).



### A gestão ambiental de recursos hídricos no Brasil requer uma ação articulada de diversos especialistas

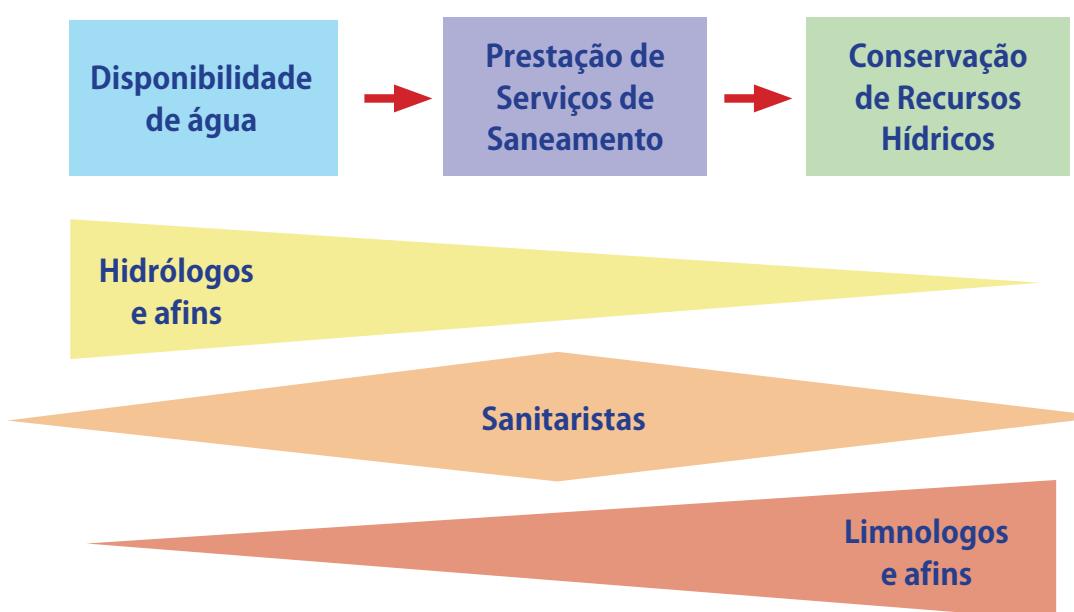


Figura 12.9 – Articulação das diferentes áreas e saberes na gestão das águas no Brasil

## 12.3 - Gerenciamento das águas no Brasil: para onde devemos caminhar?

A legislação relativa à governança das águas é complexa e envolve, muitas vezes, a participação conjunta de várias autarquias federais, estaduais e municipais simultaneamente. A burocracia é grande; há uma grande carência de capacitação dos recursos humanos, principalmente no nível municipal; são notórios a ineficiência organizacional e um crônico mau uso dos recursos. Os sistemas de gestão das águas, apesar de já estarem sendo construídos desde a Constituição de 1988 são ainda muito suscetíveis a pressões políticas e econômicas externas que nenhum comprometimento tem com a sustentabilidade ambiental.

A criação de ministérios e autarquias, bem como a sua dissolução poucos anos após a sua respectiva criação, é uma característica típica da gestão das águas no Brasil (exemplos de algumas instituições falecidas: IBDF, SUDEPE etc.). O recente Ministério da Pesca e da Aquicultura, criado pela Lei nº 11.958 de 26 de junho de 2009 já está sob risco de extinção considerando a proposta de alguns dos candidatos à Presidência da República que concorrem às eleições gerais de 2014.

A separação do Instituto Chico Mendes do IBAMA ilustra bem a vontade do governo federal em manter os componentes do sistema de gestão das águas separados e relativamente independentes entre si. Entretanto, a separação entre IBAMA e Instituto Chico Mendes ainda não é um fato consumado. Em 7/3/2012, o Supremo Tribunal Federal (STF) declarou a constitucionalidade da Lei 11.516/2007, que criou o Instituto Chico Mendes. O Supremo Tribunal Federal (STF) entendeu como constitucional a lei que criou o Instituto Chico Mendes (ICMBio), em 2007, por meio de medida provisória apresentada pelo ex-presidente Luiz Inácio Lula da Silva. O órgão tem dois anos, a partir daquela data, para voltar novamente a fazer parte do IBAMA.

Para avançarmos em direção a uma verdadeira governança de recursos hídricos não basta a aprovação de novos instrumentos legais ou a criação, extinção ou fusão de ministérios ou autarquias. São necessárias uma melhor articulação interinstitucional e a adoção de novos enfoques e conceitos (exemplo: uso da Biologia da Conservação simultaneamente com uso de ecotecnologias visando ao manejo e recuperação dos recursos hídricos e áreas degradadas).

Para que possamos falar de um sistema de governança das águas no Brasil, é necessário, em primeiro lugar, buscar um maior envolvimento com o setor produtivo estimulando-o a adotar um maior e verdadeiro comprometimento socioambiental, a investir mais em pesquisa e desenvolvimento tecnológico ambiental e a deixar de priorizar tão somente o “green marketing” como vemos com frequência.

Os projetos de infraestrutura em saneamento e energia, por exemplo, são muito fixados em soluções clássicas, convencionais e que muitas vezes são as mais caras e que produzem resultados mais lentos, às vezes com baixa sustentabilidade ambiental. Aqui colocamos algumas perguntas cujas respostas devem nortear a formulação de novas políticas de governança das águas no Brasil:

(a) por que o Brasil investe tanto em hidrelétricas e tão pouco em outras fontes de energia considerando todas as previsões (consistentes com os fatos) feitas pelos cientistas em todo o mundo que alertam para a crescente escassez de água no Brasil nos próximos anos?

(b) Por que o Brasil está demorando tanto para implementar a reciclagem de água nas cidades se é real a ameaça de falta de água em muitas delas?

(c) Por que a política macroeconômica do Brasil está demorando tanto a investir na chamada “economia verde” (ou de baixos níveis de emissão de carbono), se muitos países já o fazem com grande sucesso?

É preciso abandonar a visão de que a atual crise nas águas seja apenas o resultado de uma falta de disponibilidade diante do aumento da demanda por esse recurso. A passagem de uma gestão caótica ou pontual das águas para uma governança real das águas é talvez o passo mais importante a ser dado em qualquer país que almeja a superação da atual crise nas águas pela qual está passando toda a humanidade (Marengo et al. 2010).

O Brasil dispõe de todos os instrumentos necessários, inclusive de uma base legal bem estruturada, para promover uma eficiente governança das águas. O grande obstáculo, contudo, parece residir na relativa independência e autonomia excessiva que podem ser constatadas em cada um dos subsistemas de gestão das águas descritos anteriormente. Esses sistemas podem continuar existindo, mas devem obedecer a um plano estratégico que alinhe todas as suas ações dentro de uma moldura geral de sustentabilidade ambiental e socioeconômica.

## 13 - O Futuro das Águas

O principal objetivo deste livro foi chamar a atenção para a gravidade da crise nas águas que já afeta claramente a todos nós. A superexploração das águas, aliada ao mau uso dos recursos hídricos, se soma aos impactos causados pelas mudanças climáticas, colocando a crise nas águas no centro de qualquer agenda desenvolvimentista que venha a ser adotada em qualquer país do mundo. Não é só a questão da abundância das águas ou mesmo a questão da qualidade das águas que são tópicos prioritários nessa agenda, mas a própria questão da sobrevivência dos ecossistemas aquáticos. Hoje, podemos dividir os impactos ambientais causados pelo desenvolvimento econômico em duas grandes categorias: (1) problemas reversíveis e (2) problemas irreversíveis (Fig. 13.1).

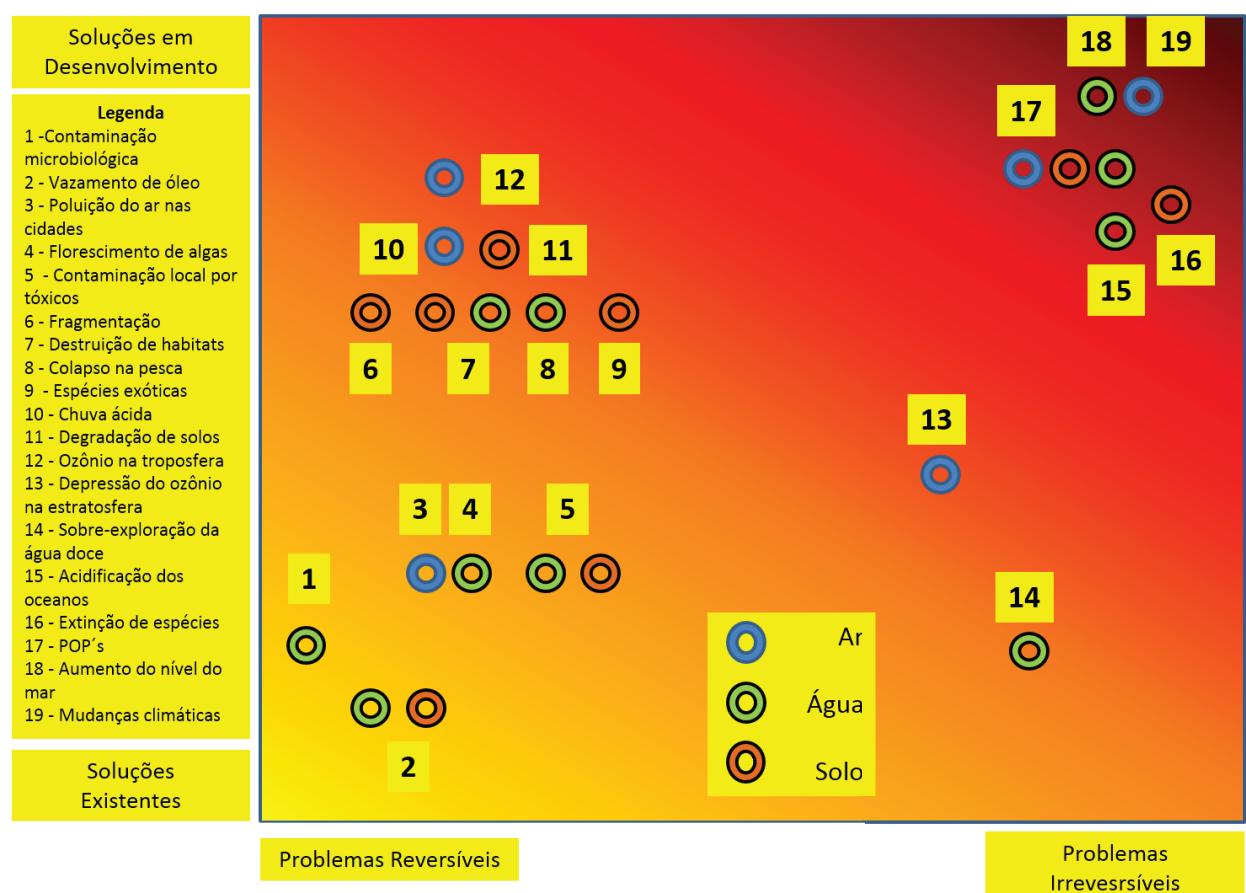


Figura 13.1 – Tipificação dos principais impactos ambientais causados pelo desenvolvimento econômico na atmosfera, solos e águas segundo a capacidade da humanidade em solucioná-los ou não.

O Brasil dispõe de todos os instrumentos necessários, inclusive de uma base legal bem estruturada, para promover uma eficiente governança das águas. O grande obstáculo, contudo, parece residir na relativa independência e autonomia excessiva que podem ser constatadas em cada um dos subsistemas de gestão das águas descritos anteriormente. Esses sistemas podem continuar existindo, mas devem obedecer a um plano estratégico que alinhe todas as suas ações dentro de uma moldura geral de sustentabilidade ambiental e socioeconômica.

## 13 - O Futuro das Águas

O principal objetivo deste livro foi chamar a atenção para a gravidade da crise nas águas que já afeta claramente a todos nós. A superexploração das águas, aliada ao mau uso dos recursos hídricos, se soma aos impactos causados pelas mudanças climáticas, colocando a crise nas águas no centro de qualquer agenda desenvolvimentista que venha a ser adotada em qualquer país do mundo. Não é só a questão da abundância das águas ou mesmo a questão da qualidade das águas que são tópicos prioritários nessa agenda, mas a própria questão da sobrevivência dos ecossistemas aquáticos. Hoje, podemos dividir os impactos ambientais causados pelo desenvolvimento econômico em duas grandes categorias: (1) problemas reversíveis e (2) problemas irreversíveis (Fig. 13.1).

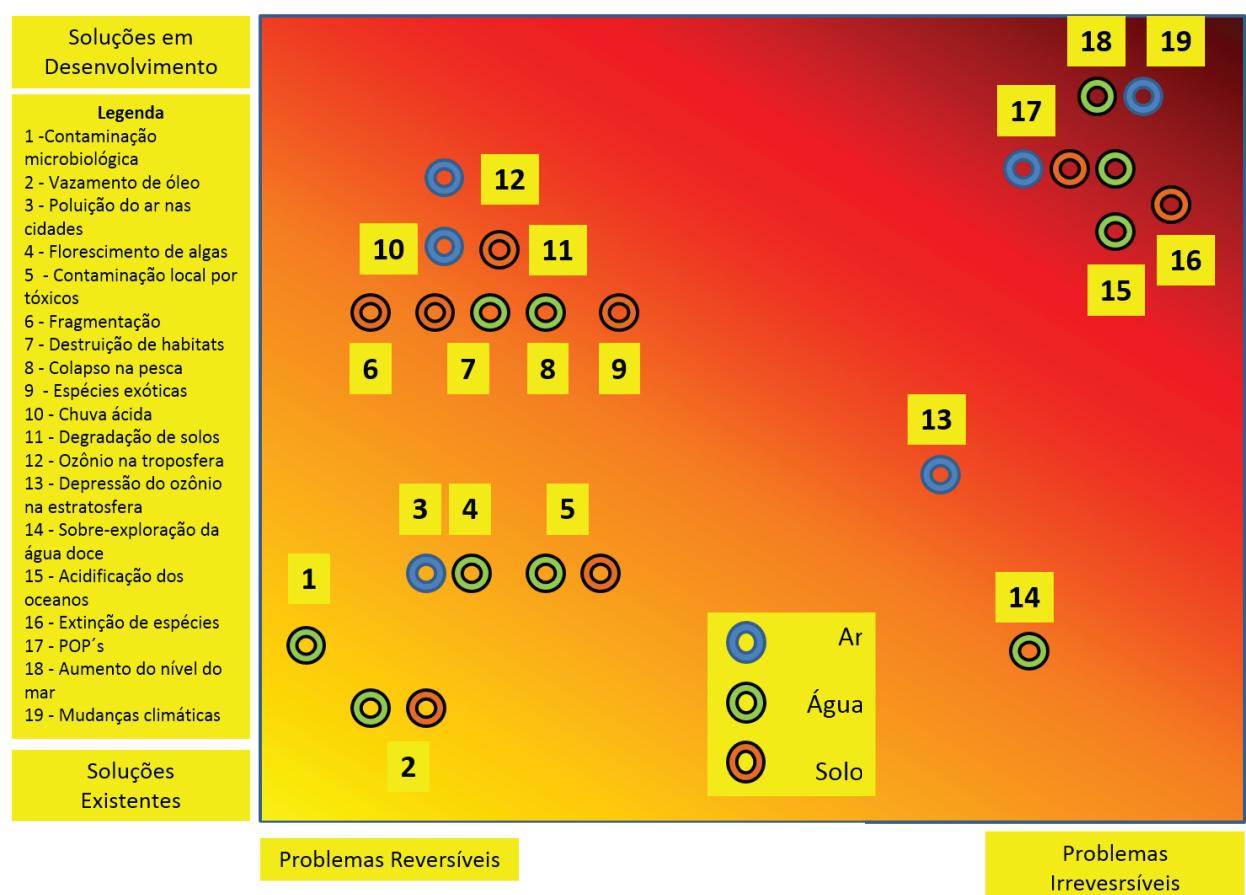


Figura 13.1 – Tipificação dos principais impactos ambientais causados pelo desenvolvimento econômico na atmosfera, solos e águas segundo a capacidade da humanidade em solucioná-los ou não.

É trivial a noção de que todos os povos da Terra devem promover a garantia de água em qualidade e em quantidade suficientes e, ainda, a integridade dos ecossistemas que garantem esse serviço ambiental para as gerações de agora e do futuro. Os recentes estudos e resultados apresentados no último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (IPCC, 2007) mostram que a promessa de manter essa garantia está cada vez mais difícil o que coloca mais urgência ainda ao tema.

Hoje, temos que buscar estratégias focadas não mais em uma simples conservação dos recursos hídricos, mas sim irmos ao encontro de um novo ponto de equilíbrio no uso dos recursos hídricos diante das mudanças climáticas que já são uma realidade incontestável. A irreversibilidade dos impactos humanos sobre os ecossistemas é uma questão atual e precisa ser encarada não só pelos tomadores de decisão, mas também pela sociedade em geral. Entretanto, essa nova postura não implica em acatar o "status quo" ou permanecer em uma postura tipicamente conformista adotada por muitos segmentos da sociedade moderna ante as mazelas causadas pelo mau uso ou pelo excesso de uso dos recursos hídricos da biosfera.

No caso do Brasil, é preciso eliminar a crônica contaminação e poluição de rios, lagos e demais águas superficiais advindas do lançamento indiscriminado de efluentes domésticos e industriais não tratados. É preciso colocar limites mais claros na atividade de irrigação e rever a taxa da expansão da hidreletricidade principalmente na Bacia Amazônica. É preciso melhorar muito a gestão das águas urbanas no Brasil e aumentar drasticamente os investimentos em saneamento. A grande concentração de populações ao longo dos manguezais, restingas e lagoas litorâneas é uma realidade que precisa ser encarada e administrada com mais eficácia. É preciso implantar a reciclagem de água nos domicílios das grandes metrópoles, dentre outros aspectos.

O desenvolvimento econômico atual é caracterizado pela existência de um ciclo vicioso em que o progresso econômico e social leva a uma crescente degradação ambiental (Fig. 13.2).



Figura 13.2 – Ciclo de desenvolvimento não sustentável que é observado na maioria dos países atualmente, onde o progresso econômico e social acaba sempre gerando uma crescente degradação dos recursos hídricos. Neste cenário, a gestão das águas é caracterizada pelo excesso burocrático, sobreposição de funções nas diferentes esferas do governo, desarticulada do setor produtivo, mas, ao mesmo tempo, frágil para suportar pressões econômicas, pouco transparente, servindo apenas para postergar a crise nas águas para o dia seguinte (Orginal: RMPC).

Está mais do que claro que não basta simplesmente melhorar os mecanismos de conservação ou recuperação dos recursos hídricos, tais como apregoam muitas Organizações Não Governamentais (ONGs). Igualmente, não é suficiente apenas melhorar os índices de educação formal ou intensificar as ações de educação popular, ou mesmo tornar mais eficiente a gestão das águas, como apregoam muitos organismos internacionais. É certo que todas essas ações são imprescindíveis, mas é preciso, sobretudo, melhorar a governança das águas em quase todos os países (Fig. 13.3).

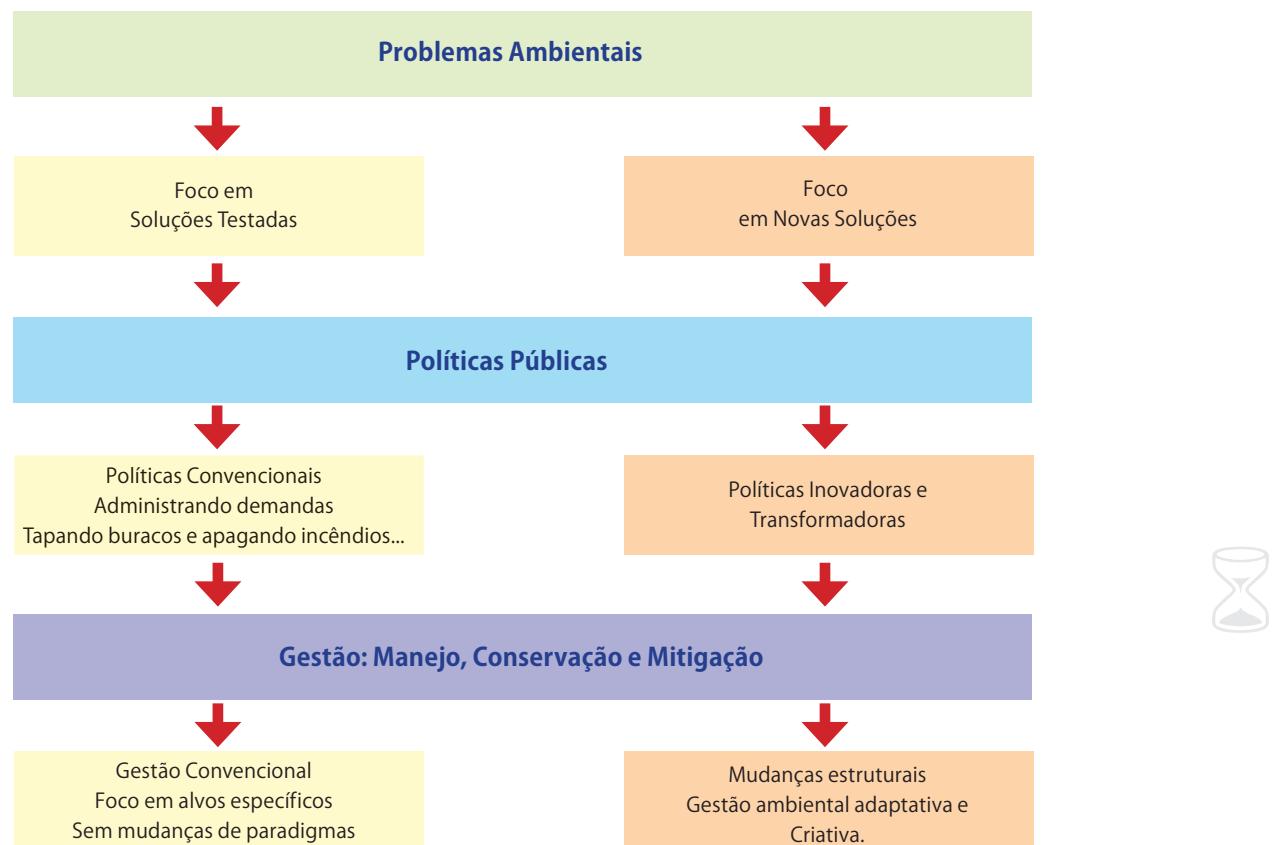


Figura 13.3 – Duas estratégias de governança das águas: (a) uso do enfoque tradicional centrado em soluções pontuais, não integradas, usando políticas tradicionais e apenas cobrindo as demandas locais evitando a mudança de paradigmas (b) enfoque inovador usando políticas inovadoras, novas soluções com base numa visão mais holística e integrada de governança ambiental. A questão central aqui é a busca de mudanças estruturais que não só resolvam o problema local, mas que levem a efeitos mais duradouros e sustentáveis.

A governança das águas requer um aumento ainda maior do comprometimento dos diferentes segmentos da sociedade de um dado país com a integridade dos recursos hídricos. De quais segmentos da população estamos falando? Na realidade, de todos mas principalmente: (a) do segmento político-institucional; (b) do segmento da ciência e tecnologia; (c) de todos os segmentos econômicos e, finalmente, (d) da sociedade em geral.

A superação da atual “Crise nas águas” em que vivemos passa pela formulação de um novo pacto social. Esse pacto envolve alguns temas e áreas que irão gerar grandes conflitos de interesse. Entretanto, esse debate será enfrentado pela sociedade mais cedo ou mais tarde, e os seguintes pontos focais deverão ser incluídos nesse pacto:

- (a) compatibilizar a urbanização com o balanço hídrico nas cidades;
- (b) impor novos limites à contaminação industrial em águas superficiais e aquíferos;
- (c) definir melhor e impor novos limites aos impactos ambientais gerados por segmentos importantes da economia, tais como a mineração, a exploração e o beneficiamento do petróleo, hidreletricidade, agronegócio, pesca e aquicultura;
- (d) implantar a reciclagem da água nas cidades e no campo;
- (e) melhorar a eficácia da prevenção e no julgamento dos crimes ambientais;
- (f) implantar ou intensificar a cobrança pelo uso não doméstico das águas;
- (g) impor novos limites aos usos múltiplos das águas em reservatórios, lagos, rios e aquíferos.

Esse novo pacto social pelas águas só pode ser alcançado graças a um esforço concentrado envolvendo todos os segmentos da sociedade. Não se pode conceber que tais transformações sejam atingidas sem uma nova e profunda revisão dos paradigmas do desenvolvimento econômico nos diferentes países do globo (Fig. 13.4).

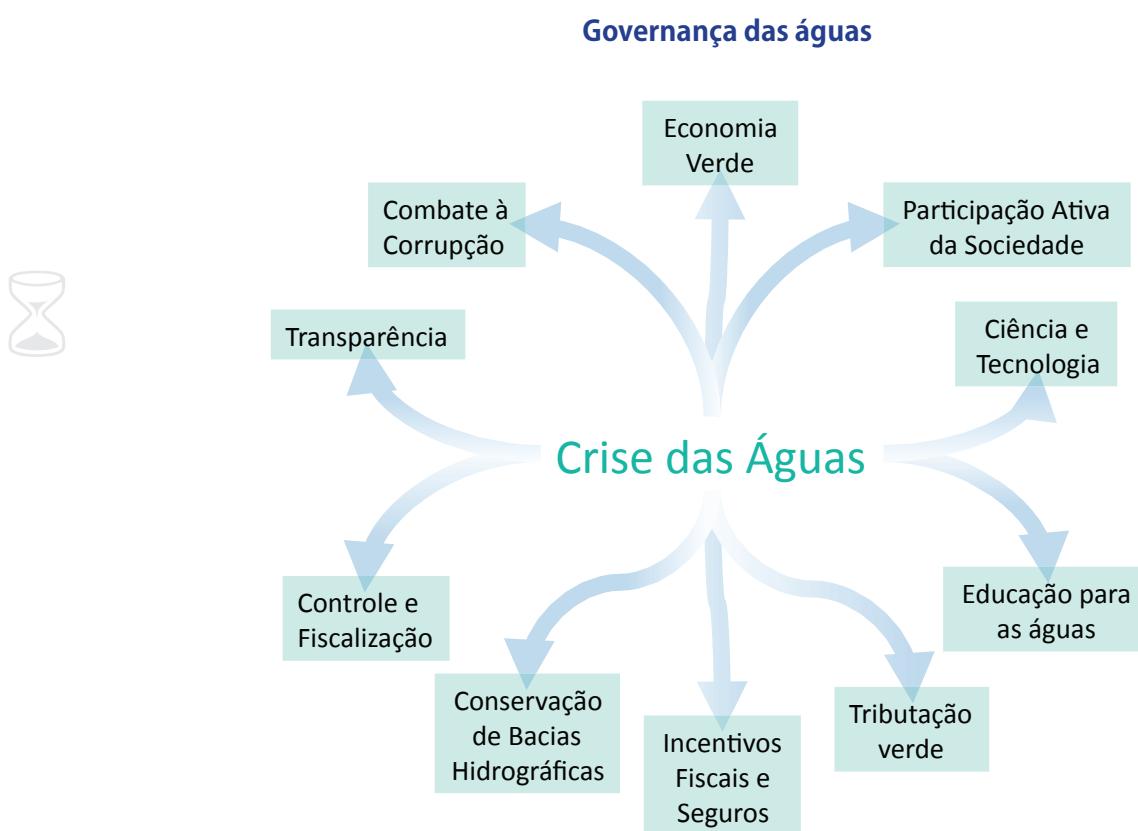


Figura 13.4 – Somente a governança das águas poderá reverter o quadro atual de degradação crescente dos recursos hídricos. Esse novo sistema de gestão das águas baseia-se, em primeira linha, na lisura e transparência de suas ações, aversão a toda forma de corrupção, na participação ativa da matriz sociocultural, no apoio à economia verde, na priorização da educação para as águas, na inovação tecnológica e em um sistema de conservação das águas com base na bacia hidrográfica, como unidade de manejo e conservação.

A seguir, fornecemos um caso de estudo que pode ilustrar muito bem a questão da necessidade de um novo pacto socioeconômico pelas águas. Uma das formas mais frequentes de degradação das águas é vista nos rios que cortam áreas densamente habitadas ou áreas de intensa atividade agrícola ou industrial. O Rio Tietê corta a maior cidade do Brasil, São Paulo. Apesar das inúmeras obras de saneamento e de engenharia já feitas nesse rio, essa situação de extrema degradação ambiental vem sendo mantida por décadas (Fig. 13.5).



Figura 13.5 – Rio Tietê, São Paulo, Brasil, um dos rios mais poluídos e degradados do mundo.

A recuperação de rios poluídos e degradados é uma prioridade mundial. Existe, na literatura especializada, um verdadeiro arsenal de tecnologias que podem ser usadas pelos tomadores de decisão para resolver a questão dos rios poluídos (Fig. 13.6). Então, é inevitável a pergunta: por que os tomadores de decisão não foram capazes de solucionar a questão da crescente poluição e degradação ambiental no Rio Tietê em todos esses anos? A resposta é a seguinte: não se trata de uma solução complicada sob o ponto de vista tecnológico, mas, sob o ponto de vista político e econômico, ela é extremamente complicada.

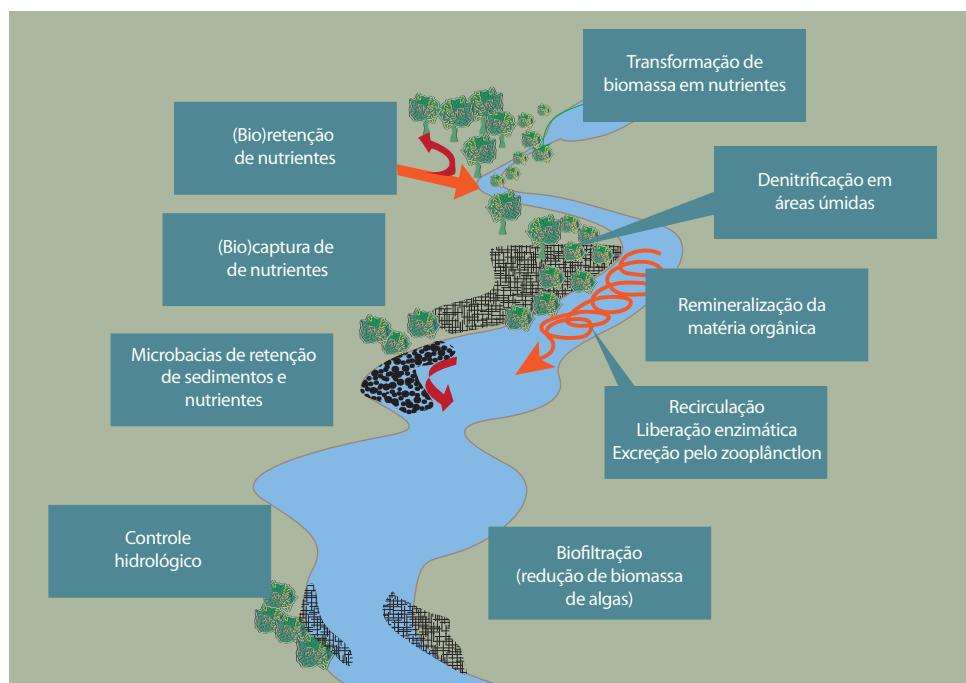


Figura 13.6 – Ecotecnologias (biotecnologias) existentes que podem ser empregadas na revitalização ecológica de rios degradados. No Brasil, medidas de renaturalização de rios e ribeirões ainda são uma novidade. No entanto, em países como a Suíça e a Alemanha, esse enfoque tem sido muito utilizado. A esse arsenal de biotecnologias somam-se todas as outras alternativas convencionais, tais como o tratamento de esgotos domésticos e industriais. Proteção de matas ripárias, dragagens etc.

A solução para Rio Tietê envolve não só obras de saneamento e de recuperação da saúde ecológica do rio como um todo, mas também maior comprometimento de vários segmentos da economia, tais como as áreas habitacional, comercial, industrial e de transportes etc. Para se recuperar o Rio Tietê, é preciso, antes de tudo, um novo pacto social e econômico com todos os atores diretamente envolvidos, já que essa recuperação completa irá causar, necessariamente, queda de rendimento e de produção em vários segmentos da economia regional e até mesmo da economia nacional, considerando a importância econômica da cidade de São Paulo. Até mesmo a escolha das prioridades das intervenções a ser feitas demanda esse tipo de pacto.

A adoção de novos paradigmas associados ao crescimento econômico sustentável passa pela priorização da chamada “economia verde”.

### 13.1 - Economia “marrom” *versus* economia “verde”

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (PNUMA, 2014) define economia verde como uma economia que resulta em melhoria do bem-estar da humanidade e igualdade social, ao mesmo tempo em que reduz os riscos ambientais e a escassez ecológica.

Um dos fundamentos da economia verde está na baixa emissão de carbono. Essa nova economia deve ser eficiente no uso e reúso de recursos e socialmente inclusiva. Nesse modelo econômico, o crescimento de renda e de emprego deve ser impulsionado por investimentos públicos e privados que busquem uma redução das emissões de carbono e da poluição, ao mesmo tempo que aumentem a eficiência energética com um menor uso de recursos naturais. Essa nova postura levaria a um aumento da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. Ao contrário da economia marrom, a priorização da economia verde pode acabar com a crise nas águas (Fig. 13.7).

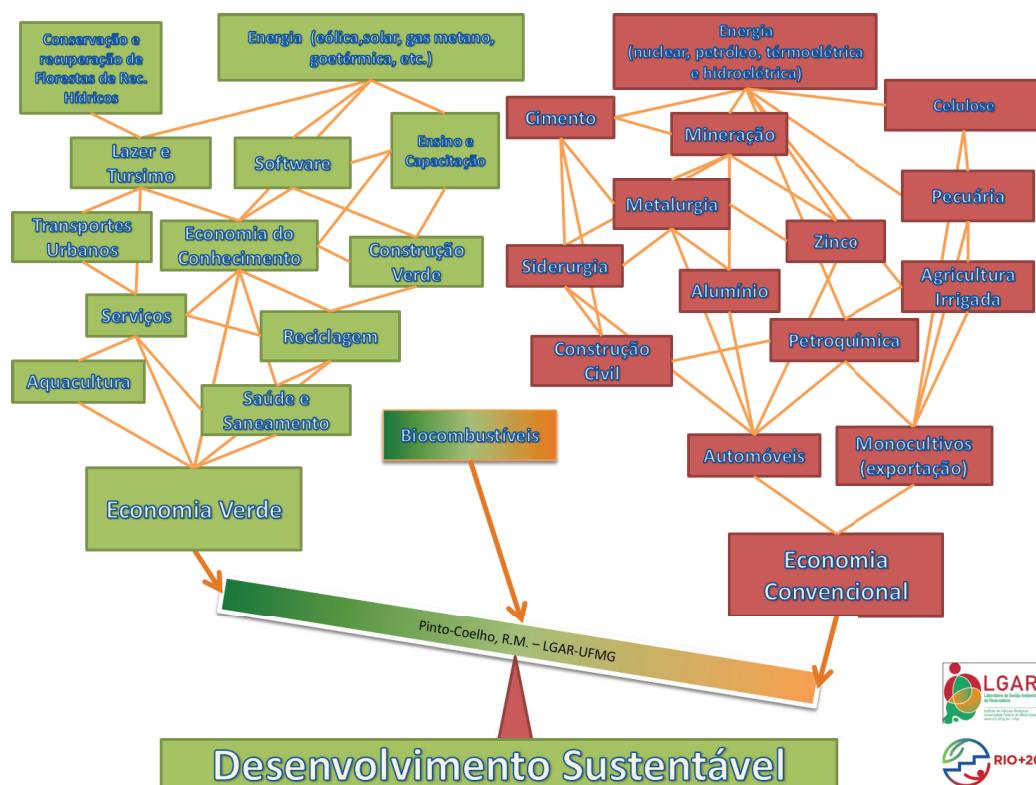


Figura 13.7 – O desenvolvimento sustentável está associado a um uso racional dos recursos naturais, a menores emissões de carbono e à eliminação da pobreza. Ao conjunto de todas as atividades econômicas que levam a esse objetivo, dá-se o nome de economia verde. Esse modelo econômico contrasta com o modelo convencional, ou seja, o da economia marrom.

Hoje em dia, o conceito de economia verde está presente no discurso de quase todos os políticos. O termo vem sendo usado no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza. O impulso para a economia verde resulta, em parte, da grande desilusão em relação aos paradigmas econômicos predominantes. Estamos realmente cansados de sobreviver a tantas crises simultâneas e ainda compartilhamos a frustração de uma economia que funciona mal e ainda deixa um rastro de problemas ambientais por toda parte.

Por outro lado, há evidências de que novos caminhos podem e devem ser seguidos. Nesse novo modelo do crescimento verde, a riqueza material não é alcançada necessariamente à custa de um crescente risco ao meio ambiente, escassez ecológica e disparidades sociais. Um número de evidências cada vez maior suporta a ideia de que a transição para uma economia verde é suportada em termos econômicos e sociais.

A adoção da economia verde muitas vezes é postergada ou impedida em razão de uma mitologia sem fundamentação científica. Um dos mitos mais difundidos é o de que a sustentabilidade ambiental impede o progresso econômico. Há evidências de que o “esverdeamento” de economias não inibe a criação de riqueza ou oportunidades de emprego. Em muitos casos, os setores verdes apresentam oportunidades até maiores de investimento e crescimento da riqueza e dos empregos. Outro mito é o de que a economia verde é um luxo que apenas países ricos têm condições de sustentar. Ao contrário, há vários casos de transições verdes acontecendo em várias partes do mundo em desenvolvimento, que merecem ser copiadas em outros lugares.

Um dos pontos essenciais para o sucesso da transição da economia marrom para a economia verde refere-se à questão do aporte de capital e do engajamento do sistema financeiro (setores bancário, de investimentos e de seguros) a essa nova modalidade da economia. São esperadas mudanças significativas na filosofia, cultura, estratégias e o inevitável abandono da mentalidade de curto prazo para o retorno dos investimentos necessários. Devemos fomentar a criação de um sistema internacional de contabilidade e implementar medidas que garantam mais disciplina no mercado de capitais, assim como um melhor entendimento da responsabilidade fiduciária na concepção das políticas de investimento. A ideia é buscar uma integração entre os fatores ambientais, sociais e governamentais para muito além do que acontece atualmente.



A economia verde, no entanto, depende tanto dos governos quanto do mundo corporativo e da sociedade em geral. Do lado do governo, podem-se eliminar os subsídios a produtos e serviços ultrapassados, devem-se reformar todas de políticas incentivos fiscais, e redirecionar os investimentos públicos e dar preferências aos contratos “verdes”. Do lado do setor privado, deve-se aproveitar a verdadeira oportunidade representada pela transição das economias verdes para vários setores-chave da economia. Os empresários devem responder às reformas políticas e aos sinais dos preços por meio de níveis cada vez mais altos de financiamento e investimento na economia verde. Os consumidores também devem alterar e adaptar seus hábitos de consumo para aceitar e incentivar essa transição. Eles podem estar certos de que, além de proteger e recuperar o ar, o solo e as águas, ainda estarão, muito provavelmente, melhorando a sua própria saúde bem como de sua família.

Quais são as prioridades da economia verde? Se levarmos em conta a própria definição do termo, as principais atividades econômicas que deveriam ser priorizadas seriam aquelas que levem a uma substancial queda da emissões atmosféricas de carbono (gás carbônico - CO<sub>2</sub> e metano - CH<sub>4</sub>). Assim, a questão da mobilidade urbana e de um menor uso do automóvel surge como uma das prioridades. O mau uso das águas poderá ser combatido por meio de investimentos bem mais elevados em saneamento. A questão dos déficits em habitação poderá ser um dos objetivos de uma reforma urbana com ênfase nas construções verdes e sustentáveis. A economia verde também pressupõe uma radical reforma na matriz energética com a adoção prioritária da energia eólica, do metano, biomassa e solar em detrimento da energia advinda do petróleo, da hidreletricidade (que emite muito metano, principalmente nos reservatórios localizados nas florestas equatoriais). Um menor uso dos recursos naturais poderá ser prontamente alcançado priorizando a reciclagem ambiental (Fig. 13.8).

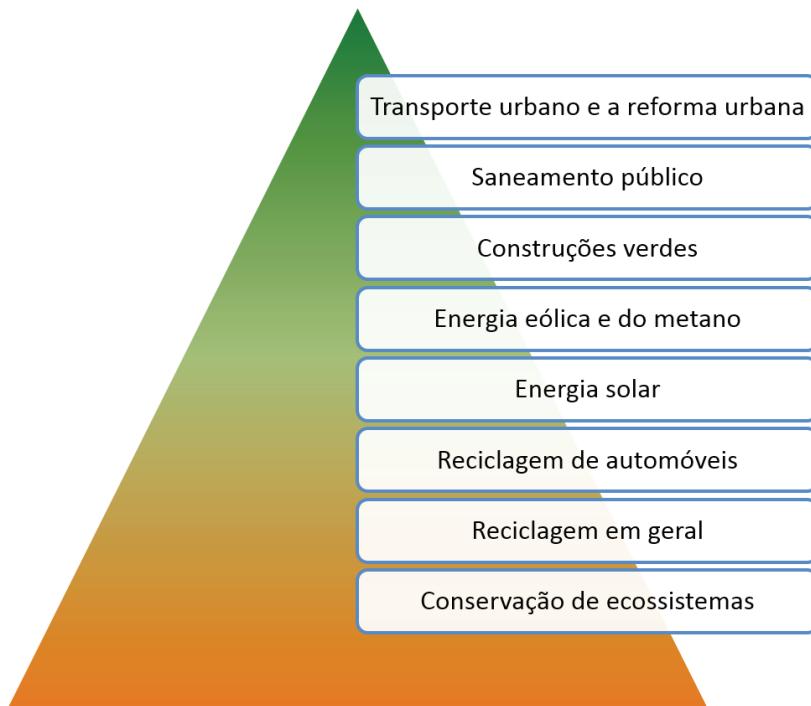


Figura 13.8 – Prioridades de fomento em segmentos importantes da economia verde.

## 13.2 - Modelos de Desenvolvimento, Meio Ambiente e o Futuro



A necessidade de incorporar a preocupação ambiental ao processo de tomada de decisões, mesmo nas políticas não ambientais, é um dos maiores desafios atuais em todos os níveis de governo. A esse conceito é dado o nome de Integração ambiental de políticas (*environmental policy integration – EPI*). Inicialmente, essa era uma preocupação apenas das autarquias ambientais (o que é o caso para a maioria dos estados da Federação). Entretanto, logo foi constatada a enorme dificuldade de atingir as demais autarquias e órgãos do governo. Com a adoção de um enfoque de governança do tipo EPI, áreas que tradicionalmente têm uma grande resistência a adotar práticas “verdes”, tais como as áreas de transportes, energia ou agricultura, passam então a se envolver em compromissos ambientais objetivos e realistas.

A definição de um “*portfolio*” de metas ambientais que sejam adotadas por todas as esferas do governo de modo integrado é o que se pode chamar mecanismo de autocontrole do próprio governo, em termos de meioambiente. Esse tipo de governança, no entanto, ainda está longe de ser atingido em países como o Brasil já que demanda um altíssimo comprometimento com o meio ambiente em nível da Presidência e dos mais elevados níveis de poder nas esferas do legislativo e do judiciário. Muitos dos melhores modelos a ser seguidos em relação a essa nova modalidade de governança ambiental EPI têm sido propostos pelo Centro de Políticas Ambientais da *Freie Universitaet*, de Berlin (Jacob & Volkery, 2003).

O GEO 4 em seu Capítulo 9 identifica quatro modelos básicos de governo. No modelo “mercado” (1) tanto o governo quanto o setor privado maximizam o crescimento econômico como único meio de atingir o bem-estar e a melhoria do meio ambiente. Prevalece a crença de que há sempre uma solução tecnológica para todos os problemas ambientais. O modelo “político” (2) envolve uma forte presença do estado na formulação de políticas ambientais. Essas políticas, por sua vez, não devem prejudicar o desenvolvimento econômico. Sempre que houver um conflito entre desenvolvimento e meio ambiente, o primeiro tópico leva a vantagem. Aparentemente, esse é o modelo que tem sido adotado pelo governo do Brasil.

O modelo “segurança” (3) prioriza o bem-estar da classe média e das classes dominantes. Dá-se grande prioridade ao regional ou nacional em detrimento de uma visão mais ampla. As resoluções de

organismos internacionais são vistas com desconfiança. Finalmente, o modelo “sustentável” parte de uma forte participação da sociedade civil organizada juntamente ao setor privado na formulação de políticas. A importância das questões ambientais e de desenvolvimento são equilibradas. A EPI é levada a serio e há um grande comprometimento de todas as agências de governo com a sustentabilidade ambiental (Fig. 13.9)

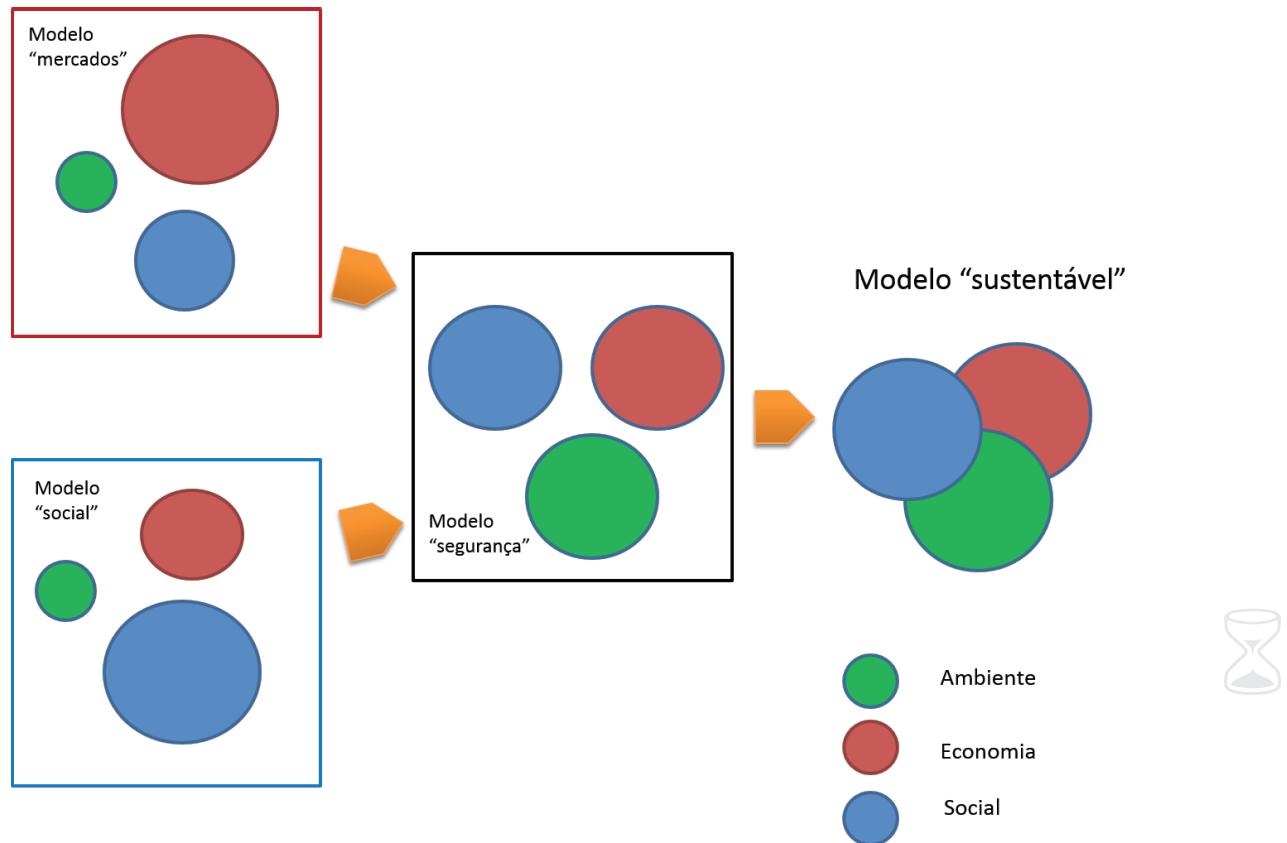


Figura 13.9 – Quatro modelos de governança que adotam estratégias muito diferenciadas de tratamento da questão ambiental.

A grande verdade é que a maioria dos países tem obtido um sucesso limitado na adoção da EPI. Normalmente, esse tipo de abordagem é facilmente aplicável apenas nas autarquias e agências de governo que tratam especificamente da questão ambiental, enquanto que as outras agências não se alinham ao processo. Com o tempo, as agências ambientais acabam por se envolver em uma série de conflitos dentro do próprio governo. Exemplos desses conflitos podem ser vistos nos processos de licenciamento ou de fiscalização ambiental. No entanto, alguns países têm obtido um avanço notável na questão da sustentabilidade ao integrarem os diferentes níveis de governo no modelo EPI: Dinamarca, Canadá, Finlândia, Holanda, dentre outros.

Ao chegarmos ao fim desta obra, permanece a questão em aberto: podemos superar a crise nas águas? James Lovelock é um Químico e Matemático que obteve seu PhD em Medicina (1948). Mais tarde, tornou-se um estudioso da atmosfera e da superfície de Planetas e outros corpos celestes, tendo sido o inventor de vários instrumentos e sondas que seriam usados pela NASA, para o estudo dos corpos celestes. É evidentemente um cientista cujas credenciais acadêmicas merecem todo o respeito.

Em 1979, J. Lovelock (Lovelock, 1979) publicou um livro que se tornou um “clássico” na literatura ecológica. Nessa obra, o autor descreve a teoria de Gaia, segundo a qual a Terra é um Planeta muito especial. Ao contrário dos Planetas Marte e Vênus, a atmosfera da Terra não seria somente o resultado das forças

geoquímicas que determinam a estrutura das atmosferas dos nossos vizinhos. A biosfera da Terra, segundo essa teoria, seria um “superorganismo” capaz de uma autorregulação que faria com que a vida prosperasse e evoluísse no Planeta.

Trinta anos mais tarde, o mesmo cientista (Lovelock, 2009) publica outro livro onde faz sombrias previsões sobre o futuro da Terra. Ele critica as previsões (já bastante preocupantes) do Painel Governamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) como sendo conservadoras e descreve um cenário muito mais pessimista, que inclui o extermínio de grandes contingentes da população humana atual, graças aos efeitos devastadores que mudanças climáticas irão causar na humanidade. Esses efeitos serão, em sua opinião, muito mais dramáticos do que aqueles que a maioria dos climatologistas e ecologistas atuais apregoa. Suas previsões não chegam a ser apocalíticas já que ele, ao mesmo tempo, ainda propõe uma nova ciência, a Geoengenharia, especialidade que se dedicaria a desenvolver tecnologias que poderiam evitar ou mesmo diminuir os graves efeitos das mudanças climáticas que estão por vir.

Hoje, a humanidade tem dois caminhos a seguir: (1) manter os níveis atuais de suas populações, adaptando-se rapidamente para viver em harmonia com os recursos naturais finitos, e assim, garantir um futuro, em paz; (2) deixar tudo como está e partir para o futuro com os sobreviventes das catástrofes climáticas, da escassez de água e de alimentos e das guerras e conflitos que virão. Vamos torcer para chegarmos ao futuro pela primeira via. Através da educação, ciência, tecnologia e da governança ambiental, a humanidade poderá alterar esse quadro sombrio e galgar um novo estágio de desenvolvimento da civilização, superando, assim, a atual crise nas águas.



## 14 - Bibliografia

Abrams, L. 2014. Water pollution from fracking confirmed in multiple states. Salon. Disponível em: [http://www.salon.com/2014/01/06/water\\_pollution\\_from\\_fracking\\_confirmed\\_in\\_multiple\\_states/?upw](http://www.salon.com/2014/01/06/water_pollution_from_fracking_confirmed_in_multiple_states/?upw)

Arruda, J. J. 1977. História antiga e contemporânea. 7ª Edição. Editora Ática, São Paulo (SP), 472 págs.

Abu Ghazleh et al. 2009. Water input requirements of the rapidly shrinking Dead Sea. Naturwissenschaften, DOI: 10.1007/s00114-009-0514-0.

Agência Nacional de Águas – ANA. 2005. Análise do pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos para o projeto de integração do rio São Francisco com as bacias hidrográficas do nordeste. Nota Técnica 390. 59 pág.

Alonso, R. 2012. Fósforo utilizado em detergentes em pó prejudica qualidade de mananciais de água. Sistema Ambiental Paulista. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/blog/2002/04/30/fosforo-utilizado-em-detergentes-em-po-prejudica-qualidade-de-mananciais-de-agua/>

Andrade-Tubino, M.F., A.L.R. Ribeiro & M. Vianna. 2008. Organização espaço-temporal das -ictiocenoses demersais nos ecossistemas estuarinos brasileiros: uma síntese. Oecol. Bras. 12(4):640-661.

Baker, D.W., B.P. Bledsoe, C.M. Alamo & N.L. Poff. 2011. Downstream effects of diversion dams on sediment and hydraulic conditions of rocky mountain streams. River research and applications, 27:388-411. Disponível em: [http://www.enr.colostate.edu/~bbledsoe/pubs/2011/Baker\\_et.al\\_2011\\_diversion\\_RRA.pdf](http://www.enr.colostate.edu/~bbledsoe/pubs/2011/Baker_et.al_2011_diversion_RRA.pdf)

Beveridge, M. 2004. Cage aquaculture. Blackwell Publishing. 3rd Ed. Oxford. UK. 368 págs. ISBN 978-1-4051-0842-3.

Bootsma, H. & R. E. Hecky. 1993. Conservation of the African Great Lakes: A Limnological Perspective. Conservation Biology, 7(3): 644-656.

Boyd, C.E. & C.S. Tucker. 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluver Academic Publishers. Norwell, Massachusetts (USA). 700 págs. ISBN 978-0412071812.

Butorina, L. 2005. Lake Baikal and other Great Lakes of Asia. In: O' Sullivan, P.E. & C.S. Reynolds. [eds.] The Lakes Handbook. Blackwell Publishing. Oxford. ISBN 0-632-04795-X. Págs 179-199.

Calixto, B. & A. Imérico. 2014. Crise da água em São Paulo: quanto falta para o desastre. Blog do Planeta. Revista Época. Disponível em: <http://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-Planeta/noticia/2014/06/crise-da-agua-em-sao-paulo-quanto-falta-para-bo-desastreb.html>

geoquímicas que determinam a estrutura das atmosferas dos nossos vizinhos. A biosfera da Terra, segundo essa teoria, seria um “superorganismo” capaz de uma autorregulação que faria com que a vida prosperasse e evoluísse no Planeta.

Trinta anos mais tarde, o mesmo cientista (Lovelock, 2009) publica outro livro onde faz sombrias previsões sobre o futuro da Terra. Ele critica as previsões (já bastante preocupantes) do Painel Governamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) como sendo conservadoras e descreve um cenário muito mais pessimista, que inclui o extermínio de grandes contingentes da população humana atual, graças aos efeitos devastadores que mudanças climáticas irão causar na humanidade. Esses efeitos serão, em sua opinião, muito mais dramáticos do que aqueles que a maioria dos climatologistas e ecologistas atuais apregoa. Suas previsões não chegam a ser apocalíticas já que ele, ao mesmo tempo, ainda propõe uma nova ciência, a Geoengenharia, especialidade que se dedicaria a desenvolver tecnologias que poderiam evitar ou mesmo diminuir os graves efeitos das mudanças climáticas que estão por vir.

Hoje, a humanidade tem dois caminhos a seguir: (1) manter os níveis atuais de suas populações, adaptando-se rapidamente para viver em harmonia com os recursos naturais finitos, e assim, garantir um futuro, em paz; (2) deixar tudo como está e partir para o futuro com os sobreviventes das catástrofes climáticas, da escassez de água e de alimentos e das guerras e conflitos que virão. Vamos torcer para chegarmos ao futuro pela primeira via. Através da educação, ciência, tecnologia e da governança ambiental, a humanidade poderá alterar esse quadro sombrio e galgar um novo estágio de desenvolvimento da civilização, superando, assim, a atual crise nas águas.



## 14 - Bibliografia

Abrams, L. 2014. Water pollution from fracking confirmed in multiple states. Salon. Disponível em: [http://www.salon.com/2014/01/06/water\\_pollution\\_from\\_fracking\\_confirmed\\_in\\_multiple\\_states/?upw](http://www.salon.com/2014/01/06/water_pollution_from_fracking_confirmed_in_multiple_states/?upw)

Arruda, J. J. 1977. História antiga e contemporânea. 7ª Edição. Editora Ática, São Paulo (SP), 472 págs.

Abu Ghazleh et al. 2009. Water input requirements of the rapidly shrinking Dead Sea. Naturwissenschaften, DOI: 10.1007/s00114-009-0514-0.

Agência Nacional de Águas – ANA. 2005. Análise do pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos para o projeto de integração do rio São Francisco com as bacias hidrográficas do nordeste. Nota Técnica 390. 59 pág.

Alonso, R. 2012. Fósforo utilizado em detergentes em pó prejudica qualidade de mananciais de água. Sistema Ambiental Paulista. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/blog/2002/04/30/fosforo-utilizado-em-detergentes-em-po-prejudica-qualidade-de-mananciais-de-agua/>

Andrade-Tubino, M.F., A.L.R. Ribeiro & M. Vianna. 2008. Organização espaço-temporal das -ictiocenoses demersais nos ecossistemas estuarinos brasileiros: uma síntese. Oecol. Bras. 12(4):640-661.

Baker, D.W., B.P. Bledsoe, C.M. Alamo & N.L. Poff. 2011. Downstream effects of diversion dams on sediment and hydraulic conditions of rocky mountain streams. River research and applications, 27:388-411. Disponível em: [http://www.enr.colostate.edu/~bbledsoe/pubs/2011/Baker\\_et.al\\_2011\\_diversion\\_RRA.pdf](http://www.enr.colostate.edu/~bbledsoe/pubs/2011/Baker_et.al_2011_diversion_RRA.pdf)

Beveridge, M. 2004. Cage aquaculture. Blackwell Publishing. 3rd Ed. Oxford. UK. 368 págs. ISBN 978-1-4051-0842-3.

Bootsma, H. & R. E. Hecky. 1993. Conservation of the African Great Lakes: A Limnological Perspective. Conservation Biology, 7(3): 644-656.

Boyd, C.E. & C.S. Tucker. 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluver Academic Publishers. Norwell, Massachusetts (USA). 700 págs. ISBN 978-0412071812.

Butorina, L. 2005. Lake Baikal and other Great Lakes of Asia. In: O' Sullivan, P.E. & C.S. Reynolds. [eds.] The Lakes Handbook. Blackwell Publishing. Oxford. ISBN 0-632-04795-X. Págs 179-199.

Calixto, B. & A. Imérico. 2014. Crise da água em São Paulo: quanto falta para o desastre. Blog do Planeta. Revista Época. Disponível em: <http://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-Planeta/noticia/2014/06/crise-da-agua-em-sao-paulo-quanto-falta-para-bo-desastreb.html>

Carpenter, S. & J. Kitchell. 1993. The trophic cascade in Lakes. Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK. ISBN 0 521 43145X.

Chanton, J. and F.G. Lewis. 2002. Examination of coupling between primary and secondary production in a river-dominated estuary: Apalachicola Bay, Florida, USA. Limnology and Oceanography 47: 683-697.

Caspian Environmental Programme – CEP. 2014. Environmental Issues in Caspian Sea. <http://caspian.iwlearn.org/caspian-1/environmental-issues/environmental-issues>

Chege, N. 1995. Lake Victoria: a sick giant. People & Planet. [http://www.cichlid-forum/articles/lake\\_victoria\\_sick.php](http://www.cichlid-forum/articles/lake_victoria_sick.php)

Crepaldi, D., P.M.C. Faria, E.A. Teixeira, L.P. Ribeiro, A.A. Costa, D.C. Melo, A.P. Cintra, S.A. Prado, F.A. Costa, M.L. Drumond, V.E. Lopes & V.E. Moraes. 2007. A situação da aquicultura e da pesca no Brasil e no mundo. Revista Brasileira de Reprodução Animal Belo Horizonte, 30(3/4): 81-85. Disponível em: <http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/RB142%20%20Crepaldi%20%28%20Sitacao%20da%20aquicultura%29%20pag%2081-85.pdf>

Consolidated Research Group on Marine Geosciences (CRG-MG). 2009. A new bathymetric map of Lake Baikal. MORPHOMETRIC DATA. INTAS Project 99-1669. Ghent University, Ghent, Belgium; University of Barcelona, Spain; Limnological Institute of the Siberian Division of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation; State Science Research Navigation-Hydrographic Institute of the Ministry of Defense, St.Petersburg, Russian Federation". Ghent University, Ghent, Belgium. <http://users.ugent.be/~mdbatist/intas/intas.htm>

Cunha, T.B. 2009. Conflitos pelo uso da água envolvendo a barragem Manoel Novais (Mirorós). Monografia de Bacharelado em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa. 157 págs. [www.geociencias.ufpb.br/lepan/gepat/files/conflieto\\_barragem.pdf](http://www.geociencias.ufpb.br/lepan/gepat/files/conflieto_barragem.pdf)

De Mott, W.R., Qing-Xue, Z. & W.W. Carmichael. 1991. Effects of toxic cyanobacteria and purified toxins on the survival and feeding of a copepod and three species of Daphnia. Limnol. Oceanogr., 36(7), 1991, 1346-1357.

Dokulil, M. 2005. European Alpine Lakes. In: O' Sullivan, P.E. & C.S. Reynolds. [eds.] The Lakes Handbook. Blackwell Publishing. Oxford. ISBN 0-632-04795-X. Págs. 159-178.

Eixo Energia . 2014. Usina Hidroelétrica de Jirau (RO). PAC Energia. Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Dossie/Tap/Documentos%20Oficiais/Energia\\_Geracao.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Tap/Documentos%20Oficiais/Energia_Geracao.pdf)

Elewa, H.H. 2010. Potentialities of water resources pollution of the Nile River delta, Egypt. The Open Hydrology Journal 4:1-13. Disponível em: <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/Potentialities%20of%20Water%20Resources%20Pollution%20of%20the%20Nile%20River%20Delta.pdf>

Environmental Protection Agency – EPA. 2006. Volunteer Estuary Monitoring Manual, Methods Manual, Second Edition, EPA-842-B-06-003 - Chapter 14. <http://www.epa.gov/owow/estuaries/monitor/>

Evans, M. 2005. The north American Great Lakes: a Laurentian Great Lakes Focus. In: O' Sullivan, P.E. & C.S. Reynolds. [eds.] The Lakes Handbook. Blackwell Publishing. Oxford. ISBN 0-632-04795-X. Págs. 65-95.

Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly clean energy source. Clim. Change 66:1-8.

Fearnside, P.M. 2005 a. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Uma Dam. Mitig. Adapt. Strat. Global Change 10:675-691.

Fearnside, P.M. 2005 b. Brazil's Samuel Dam: lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. Environ. Management, 35:1-19.

Fidelman, P. I. J 1999. Impactos causados por tensões de origem antrópica no sistema estuarino do Rio Santana, Ilhéus, Bahia. XII Semana Nacional de Oceanografia, novembro de 1999, Rio de Janeiro-RJ. p. 405-407.

Fustel, C. 1981. A cidade antiga. Ed. Martins Fontes, São Paulo (SP), 310 págs.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO-UNO. 2010. World Aquaculture – 2010. 105 págs. ISBN 978-92-5-106997-4.

Galloway, J.N., J.D. Aber, J.W. Ensminger, S.P. Seitzinger, R.N. Howarth, E.B. Cowling & B.I. Cosby. 2003. The nitrogen cascade. Bioscience 53(4):341-356.

Geller, D. 2006. South Cascade Glacier. Emporia State University. E-5767 – Quaternary Geology. Disponível em: <http://academic.emporia.edu/aberjame/student/geller/>

Giles, J. 2006. Methane quashes green credentials of hydropower. Nature 444:424-525 (News).

Global Nature Fund -GNF.2014. Threatened lake of the year. Threatened lake of the year 2012: Lake Titicaca in Peru and Bolivia. <http://www.globalnature.org/ThreatenedLake2012>.

Global Run off Data Centre - GRDC. 2007. Major River Basins the World - B. Für Gewässerkunde Koblenz Germany <http://grdc.bafg.de>

Godinho A. L. & Formaggio P.S. 1992. Efeitos da introdução de Cichla ocellaris e Pygocentrus sp. sobre a comunidade de peixes da Lagoa Dom Helvécio. Encontro Anual de Aquicultura de Minas Gerais 10, 93-102.



Godinho, A.L.; Fonseca, M.T.; & Araújo, M.L. 1994. The ecology of predator fish introductions: the case of Rio Doce valley lakes. In: R. M. Pinto-Coelho; A. Giani & E. von Sperling [eds.] *Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies*; SEGRAC, Belo Horizonte, MG, Brasil. Págs. 77-83.

Godinho, A.L. & Vieira, F. 1998. Ictiofauna. In: Costa, C. (Ed) *Biodiversidade em Minas Gerais: Um atlas para sua conservação*. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas, pp. 44-46.

Harrison, P. & F. Pearce. 2001. *Atlas of population and environment*. American Association for the Advancement of Science – AAAS. Univ. of California Press, California, USA. Disponível em: <http://www.ourplanet.com/aaas/>

Havens, K.E., N.G. Aumen, R.T. James and V.H. Smith. 1996. Rapid ecological changes in a large subtropical lake undergoing cultural eutrophication. *AMBIENT* 25: 150-155.

Havens, K.E. and A.D. Steinman. 2013. Ecological responses of a large shallow lake (Okeechobee, Florida) to climate change and potential future hydrologic regimes. *Environmental Management* DOI 10.1007/s00267-013-0189-3

Havens, K.E. M. Allen, E. Camp, T. Irani, A. Lindsay, J.G. Morris, A. Kane, D. Kimbro, S. Otwell, W. Pine and C. Walters. 2013. *Apalachicola Bay Oyster Situation Report*. Florida Sea Grant College Program, Technical Publication TP-200. 30 pp.

Hoekstra, A.Y. & A.L. Chapagain. 2008. *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publ. Oxford.

International Commision on Large Dams – ICOLD. 2014 Data basis on large dams in the world – Disponível em: [http://www.icold-cigb.org/GB/World\\_register/general\\_synthesis.asp](http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp)

Iritani, M.A. & S. Ezaki. 2012. As águas subterrâneas do estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo. Instituto Geológico. 106 págs. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/files/2013/04/01-aguas-subterraneas-2012.pdf>

Jacob, K. & A. Volkery. 2003. Instruments for Policy Integration. *Intermediate Report of the RIW Project POINT*. Environmental Policy Research Centre. Freie Universitaet Berlin – FUB. 22 págs. Disponível em: [http://userpage.fu-berlin.de/fu/download/rep\\_2003-06.pdf](http://userpage.fu-berlin.de/fu/download/rep_2003-06.pdf)

Jorgensen, S. E., G. Ntakimazi & S. Kayombo. 2006. Lake Tanganyika: Experience and lessons learned brief. [http://www.worldlakes.org/uploads/22\\_Lake\\_Tanganyika\\_27February2006.pdf](http://www.worldlakes.org/uploads/22_Lake_Tanganyika_27February2006.pdf)

Johnson, R. 2003. Water use in industries of the future: Steel industry. Washington, D.C. U.S. Department of Energy. July 2003.

Konikow, F. & E. Kendy. 2005. Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeological Journal*, 13(1):317-320. DOI: 10.1007/s10040-004-0411-8

Kubitza, F. 2007. O mar está para peixe... para peixe cultivado. *Panorama da Aquicultura*, 100:14-23.

Leite, M. D. Amora, M. Kachani, L Almeida & R. Machado. 2014. UHE Belo Monte – Um projeto de 30 bilhões. Folha de São Paulo. Reportagem Especial Disponível em: <http://arte.folha.uol.com.br/especiais/2013/12/16/belo-monte/>

Lévêque, C. 2003. *Ecology: From Ecosystem to Biosphere*. CRC Press. Taylor & Francis Group. New York, USA. 472 p. ISBN 97815780821940.

Longhurst, A. S. Sathyendranath1, T. Platt & C. Caverhill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of Plankton Research*, 17 (6): 1245-1271.

Lourdes, A. P. S. , A. A. Soares, A. T. Matos, P. R. Cecon & O. G. Pereira. 2006. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(3):706-714. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a25.pdf>

Lovelock, J. 1979. *Gaia: A new look at life on Earth*. Oxford Univ. Press.

Lovelock, J. 2009. *Vanishing Face of Gaia*. Basic Books, NYC, EUA 289 págs. ISBN 978-0-465-015549-8.

Lima, I., Fernando M. Ramos, L.A.W. Bmbace & R. R. Rosa. 2008. Methane emissions from large dams as renewable energy resources: A developing nation perspective. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change*, 13:193-206.

Luz, R.K. & J.C.E. dos Santos. 2010. Effect of slat and feeding frequency on cascudo preto Rhinelepis áspera (Pisces: Loricariidae) larviculture. *J. Appl. Ichthyol.* 26:453-455.

Doi: 10.1111/j.1439-0426.2009.01371.x

Mann, K.H. 2000. *Ecology of coastal waters*. 2nd Ed. John Wiley and Sons, Ltd. New York, USA. 100 págs. ISBN 978-0-86542-550-7.

Mann, M.E. 2012. The hockey stick and the climate wars. Columbia Univ. Press. 395 págs. ISBN 978-0-231-1524-9.

Marengo, J., J. Tomasella & C.A. Nobre. 2010. Mudanças climáticas e recursos hídricos. Capítulo 12, págs. 201-215. Disponível em <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-818.pdf>

Meadows, D., D.L. Meadows, J. Randers & W. W. Behrens III. 1978. *Limites do Crescimento*. Editora Perspectiva. 2a Edição, São Paulo (SP), 200 pags.

Melo, D. 2011. "Ilhas de Calor" na capital paulista causam temporais mais fortes do que no resto do estado. Ecodebate. Portal da Cidadania e Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2011/02/04/ilhas-de-calor-na-capital-paulista-causam-temporais-mais-fortes-do-que-no-resto-do-estado/>

Michigan Radio Org. 2014. Ten threats to the great lakes. Environment Report. <http://www.environmentreport.org/topten.php>

Micklin, 1988. P. Dessication of the Aral Sea: a water management disaster in the Soviet Union. *Science* 241:1170-1176.

Ministério da Pesca e Aquicultura - MPA. 2010. Boletim estatístico da pesca e da aquicultura. Brasília (DF). 129 p. Disponível: [http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes\\_e\\_Estisticas/Boletim%20Estat%C3%ADstico%20MPA%202010.pdf](http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estisticas/Boletim%20Estat%C3%ADstico%20MPA%202010.pdf)

Mooney, C. 2011. The truth about fracking. *Scientific American*, 305 (5):80-85. doi:10.1038/scientificamerican1111-80

National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA. 1998. Historical Contamination of Mississippi River Delta, Tampa Bay, and Galveston Bay Sediments. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 127, 136 págs.

Nobre,C.A.,G.Sampaio&L.Salazar.2007.Mudanças climáticas e Amazônia.Ciência e Cultura,59(3).Disponível em [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=s0009-67252007000300012&script=sci\\_arttext](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=s0009-67252007000300012&script=sci_arttext)

Odata, E.O., D. Olago, K. Kulindwa, M. Ntiba & SWandiga. Mitigation of environmental problems in Lake Victoria, East Africa: causal chain and policy options analyses. 2004. *AMBIO* 33(1-2):13-24.

Patz, J. K. Graczyk, N. Geller & A. Y. Vittor. 2000. Effects of environmental changes on emerging parasitic diseases. *Int. Journal for Parasitology* 30 (12-13):1395-1405.

Pauly, D., V. Christensen, S. Guénete, T. J. Pitcher, U. Rashid Sumaila & C.J. Walters. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418:689-695.

Pinto-Coelho, R.M. 2006. Elaboração de um banco de dados sobre a biota aquática do médio rio Doce. Relatório Final. Projeto Fapemig/Fundep convênio 5734. Belo Horizonte, agosto de 2006, 158 páginas. Disponível em: [http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art\\_pdf/rf\\_perd.pdf](http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art_pdf/rf_perd.pdf)

Pinto-Coelho, R.M., J.F. Bezerra-Neto, F. Miranda, T.G. Mota, A.M. Santos, P. Maia-Barbosa, N. Mello, M.M. Marques, M. Campos & F.A. Barbosa. 2008. The inverted trophic cascade in tropical planktonic communities: impacts of exotic fish introduction in the middle rio Doce lake district, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal Biologia*, 68 (4,Suppl.):1025-1037. Disponível em: [http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art\\_pdf/art\\_65a.pdf](http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art_pdf/art_65a.pdf)

Pinto-Coelho, R.M., M.B. Greco, R. Resck, M. Avila, J.F. Bezerra-Neto & L. Brighenti. 2008. Relatório de Estudo Ambiental e de Regularização do Parque Aquícola do Guapé, reservatório de Furnas, MG. Secretaria Especial de Pesca da Presidência da República -SEAP-PR. Belo Horizonte (MG). Disponível em: [http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art\\_pdf/eia\\_guape\\_4.pdf](http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art_pdf/eia_guape_4.pdf)

Pinto-Coelho, R.M. 2009. Reciclagem e Desenvolvimento Sustentável no Brasil. *Recóleo Coleta e Reciclagem de Óleos Vegetais* Editora, Ltda. Belo Horizonte, (MG), ISBN 978-85-61502-01-0, 340 págs. Disponível em: [http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Livro\\_Reciclagem/website/index.htm](http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Livro_Reciclagem/website/index.htm)

Pinto-Coelho, R.M. 2012. Atlas da Qualidade de Água do Reservatório da Pampulha. *Recóleo Coleta e Reciclagem de Óleos Vegetais* Editora, Ltda. Belo Horizonte, (MG), ISBN 978-85-61502-03-4, 52 págs. Disponível em: [http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art\\_pdf/atlas\\_pampulha.pdf](http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art_pdf/atlas_pampulha.pdf)

Pinto-Coelho, R.M., S. Santos & E. Vieira. 2012. A qualidade de água e aspectos limnológicos das águas superficiais do Reservatório de Nova Ponte (Minas Gerais). Relatório Final (Parte Limnologia e Batimetria) do Projeto de Delimitação dos Parques Aquícolas no Reservatório de Nova Ponte, Convênio Fapemig-Epamig-LGAR/UFMG, Belo Horizonte, 48 págs. Disponível em: [http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art\\_pdf/rf\\_nova\\_ponte.pdf](http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art_pdf/rf_nova_ponte.pdf)

Pinto-Coelho, R.M. et cols. 2013. Ordenamento da atividade de aquicultura no reservatório de São Simão, Minas Gerais-Goiás, Relatório Final Processo CNPq 561.275 Edital CT-Hidro 018-2010, LGAR-ICB-UFMG, Belo Horizonte (MG), 406 páginas. ISBN 978-85-61502-04-1. Disponível em: [http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art\\_pdf/rf\\_cnpq\\_561275.pdf](http://Ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art_pdf/rf_cnpq_561275.pdf)

Piterman, A. & R. M. Greco. 2005. A água, seus caminhos e descaminhos entre os povos. *Revista APS*, 8(2):151-164.

Pelicice, F.M., P.S. Pompeu & A.A. Agostinho. 2014. Large Reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish. *Fish & Fisheries*. DOI: 10.1111/faf.12089

Resende, S.C. & L. Heller, 2002. O saneamento no Brasil: políticas e interfaces. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 310 págs.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA. 2014. Disponível em <http://www.onu.org.br/onu-no-brasil/pnuma/>

Reicht, G. 1978. Der Bodensee. Cornelsen Velhagen & Klasing. Reihe CVK-Biologie-KOLLEG. Berlin, Germany. 63 pags.

Ridd, P.V. & T. Stieglitz. 2002. Dry Season Salinity Changes in Arid Estuaries Fringed by Mangroves and Saltflats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 54 (6): 1039-1049

Ringersma, J., N. Bates & D. Dent. 2003. Green water: Definitions and data for assessment. Weningen, The Netherlands. ISRC.

Rocha, L. A. B. 2009. Poluição do ar pela queimada de palha de cana de açúcar. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <http://www.outorga.com.br/pdf/Artigo%20294%20-%20Queimada%20cana.pdf>

Rockstrom, J. 1999. On-farm green water estimates as a tool for increase food production in water scarce regions. *Phys. Chem. Earth B*. 24(4):375-383.

Rosen, G. 1994. Uma história da saúde pública. Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, R.J., 423 págs.

Rybicki, S. 1997. ADVANCED WASTEWATER TREATMENT Report No 1. PHOSPHORUS REMOVAL - FROM WASTEWATER. A Literature Review. Stockholm. Joint Polish - Swedish Reports in: E. Plaza, E. Levlin & B. Hultman [Editors] Report Division of Water Resources Engineering. Department of Civil and Environmental Engineering Royal Institute of Technology. Sweden. Disponível em : <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/jps1.pdf>

Sabine, C.L. et al. 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science*, 305(5682):367-371.

Salati, E. W. Schindler, D.C. Victoria, J.C.S. Souza & N.A. Villa Nova. 2009. Economics and climate change in Brazil: estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima. 89 p.

Santos, C. H. A. J. A. F. H. Lourenço, F. Braga-Neto, O. R. Costa, M. A. Igarashi. 2013. Características dos ecossistemas estuarinos brasileiros e as atividades antrópicas. [http://www.prex.ufc.br/formularios/Meio\\_Ambiente\\_2006/ECOSSISTEMAS%20ESTUARINOS%20BRASILEIROS.pdf](http://www.prex.ufc.br/formularios/Meio_Ambiente_2006/ECOSSISTEMAS%20ESTUARINOS%20BRASILEIROS.pdf)

Sarmiento, J.L. & N. Gruber. 2006. Ocean biogeochemical dynamics. Princeton UNIV. Press. Princeton, NJ, 503 págs.

Schlesinger, W. & J.M. Melack. 1981. Transport of organic carbon in the world 's rivers. *Tellus*, 33:172-187.

Schwartz, F.W. & H. Zhang. 2003. Fundamentals of Ground Water. John Wiley & Sons, INC. New York, 583 p. ISBN 0-471-13785-5.

Sharma, Y. 1997. Case Study I – The Ganga River. In: Helmer, R. & Hespanhol, I. [eds.] Water Pollution Control – A Guide of Water Quality Management Principles. ISBN 0 419 22910 8. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resourcesquality/wpccasesstudy1.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wpccasesstudy1.pdf)

Shiklomanov, I.A. and Rodda, J.C. 2003. World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Silva J.B., D. G. Silva, C. C. Clemente Machado, J. D. Galvínio. 2010. Classificação geomorfológica dos estuários do estado de Pernambuco (Brasil) com base em imagens de satélites. IV Congresso Argentino do Cuaternário y Geomorfología, XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur. Disponível em: <http://www.abequa.org.br/trabalhos/ambientes008.pdf>

Silva, M.A.S., N. P. Griebeler, & L.C. Borges. 2007. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(1):108-114, 2007 Disponível em : <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a14.pdf>

Silva Rodrigues, E. 1998. Os cursos da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos. Tese de Doutoramento da Fundação Oswaldo Cruz/Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro (RJ). 166 págs.

Small, I., J. van der Meer & R.E.G. Upshur. 2001. Acting on an environmental health disaster: The case of the Aral Sea. *Environmental Health Perspectives* 109(6): 547-549.

Snow, J. 1999. Sobre a maneira de transmissão da cólera. Ed. Abrasco. Rio de Janeiro, R.J. 249 págs.

Smithsonian Marine Station at Fort Pierce. 2008. Biodiversity of Indian River Lagoon. <http://www.sms.si.edu/IRLFieldGuide/index.htm>

Sobrinho, W.P. 2014. Sobrepreço da transposição do rio São Francisco chega da R\$ 1,1 bilhão. IG São Paulo, 08 de Janeiro de 2014. Disponível em: <http://ultimosegundo.ig.com.br/politica/2014-01-08/sobrepreco-da-transposicao-do-rio-sao-francisco-chega-a-r-11-bilhao.html>

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. M.B. Tignor, H. LeRoy Miller Jr. & Z. Chen. [eds.] ]The Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 2007. Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Cambridge Univ. Press. 996 p. ISBN 0-521-88009-1.

Souza e Silva, W., N.I.S. Cordeiro, D. C. Costa, R. Takata & R.K. Luz. 2014. Frequência alimentar e taxa de arrocoamento durante o condicionamento alimentar de juvenis de pacamã. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(8):648-651. Doi: 10.1590/S0100-204X2014000800009.

Straskraba, M. 2005. Reservoirs and other artificial water bodies. In: O ' Sullivan, P.E. & C.S. Reynolds. [eds.] The Lakes Handbook. Blackwell Publishing. Oxford. ISBN 0-632-04795-X. Págs 300-328.

The Trade & Environment Database. 2014. Lake Baikal Pollution. TED Case Studies. <http://www1.american.edu/ted/baikal.htm>

Tremblay, A., M. Lambert & L. Gagnon. 2004. Do hydroelectric reservoirs emit greenhouse gases? *Environmental Management*, 33(1):509-517.

Torres, A.M. & El Robrini, M. 2004. Erosão e progradação do litoral brasileiro. Capítulo: Amapá. Ministério do Meio Ambiente – MMA, Brasil. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_arquivos/ap\\_erosao.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/ap_erosao.pdf)

Tundisi, J.G. & T. Matsumura-Tundisi. 2008. Limnologia. Oficina de Textos. São Paulo (SP). ISBN 978-85-86238-66-6. 632 págs.

Twilley, R., S., C. Snedakker, A. Yáñez-Arancibia & E. Medinba. 1996. Biodiversity and ecosystem processes in tropical estuaries: Perspectives of mangrove ecosystems. In: Mooney, H.A., J.H. Cushman, E. Medina, U.E. Sala & E.D. Schulze. Functional roles of biodiversity: A global perspective. pp: 327-370. Ed. John Wiley and Sons. NYC, USA.

United Nations Environment Program – UNEP - GEMS. 2006. Global Monitoring System. Water Program. Disponível: <http://www.gemswater.org>.

United Nations Environment Programme – UNEP -GEO 4. 2007. Global Environment Outlook. GEO-4. Valletta, Malta. 508 p. ISBN 978-92-807-2836-1 (paperback).

United Nations Environment Programme – UNEP. 2008. Water Quality for Ecosystem and Human Health - Global Environment Monitoring System (GEMS), 2nd Edition. ISBN 119 p. Burlington, Ontario, Canada, ISBN 92-95039-51-7.

United Nations Environmental Programme – Guinea Large Marine Ecosystem – GCLME. 2014. Executive Summary. GIWA REGIONAL ASSESSMENT 42 GUINEA CURRENT. Disponível em: [http://www.unep.org/dewa/giwa/areas/reports/r42/executive\\_summary\\_giwa\\_r42.pdf](http://www.unep.org/dewa/giwa/areas/reports/r42/executive_summary_giwa_r42.pdf)

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization - UNESCO. 2006. Water – a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2. Paris. 584 p. ISBN UNESCO 92-3-104006-5.

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization - UNESCO. 2009. Water in a changing world. The United Nations World Water Development Report 3. 318 p. Paris. UNESCO ISBN 978-9-23104-095-5

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization - UNESCO. 2009b. Facing the Challenges. The United Nations World Water Development Report 3. 76 p. UNESCO ISBN 978-9-23104-095-5

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization – UNESCO-PHI. 2011. IX Meeting of National Committees and Focal Points of the International Hydrological Program of UNESCO for Latin America and the Caribbean (IHP-LAC) Juan Dolio, Dominican Republic, 28-29 June 2011 REPORT. Disponível em: <http://www.UNESCO.org.uy/phi/biblioteca/archive/files/6db9c1f98f063138a8a7a02ab2db35b4.pdf>

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization - UNESCO. 2012. Managing Water under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development - WWDR Report 4. Vol. 1. Paris. e-book 866 p. ISBN 978-92-3-001045-4

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization - UNESCO. 2014. Water and Energy. The United Nations World Water Development Report 2014. Vol. 1. Paris. 130 p. ePub ISBN 978-92-3-904429-3.

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization - UNESCO. 2014b. Facing the Challenges. The United Nations World Water Development Report 2014. Vol. 2. 131-204 pp. Paris. ePub ISBN 978-92-3-904259-3.

United States Environmental Protection Agency – EPA. 2014. The Great Lakes Program. <http://www.epa.gov/oaqps001/gr8water/xbrochure/lakes.html>

United States Energy Information Administration - EIA. 2014. Independent Statistics and Analysis. Disponível em: <http://www.eia.gov>

Vollenweider, R. 1971. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorous as factors in eutrophication. OECD Tech Report. DAS/CSI/68.27 159 págs. 34 Figs.

Whigham, T. 2002. The Paraguayan War. Lincoln, Nebraska: University of Nebraska Press

Williams, W.D. 2005. Lakes and Arid Environments. In: O' Sullivan, PE. & C.S. Reynolds. [eds.] The Lakes Handbook. Blackwell Publishing. Oxford. ISBN 0-632-04795-X. Págs 200-240.

Wikipedia – A enciclopédia livre. Represa Hoover. [http://pt.wikipedia.org/wiki/Represa\\_Hoover](http://pt.wikipedia.org/wiki/Represa_Hoover). Acesso em 25/08/2014

Worldometers. 2014. Estatísticas mundiais em tempo real. Disponível em <http://www.worldometers.info/br>

World Wildlife Foundation – WWF. 2014a. Threat of Pollution in the Yangtze. Disponível em [http://wwf.panda.org/about\\_our\\_earth/about\\_freshwater/rivers/](http://wwf.panda.org/about_our_earth/about_freshwater/freshwater_problems/river_decline/10_rivers_risk/yangtze/yangtze_threats/)

World Wildlife Foundation – WWF. 2014b. World's Rivers. WWF Global. Disponível em: [http://wwf.panda.org/about\\_our\\_earth/about\\_freshwater/rivers/](http://wwf.panda.org/about_our_earth/about_freshwater/rivers/)





Essa obra foi finalizada integralmente com recursos da  
Icatu Meio Ambiente Ltda.



Rua Flor da Paixão, 35 - Jardim Alvorada  
Belo Horizonte - MG - Brasil  
CEP 30810-250

[www.icatuambiente.com.br](http://www.icatuambiente.com.br)

## Créditos

### Projeto Gráfico e Diagramação:

CZK Comunicação - Cesar Costa

### Mapas:

Dra. Eliane Vieira

Biólogo Tarcísio Caires Brasil

Bióloga Msc. Eliane C. Elias

### Impressão:

TCS Soluções Gráficas

### Tiragem:

1ª edição - 600 exemplares



Rua Flor da Paixão, 35 - Jardim Alvorada  
Belo Horizonte - MG - Brasil  
CEP 30810-250

[www.recoleo.com.br](http://www.recoleo.com.br)

Tel.: (31) 3418-5790

Essa obra foi finalizada integralmente com recursos da  
Icatu Meio Ambiente Ltda.



Rua Flor da Paixão, 35 - Jardim Alvorada  
Belo Horizonte - MG - Brasil  
CEP 30810-250

[www.icatuambiente.com.br](http://www.icatuambiente.com.br)

## Créditos

### Projeto Gráfico e Diagramação:

CZK Comunicação | [www.czkcomunicacao.com](http://www.czkcomunicacao.com)

### Mapas:

Dra. Eliane Vieira

Biólogo Tarcísio Caires Brasil

Bióloga Msc. Eliane C. Elias

### Impressão:

TCS Soluções Gráficas

### Tiragem:

1ª edição - 600 exemplares



Rua Flor da Paixão, 35 - Jardim Alvorada  
Belo Horizonte - MG - Brasil  
CEP 30810-250

[www.recoleo.com.br](http://www.recoleo.com.br)

Tel.: (31) 3418-5790

## RESUMO

Nos dias atuais, a humanidade está enfrentando grandes problemas de escassez e má qualidade em quase todas as águas interiores do Planeta. Rios, lagos, represas, aquíferos, geleiras, zonas costeiras apresentam claros sinais de grande degradação ambiental. O livro Crise nas Águas, além de abordar a importância ambiental dessas reservas de água doce, também sumariza os seus principais problemas ambientais. A seguir, a obra passa a apresentar alternativas para superar a atual crise nas águas: educação, ciência, tecnologia e governança são tratados em destaque. Finalmente, o livro traz uma discussão sobre o futuro de uma humanidade vivendo em um novo mundo, onde não mais teremos o equilíbrio e a abundância de recursos que tivemos nas últimas décadas. O livro resulta de um programa de cooperação técnico-científica entre a Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG e a University of Florida (Sea Grant Program).

PALAVRAS-CHAVE: crise, ecossistemas aquáticos, governança, educação para as águas.

## ABSTRACT

*Currently, humanity is facing serious problems of scarcity and poor quality of almost all inland waters on the planet. Rivers, lakes, reservoirs, aquifers, glaciers and coastal areas exhibit clear signs of major environmental degradation. This book about 'the water crisis' addresses the ecological and economic importance of these important reserves of water, and also summarizes the main environmental problems they face. The book also presents alternatives to overcome the current water crisis. Education, science, technology and governance are highlighted. Finally, the book provides a discussion of the future of humanity living in a world where we will not have the abundance of freshwater we had in the last decades. The book is the result of a program of technical and scientific cooperation between the Federal University of Minas Gerais - UFMG and the University of Florida's Sea Grant Program.*

KEYWORDS: water crisis, aquatic ecosystems, governance, education for the waters

PATROCÍNIO:



[icatuambiente.com.br](http://icatuambiente.com.br)

ISBN 978-85-61502-05-8



9 788561 502058



editora.