

Lagos e Reservatórios

Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização

Volume 3

**Capa: fotos, figuras e tabelas
inseridas neste volume**



Sumário

Prefácio	3
Prefácio à Edição em Português	4
P or que a eutrofização é um problema tão sério de poluição?	5
Q ual é o estado atual de eutrofização?	9
D e onde vêm os nutrientes e como eles provocam a eutrofização	13
G erenciamento da qualidade da água e eutrofização em alguns lagos do mundo	17
E ducação ambiental e percepção política	20
A spectos sociais, culturais e econômicos da eutrofização	22
O Futuro	22
E utrofização em reservatório do Brasil: o estudo de caso da represa Carlos Botelho (Lobo/Broa)	26

Prefácio



É um prazer apresentar o Volume 3 da série “Planejamento e Gerenciamento de Lagos e Reservatórios”. O presente volume, denominado “Qualidade da água: o impacto da eutrofização”, oferece uma visão geral do problema do enriquecimento de águas superficiais devido a compostos orgânicos que se originam de atividades agrícolas e urbanas bem como de efluentes industriais. A eutrofização é um processo que, uma vez iniciado, é difícil de controlar, a menos que uma ação imediata seja implementada. A eutrofização leva em seus estágios finais à redução de oxigênio na água, à liberação e à acumulação de substâncias tóxicas na água e nos sedimentos – poluindo o ambiente aquático, o que pode levar à morte dos organismos aquáticos, dos ecossistemas e de seres humanos que inadvertidamente bebam ou fiquem expostos à água poluída. Uma vez iniciada a eutrofização, é muito difícil controlá-la ou revertê-la, e isto também exige muitos investimentos financeiros. Embora existam muitos lagos eutróficos no planeta, a maioria ainda não está eutrófica. Mas esta situação está mudando rapidamente.

Águas eutróficas em lagos e represas produzem inúmeras perdas de biodiversidade, redução da qualidade da água e baixa disponibilidade. Além disso, tais lagos e reservatórios representam risco significativo à saúde de seres humanos e de animais. Isto se deve primariamente ao crescimento explosivo de algas microscópicas, as quais, uma vez mortas e em processo de decomposição, liberam uma das mais poderosas classes de toxinas conhecidas pelo homem: *cianotoxinas*. Os danos às hidroelétricas e às atividades recreativas estão bem registrados como impactos negativos originados desses processos que causam grandes perdas econômicas.

Para controlar o processo de eutrofização é preciso compreender as causas e os estágios de desenvolvimento. Similarmente, é necessário avaliar cuidadosamente as soluções tecnológicas que serão aplicadas ao processo de mitigação e remediação da eutrofização. Em geral, os sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias são suficientes para o controle da eutrofização, embora a manutenção seja cara. Métodos alternativos para o controle e a mitigação da eutrofização incluem o uso de áreas alagadas naturais bem como algumas construídas, uma vez que esses métodos se baseiam na capacidade de autodepuração da natureza e são usualmente muito mais baratos de manter e operar.

A eutrofização, sob muitos aspectos, pode ser considerada um reflexo, em nossos lagos, reservatórios e rios, do modo pouco cuidadoso com o qual a sociedade está tratando seus resíduos líquidos, bem como aplicação de práticas ultrapassadas de uso do solo. Portanto, a sociedade como um todo precisa ser esclarecida em termos de saúde, finanças, meio ambiente e recreação, bem como sobre os custos relacionados com sua solução. Espera-se que, por intermédio desta publicação, os cidadãos, juntamente com as autoridades, indústrias, agricultores e outros membros da sociedade, possam compreender os princípios desse processo, seus efeitos e sua solução, de tal forma que uma ação pró-ativa e cooperativa possa ser desenvolvida a fim de prevenir ou reduzir significativamente o risco de águas superficiais se tornarem poluídas pelo processo de eutrofização.

Esperamos que você aprecie este volume.

Steve Halls
Diretor

International Environmental Technology Centre

Kei Yamazaki
Diretor Geral

International Lake Environment Committee Foundation

Prefácio à Edição em Português



O processo de eutrofização, hoje um problema mundial, atinge lagos, represas, rios e águas costeiras de todo o planeta. Como foi salientado no Prefácio da edição em inglês, uma vez instalada, a reversão da deterioração é difícil e extremamente dispendiosa. Os danos à saúde humana e o aumento exagerado dos custos do tratamento da água são algumas das conseqüências econômicas mais severas e problemáticas da eutrofização. Este volume é uma contribuição à compreensão pela sociedade do problema da eutrofização, suas causas, conseqüências e custos. Oferece também algumas informações sintéticas sobre os mecanismos e técnicas de recuperação, e sobre as abordagens em uso para melhorar a educação sanitária e ambiental da população, causa primária de eutrofização por fontes não pontuais.

No volume em português, acrescentou-se um exemplo bem claro do processo de eutrofização em andamento na represa Carlos Botelho (Lobo/Broa) e dos planos para gerenciamento integrado e recuperação desse ecossistema.

Para prevenir e resolver os problemas de eutrofização é necessário que a sociedade conheça amplamente os problemas. Também deve-se fazer um esforço para implantar políticas públicas adequadas que promovam soluções efetivas e permanentes, com criatividade e baixos custos.

Takako Matsumura-Tundisi
Diretora Científica
Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos

José Galizia Tundisi
Presidente
Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos

Por que a eutrofização é um problema tão sério de poluição?

Eutrofização é um dos problemas ambientais de águas continentais mais difundidos; trata-se de enriquecimento artificial com dois tipos de nutrientes de plantas, o fósforo e o nitrogênio.

Uma importante consequência do enriquecimento de lago e reservatório é o aumento do crescimento de plantas flutuantes microscópicas e algas e a formação de densa forragem de grandes plantas aquáticas flutuantes, como aguapés (*Eichhornia*) e alface-d'água (*Pistia*) (Fotos 1 e 2). O crescimento é uma consequência do processo de fotossíntese, por intermédio do qual as plantas produzem matéria orgânica e biomassa utilizando os nutrientes (nitrogênio, fósforo e outros) do solo e da água. Nesse processo, a luz atua como fonte de energia e o dióxido de carbono dissolvido na água, como fonte de carbono. Como resultado do processo fotossintético, oxigênio também é produzido.

Quando as plantas morrem, estas se decompõem em razão das atividades dos

fungos e das bactérias; no processo, oxigênio é consumido e nutrientes são liberados juntamente com dióxido de carbono e energia. Em muitos lagos e reservatórios do mundo, as plantas que crescem na superfície durante a primavera e verão morrem no outono e se sedimentam no fundo, onde se decompõem.

Durante a primavera e o verão, os lagos e reservatórios são frequentemente supersaturados de oxigênio devido à presença de plantas. O oxigênio em excesso é liberado para a atmosfera, não permanecendo disponível por muito tempo para decompor a matéria orgânica. Isto causa depleção de oxigênio ou anoxia nas camadas mais profundas dos lagos, particularmente no outono.

A depleção de oxigênio é, portanto, causada pela mudança no tempo e no espaço entre fotossíntese e decomposição. Em regiões tropicais, os mesmos processos ocorrem, mas em termos de sazonalidade não são tão represen-



Foto 1 Florescimento de alga de um lago.



Foto 2 Supercrescimento de plantas aquáticas flutuantes.

tativos quanto em regiões temperadas, porque a duração da temperatura e do período de claridade é muito similar durante o ano todo.

Em certos períodos, os lagos podem formar uma termoclina alguns metros abaixo da superfície (Figura 1). Na termoclina, a temperatura diminui em muitos graus em poucos metros e divide o lago em duas zonas: uma mais quente na região superior (epilímnio) e uma mais fria na região inferior (hipolímnio). Lagos de regiões temperadas têm cerca de 10 metros ou mais de profundidade e tipicamente formam a termoclina durante o verão, portanto, eles estratificam. Lagos rasos tropicais também podem se estratificar, mas a estratificação pode ser quebrada por ventos fortes.

Uma termoclina impede que a porção superior e a porção inferior do lago se misturem. O resultado é uma mudança na concentração vertical de oxigênio, como mostrado na Figura 1, em que a concentração é alta na porção superior ou epilímnio e muito baixa na porção inferior ou hipolímnio (a baixa concentração de oxigênio pode degradar a qualidade da água a jusante do lago ou do reservatório, particularmente a jusante de reservatórios com tempos de retenção muito pequenos como mencionado no Volume 1, página 15).

A depleção de oxigênio frequentemente ocasiona completa desoxigenação ou anoxia nas regiões mais profundas do lago ou dos reserva-

tórios, uma vez que o oxigênio se dissolve muito fracamente na água. Em lagos rasos e onde a produção primária é alta, a desoxigenação do sedimento e da água também ocorre frequentemente (sedimento escuro, Foto 3).



Foto 3 Sedimento escuro do fundo de um lago.

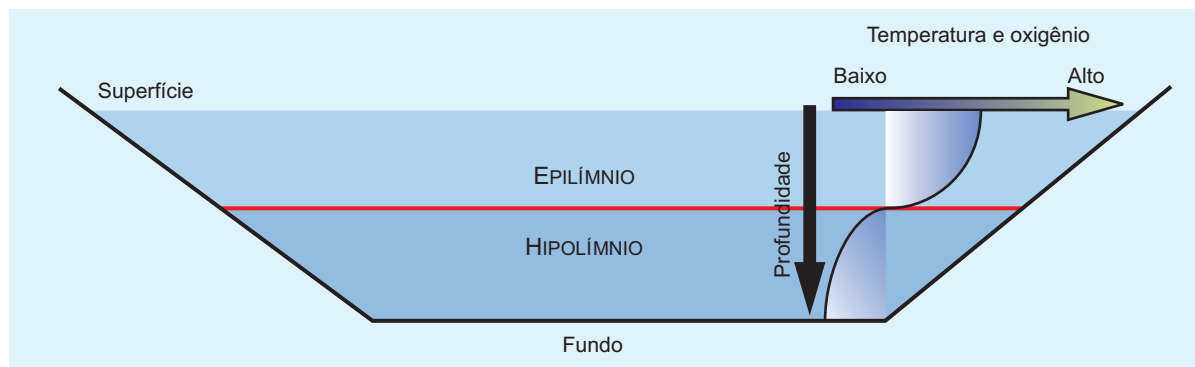


Figura 1 Termoclina e a relação entre temperatura/oxigênio e profundidade em lagos de regiões temperadas.

Essas condições matam peixes e invertebrados (Foto 4). Além disso, a amônia e o gás sulfídrico que se originam da atividade bacteriana podem ser liberados dos sedimentos sob condições de anoxia, e suas concentrações podem elevar-se a níveis que afetam adversamente plantas e animais, uma vez que conseguem atuar como gases venenosos (também sistemas de transmissão de eletricidade em hidroelétricas podem ser afetados pelo poder corrosivo do gás sulfídrico). Fósforo e amônia também podem ser liberados na água, enriquecendo-a com nutrientes.



Foto 4 Mortalidade de peixe em razão da falta de oxigênio num lago da Indonésia.

Alguns tipos particulares de algas que crescem em lagos e reservatórios muito enriquecidos com nutrientes (algas verde-azuis ou cianobactérias, Fotos 5 e 6, e também dinoflagelados que podem produzir marés vermelhas, Fotos 7 e 8) liberam na água toxinas altamente poderosas que são venenosas mesmo em concentrações muito baixas. Algumas dessas toxinas produzem efeitos negativos no fígado de animais em concentrações mínimas, mas podem ocasionar a morte de gado, outros animais e mesmo seres humanos quando ingeridas em água potável contaminada em altas concentrações.

Embora uma das maneiras de tratar e desinfetar águas de superfície onde essas algas crescem (e também para prevenir altas concentrações de matéria orgânica) seja por meio

de cloro, infelizmente isto leva à formação de compostos que podem induzir ou produzir câncer – uma séria ameaça à segurança de estoques de água potável.



Fotos 5 e 6 Vista macro e microscópica de *Microcystis aeruginosa*.

Altas concentrações de nitrogênio sob a forma de nitrato na água também podem causar problemas de saúde pública. Essas concentrações elevadas podem inibir a capacidade das crianças de incorporar oxigênio em seu sangue e, como resultado, ocorre uma condição denominada de síndrome dos bebês azuis ou *metahemoglobinemia*. Para que isso ocorra, os níveis de nitrato devem estar acima de 10 mg/L em água potável. Essas condições representam risco à vida humana (Fotos 5 e 6).

Um dos principais problemas resultantes do florescimento de algas ou outras plantas aquáticas (crescimento desproporcional, Foto 9) é a redução na transparência da água, a qual compromete o valor recreativo de lagos, principalmente para natação e navegação. Agupés e alfaces-d'água podem cobrir grandes áreas próximas à praia e podem desgarrar-se para



Fotos 7 e 8 Vista macro e microscópica de maré vermelha de um flagelado *Uroglena americana*.

águas abertas, muitas vezes ocupando toda a superfície do lago ou da represa. Esses blocos de macrófitas flutuantes impedem a penetração de luz e produzem grandes quantidades de matéria orgânica morta que podem levar a baixas concentrações de oxigênio e à emissão de gases como metano e gás sulfídrico, devido à decomposição das plantas. Massas dessas plantas flutuantes podem restringir o acesso à pesca ou à recreação e bloquear canais de irrigação e navegação.

Alterações na abundância e significativa redução na diversidade de espécies (biodiversidade) dos organismos aquáticos em um lago ou reservatório poderão ser causadas por eutrofização (Figura 2). Isto é resultado das mudanças na qualidade da água e do alimento, juntamente com o decréscimo da concentração de oxigênio que frequentemente altera a composição da fauna de peixes das espécies mais importantes para menos importantes, tanto em termos alimentar como comercialmente. Apesar disso, a produção de certas espécies de peixes tende a aumentar à medida que a eutrofização se acelera, uma vez que há mais alimento disponível. Entretanto, a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido na água e as altas concentrações de amônia sob condições hipereutróficas podem resultar no decréscimo do estoque de peixes e reduzir consideravelmente o rendimento.

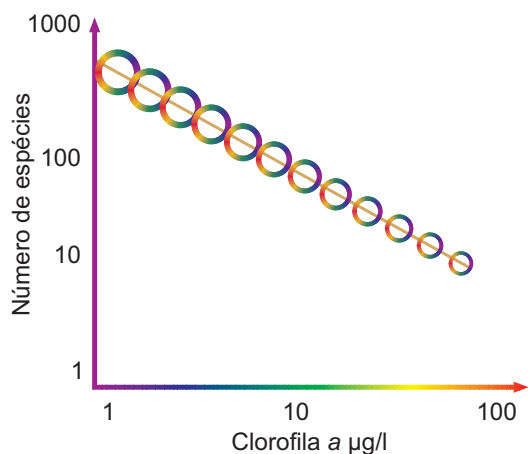


Figura 2 Relação entre número de espécies e volume de clorofila a.



Foto 9 Águas eutrofizadas (à esquerda na figura) do reservatório de Barra Bonita, São Paulo, Brasil.

Na Tabela 1 os efeitos generalizados da eutrofização nos ecossistemas aquáticos são apresentados.

Tabela 1 Efeitos da eutrofização.

- Anoxia (ausência de oxigênio dissolvido), que causa a morte de peixes e de invertebrados e também resulta na liberação de gases tóxicos com odores desagradáveis.
- Florescimento de algas e crescimento incontrolável de outras plantas aquáticas.
- Produção de substâncias tóxicas por algumas espécies de cianofíceas.
- Altas concentrações de matéria orgânica, as quais, se tratadas com cloro, podem criar compostos carcinogênicos.
- Deterioração do valor recreativo de um lago ou de um reservatório devido à diminuição da transparência da água.
- Acesso restrito à pesca e a atividades recreativas devido ao acúmulo de plantas aquáticas.
- Menor número de espécies e diversidade de plantas e animais (biodiversidade).
- Alterações na composição de espécies daquelas mais importantes para as menos importantes (em termos econômicos e valor protéico).
- Depleção de oxigênio, particularmente nas camadas mais profundas, durante o outono em lagos e reservatórios de regiões temperadas.
- Diminuição da produção de peixes causada por depleção significativa de oxigênio na coluna de água e nas camadas mais profundas de lagos e reservatórios.



Qual é o estado atual de eutrofização?

Comentários básicos sobre a poluição do lago

A demanda de água da superfície, para muitos propósitos, está aumentando globalmente, principalmente devido ao crescimento da população e à irrigação, particularmente em regiões áridas e semi-áridas. A eutrofização frequentemente se torna perceptível ao público à medida que as populações aumentam em densidade. O impacto total dos seres humanos sobre a natureza é provavelmente cerca de oito vezes maior atualmente do que há 40-50 anos devido ao crescimento da população, à produção industrial e agrícola e ao desenvolvimento tecnológico (usamos mais produtos químicos, a densidade do tráfego tem aumentado etc.)

O Comitê Internacional de Ambientes Lacustres (International Lake Environment Committee – ILEC), em cooperação com o Programa das Nações Unidas (United Nations Environment Programme – UNEP), desenvolve um projeto denominado “Survey of the State of the World Lakes” (Avaliação do Estado dos Lagos do Mundo). O objetivo foi coletar e compilar dados ambientais de vários lagos importantes do mundo. Bancos de dados detalhados de 217 lagos do mundo inteiro foram agrupados como resultado desse projeto.

Por intermédio do projeto foi possível identificar seis principais problemas ambientais, todos com significativo impacto sobre a qualidade da água, sendo a eutrofização um deles

(Tabela 2). Por outro lado, todos os seis problemas ambientais estão inter-relacionados e de certa forma compõem os problemas. Todos são causados pelos mesmos três fatores básicos (Figura 3).

Tabela 2 Principais problemas ambientais presentes em lagos em todo o mundo.

- Redução do nível da água devido ao uso excessivo da água dos lagos, resultando em pronunciada deterioração da qualidade da água e em mudanças drásticas nos ecossistemas.
- Rápida sedimentação dos lagos e dos reservatórios causada pela acelerada erosão do solo resultante do uso extensivo ou inadequado de terras para agricultura e pastagens e florestas dentro de suas áreas de drenagem.
- Acidificação dos lagos causada por chuvas ácidas, resultando na extinção de peixes e na degradação de ecossistemas.
- Contaminação da água, sedimento e organismos por substâncias químicas tóxicas originadas da agricultura (pesticidas) e dos resíduos industriais.
- Eutrofização pela entrada de compostos de nitrogênio e/ou fósforo das descargas industriais, agrícolas, domésticas, drenagens urbanas e superfícies pavimentadas etc., que resulta em forte florescimento de fitoplâncton, deterioração da qualidade da água e decréscimo da biodiversidade.
- Em casos extremos, há colapso completo dos ecossistemas aquáticos.

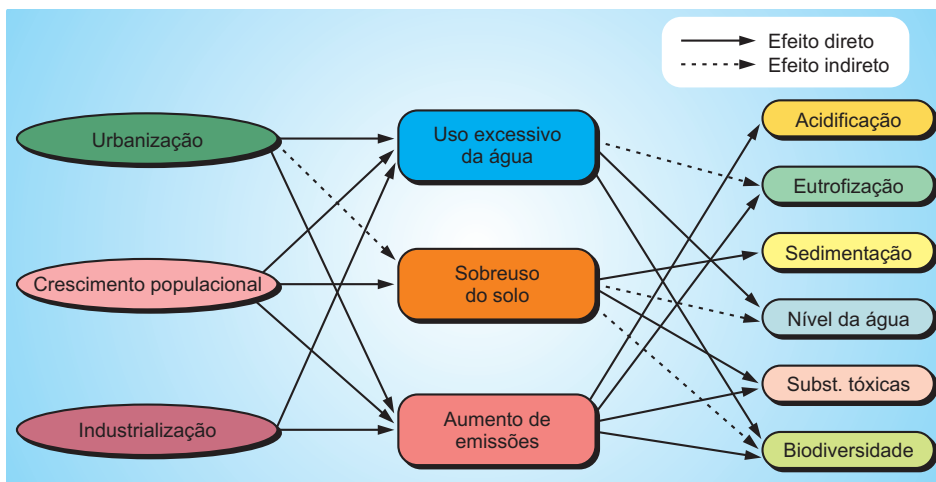


Figura 3 Urbanização, crescimento populacional e industrialização estão entre os fatores básicos que causam problemas ambientais em lagos e reservatórios.

Exemplos

Todos os 217 lagos incluídos na avaliação do ILEC apresentaram aumento no nível de eutrofização nos últimos 50 anos. Em alguns lagos em países industrializados, o tratamento de águas residuárias para remover nitrogênio e/ou fósforo tem evitado a degradação da qualidade da água. Em 2000, as entradas de nutrientes em 66 lagos do mundo foram reduzidas. Mesmo assim, muitos ainda estão mais eutrofizados (a concentração de nutrientes é mais alta) atualmente do que 50-60 anos atrás. Isso é observado no lago Biwa do Japão (Foto 10), lago Constance na fronteira entre Alemanha, Suíça e Áustria (Foto 11), lago Balaton na Hungria (Foto 12), lago Malleran na Suécia (Foto 13), os Grandes



Foto 10 Vista geral do lago Biwa, Japão.

Lagos da América do Norte (Fotos 25 e 26) e em diversos lagos do norte da Europa.



Foto 11 Vista geral do lago Constance, Alemanha, Suíça e Áustria.

Em lagos e reservatórios eutrofizados onde medidas têm sido tomadas para melhorar a qualidade da água por intermédio da redução ou remoção de nitrogênio e/ou fósforo, sem efeito, isto se deve amplamente à grande quantidade de nutrientes armazenados nos sedimentos, sendo constantemente liberados na água. Isto mostra a necessidade de evitar a carga de nutrientes nos corpos de água o mais cedo possível por intermédio de práticas apropriadas de gerenciamento e de planejamento. Ainda, tem sido freqüente a dificuldade de reduzir a entrada de nutrientes de fontes difusas como água de drenagem e erosão de solos utilizados

na agricultura ou de despejo; eles não podem ser coletados para o tratamento, ao contrário das fontes pontuais de poluição de despejos industriais ou municipais. Fontes pontuais de poluição podem ser tratadas por “tecnologia de fim de linha”, isto é, tecnologia ambiental.



Foto 12 Vista geral do lago Balaton, Hungria.



Foto 13 Vista geral do lago Malleran, Suécia.

Os melhores exemplos de sucesso no tratamento da eutrofização são aqueles em que a diversão das águas residuárias foi usada em área com pequena agricultura, desviando-a do lago. O lago Washington é um exemplo (Foto 14). A Figura 4 mostra o declínio das concentrações de fósforo nesse lago após a diversão que foi completada em 1967. É importante compreender que, em alguns casos, a diversão não resolve tão bem o problema quanto sua remoção para juzante.



Foto 14 Vista geral do lago Washington, EUA.

Quase todos os lagos ainda apresentam aumento de eutrofização, incluindo a maioria dos lagos dos países em desenvolvimento, onde inexistente o combate à poluição por não haver condições para isto. O lago Dianchi (Foto 15), próximo a Kunming, na China, e o lago Taihu, próximo a Wuxi, na China, sofreram extrema eutrofização ou são hipereutrofizados. Nesses lagos, vastas áreas são cobertas por densos florescimentos de algas, como pintura verde, e a reprodução de peixes tem sido totalmente impedida por falta de oxigênio para sua respiração, principalmente no outono. Quase todas as plantas aquáticas nativas e muitas espécies de peixes têm sido eliminadas. Moluscos morrem pela falta de oxigênio na água de fundo, além disso, devido à má qualidade da água, é muito difícil o abastecimento de água para uso doméstico que atenda aos padrões legais.

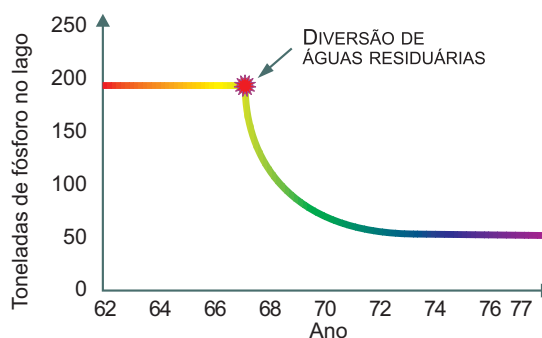


Figura 4 A diversão de esgotos prova ser efetiva na redução do fósforo de corpos de água doce.

Mesmo os maiores lagos sofrem o problema da eutrofização. No lago Victoria, na África, por exemplo, ocorre uma densa cobertura de aguapés em extensa área de superfície. O problema tem sido de alguma forma minimizado por métodos biológicos – um besouro que se alimenta de aguapé foi introduzido (Foto 16, besouro). Regiões do lago próximas a Kisumu, em Kampala, apresentam depleção de oxigênio e reduzida transparência. Peixes como *Haplochromis* (Foto 17), espécie conhecida localmente como “furu”, vêm desaparecendo, e a pesca total tem diminuído, com resultados lamentáveis, uma vez que os peixes constituem a maior fonte de proteína para as populações costeiras do lago (Foto 18).

Mesmo o lago Baikal (Foto 19), o maior corpo de água doce do mundo, com profundidade de 1,7 km, mostra sinais de eutrofização: diminuição da transparência e aumento da concentração de nutrientes e de algas.

A solução para a eutrofização nos países em desenvolvimento é urgente, uma vez que o controle do problema torna-se cada vez mais difícil e custoso a cada ano que passa, devido ao aumento do acúmulo de nutrientes nos sedimentos.



Foto 17 Peixe *Haplochromis*, ou “furu”, do lago Vitória.



Foto 18 Peixe pescado no lago Vitória.



Fotos 15 e 16 Crescimento excessivo de aguapé no lago Dianchi, China, e o besouro *N. eichhorniae* utilizado no lago Vitória para controlar o crescimento da planta.



Foto 19 Vista geral do lago Baikal, Rússia.

De onde vêm os nutrientes e como eles provocam a eutrofização

De onde vêm os nutrientes

Quais são as fontes de nutrientes que causam a eutrofização de lagos, represas e rios? Há muitas fontes. Todas as atividades na bacia hidrográfica de um lago ou represa se refletem direta ou indiretamente na qualidade da água desses ecossistemas. Um lago ou reservatório, entretanto, pode ser naturalmente eutrófico quando situado em área fértil com solos naturalmente enriquecidos de nutrientes. Em muitos lagos, rios e represas, a água de esgoto é a principal fonte, uma vez que esgotos não tratados ou aqueles tratados somente por métodos mecânicos convencionais ainda contêm nitrogênio (25-40 mg/litro) e fósforo (6-10 mg/litro). Nitrogênio e fósforo podem ser removidos por tecnologia bem conhecida – fósforo pela adição de substâncias químicas que precipitam fosfato por intermédio de reações químicas e nitrogênio usualmente por métodos biológicos, por meio da atividade de microorganismos. A remoção de nitrogênio é mais dispendiosa e, também, mais difícil tecnicamente do que a do fósforo.

A água de drenagem de terras cultivadas também contém fósforo e nitrogênio. Usualmente, há muito mais nitrogênio porque o fósforo está imobilizado nos componentes do solo. O uso intensivo de fertilizantes resulta em concentrações significativas de nutrientes, particularmente nitrogênio, em drenagem agrícola. Se os solos erodidos atingirem o lago, tanto o

fósforo como o nitrogênio do solo contribuirão para a eutrofização. A erosão é frequentemente causada por desmatamento, que também resulta de planejamento e gerenciamento não adequados dos recursos naturais.

As áreas alagadas têm sido utilizadas com frequência para resolver o problema da poluição difusa a partir da agricultura, que causa eutrofização (Foto 20). Em áreas alagadas, nitrato é convertido em nitrogênio livre, que é liberado para o ar. Isto não é danoso, uma vez que o nitrogênio ocupa 70% da atmosfera. Fósforo é absorvido pelos solos das áreas alagadas e, como o nitrogênio, é fixado pelas plantas. Tanto o fósforo como o nitrogênio podem ser removidos pelas áreas alagadas. Além disso é necessário controlar o uso de fertilizantes em agricultura, uma vez que a maioria deles pode terminar na área de drenagem, se a poluição difusa dos



Foto 20 Vista geral de área alagada.

nutrientes não for suficientemente reduzida para melhorar a qualidade da água.

A água da chuva contém fósforo e nitrogênio provenientes da poluição atmosférica. Como o nitrogênio move-se mais na atmosfera do que o fósforo, esse elemento está aproximadamente 20 vezes mais concentrado que o fósforo. O nitrogênio pode ser reduzido na água da chuva por controles muito intensivos da poluição do ar em toda uma região. Pode-se afirmar com segurança que as principais fontes de poluição da atmosfera são as indústrias e os escapamentos de automóveis sem os filtros apropriados.

Quando os lagos são utilizados para aqüicultura, o excesso de alimento para os peixes polui a água, uma vez que nem todo o alimento é consumido (Foto 21). O nitrogênio e o fósforo em excesso presentes no alimento são dissolvidos na água ou permanecem em suspensão. O uso de lagos para aqüicultura, portanto, necessita de cuidadoso planejamento ambiental e práticas de gerenciamento adequadas com treinamento de gerentes e proprietários.

O sedimento de um lago – sua camada lodosa no fundo – contém concentrações relativamente altas de fósforo e nitrogênio. Estes elementos podem ser liberados para a água,



Foto 21 Vista aérea de tanques de cultivo de peixes na laguna de Bay, Filipinas.

particularmente em baixas concentrações de oxigênio. Os nutrientes dos sedimentos provêm da decomposição de algas e de matéria orgânica morta. Os nutrientes liberados a partir dos sedimentos são referidos como a carga interna dos lagos.

A Figura 5 mostra esquematicamente as fontes de nutrientes: externas à carga de esgotos não tratados, águas de drenagem agrícola,

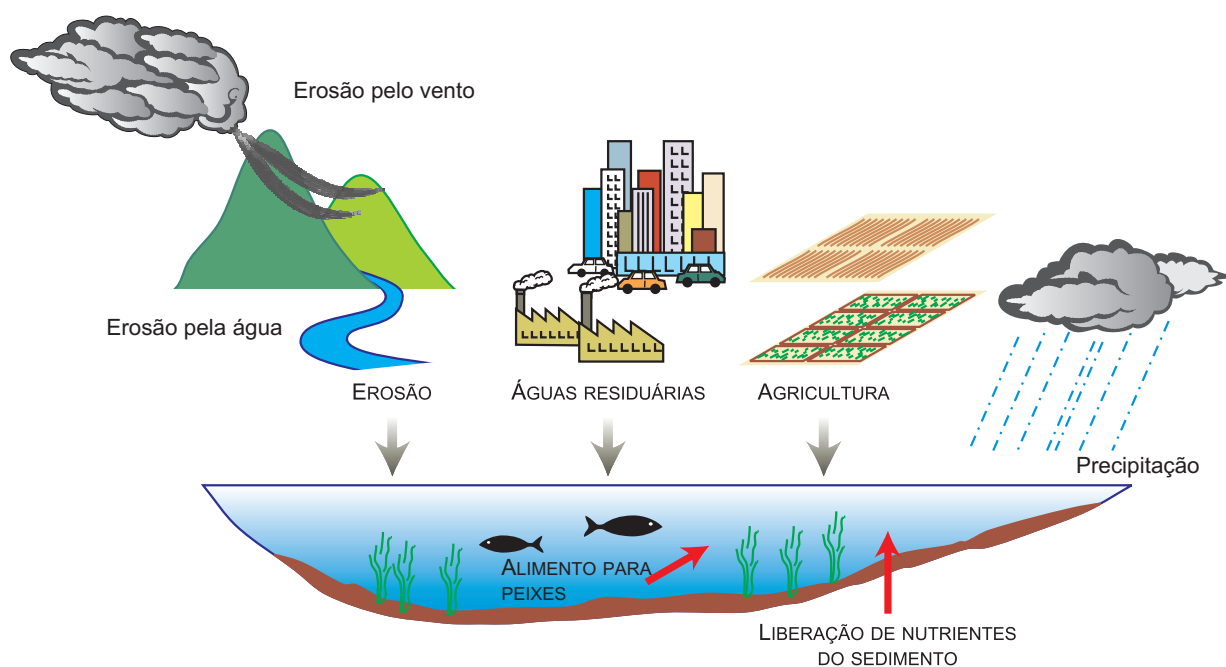


Figura 5 Principais fontes de nutrientes nos lagos.

Tabela 3 Classificação dos lagos de acordo com a intensidade do processo de eutrofização (valores médios expressos em µg/L).

Parâmetro	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Fósforo total	8,0	26,7	84,4	>200
Nitrogênio total	661	753	1.875	alto
Clorofila a	1,7	4,7	14,3	>100, faixa 100-200>
Clorof. a, conc. max.	4,2	16,1	42,6	> 500

Nota dos tradutores: Estes dados foram obtidos em lagos temperados, onde o processo de eutrofização foi intensamente estudado. Para lagos tropicais há valores preparados por Salas & Martino (1991).

erosão e chuvas e também internas às atividades do lago, como, por exemplo, aquicultura e liberação de sedimentos.

É possível, mas muito dispendioso, remover a camada superior de sedimento rica em nutrientes dos lagos. A cobertura dos sedimentos com argila para isolá-los e, portanto, reduzir a carga interna foi tentada. Mesmo quando os nutrientes são removidos em larga escala dos esgotos domésticos, da drenagem agrícola e urbana e da água da chuva, ainda assim leva muito tempo até ocorrer queda na concentração de nutrientes da porção superior do sedimento, pelo fato de eles ainda estarem presentes na água. A redução inicial ou a eliminação das fontes de nutrientes é, portanto, crucial.

Lagos, represas e rios podem ser classificados, de acordo com a extensão de sua eutrofização (ou enriquecimento de nutrientes), em quatro classes principais: oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos (Tabela 3). Esta classificação resulta de uma análise extensa da eutrofização em países da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OECD) na década de 1970 e início da década de 1980. Baseia-se nas concentrações de fósforo, nitrogênio e clorofila *a* (o pigmento responsável pela fotossíntese das algas). A clorofila *a* indica grosseiramente a concentração de biomassa de plantas aquáticas (em média 1% da biomassa de algas é clorofila *a*).

Fatores que limitam a eutrofização

A Tabela 4 mostra a composição média das plantas de água doce (peso úmido e não peso seco): as plantas requerem todos esses elementos nas porcentagens indicadas. Em geral, nitrogênio e fósforo (respectivamente, 0,7% e 0,9%) são freqüentemente os dois elementos inicialmente utilizados quando a planta realiza a fotossíntese. Esses dois nutrientes são menos abundantes na água que os outros elementos, concernente à composição das plantas. É necessário cerca de oito vezes mais nitrogênio do que fósforo. Portanto, o fósforo limita a eutrofização se o nitrogênio é oito vezes mais abundante que ele, enquanto o nitrogênio limita a eutrofização se sua concentração for oito vezes menor que a do fósforo na água.

Esgotos não tratados e esgotos tratados por métodos biológicos contêm, em média, cerca de 32 mg/L de nitrogênio e 8 mg/L de fósforo. Em um lago com forte carga de esgotos não tratados, a eutrofização é limitada por nitrogênio, uma vez que a concentração de nitrogênio no esgoto é somente quatro vezes maior do que a de fósforo. Esses lagos e represas freqüentemente apresentam florescimentos extensos de cianobactérias, que são visualizadas como uma espuma esverdeada na superfície (Foto 22). Algumas espécies de cianobactérias usam o nitrogênio diretamente do ar e conseguem crescer, apesar da limitação de nitrogênio dissolvido na água. Lagos e represas que

recebem tributários naturais e águas de drenagem de agricultura têm entretanto, altas concentrações de nitrogênio e são limitados em fósforo.

A questão central na eutrofização é determinar qual nutriente pode ser reduzido para se tornar limitante e não qual nutriente é o limitante. Como o fósforo é removido mais facilmente de esgoto doméstico do que o nitrogênio, em muitos casos (mas não em todos – há exceções), a melhor estratégia ambiental para o gerenciamento de lagos e represas é remover tanto quanto possível o fósforo do esgoto e das águas residuárias.

Tabela 4 Composição média das plantas aquáticas (em relação ao peso úmido).

Elemento	Conteúdo na planta
Oxigênio	80,5
Hidrogênio	9,7
Carbono	6,5
Silica	1,3
Nitrogênio	0,7
Cálcio	0,4
Potássio	0,3
Fósforo	0,09
Magnésio	0,07
Enxofre	0,06
Cloro	0,06
Sódio	0,04
Ferro	0,02
Boro	0,001
Manganês	0,0007
Zinco	0,0003
Cobre	0,0001
Molibdênio	0,00005
Cobalto	0,000002

Valores expressos em porcentagens



Foto 22 Crescimento de cianobactérias na margem de um lago.

Gerenciamento da qualidade da água e eutrofização em alguns lagos do mundo

Lago Biwa

A eutrofização do lago Biwa (Foto 23) começou em 1960, ao lado do crescimento econômico do Japão pós-guerra. A concentração de biomassa de plantas nos anos 1980 foi cerca de dez vezes maior do que nos anos 1950. Treze milhões de pessoas dependem do suprimento de água do lago Biwa e dos sistemas do rio Yodo. Desde 1969, odores desagradáveis em águas de torneira do lago Biwa têm aborrecido os usuários durante o verão.

A biomassa de plâncton registrou picos no final da década de 1970, quando florescimentos de algas vermelhas também apareceram como “maré vermelha de água doce”. Isso tem ocorrido quase anualmente desde então. Florescimentos de algas azuis têm aparecido desde 1983, um sinal de eutrofização mais avançada.

Tendências na degradação da qualidade da água do lago Biwa têm mais ou menos se estabilizado, devido ao esforço cooperativo dos moradores e da administração local de Shiga. Tratamento avançado de esgotos domésticos foi introduzido. O uso de detergentes à base de poli-

fosfatos foi banido. E áreas alagadas foram construídas a fim de fazer frente à água de drenagem da agricultura. Como resultado dessas medidas, a degradação da qualidade da água foi interrompida, porém nenhum sinal de posterior melhora tem aparecido. Um combate mais extensivo da poluição difusa provavelmente é necessário antes que a qualidade da água apresente melhora significativa.



Foto 23 Lago Biwa, o maior lago do Japão no período de verão, mostrando o supercrescimento de plantas aquáticas.

Lago Fure, Dinamarca, exemplo típico de gerenciamento da água na Europa Setentrional

Como em muitos outros lagos europeus, a eutrofização do lago Fure começou nos anos 1960. O lago Fure (Foto 24) está localizado somente 15-20 km de Copenhague, em área atrativa com diversos lagos e florestas. A população perto do lago Fure cresceu nas décadas após a Segunda Guerra Mundial, com aumento do impacto sobre a área natural, incluindo os lagos. No começo do século XX, a transparência da água do lago atingia vários metros, enquanto nos últimos anos da década de 1960 era de 1,2 m, durante a primavera e os florescimentos de verão.

No começo da década de 1970 optou-se por expandir o tratamento dos esgotos domésticos de cerca de 30.000 habitantes incluindo a remoção de nutriente (98% de remoção do fósforo). Os esgotos de outros 100.000 habitantes foram desviados para o mar. Com essas medidas, a carga de fósforo foi reduzida de 33 para 2,5 toneladas por ano. A carga de fósforo remanescente vem das águas de precipitação, do esgoto tratado e da fonte difusa.

Como resultado desses esforços, a transparência quase dobrou a partir dos últimos anos da década de 1960. Entretanto, o tempo de residência da água do lago é de 20 anos, o que explica por que melhoras mais expressivas não têm sido observadas. Passou um pouco mais de 20 anos desde que as medidas foram iniciadas, e de dois a quatro tempos de residência são geralmente necessários para observar efeito completo das ações tomadas. Enquanto a carga externa de

fósforo (principalmente esgoto doméstico) foi reduzida a 2,5 ton./ano, a carga interna, isto é, a carga do sedimento, é ainda de cerca de 12 ton./ano. Conseqüentemente, outros métodos têm sido considerados para restaurar o lago (ver a lista de métodos na Tabela 5). Entretanto, a longo prazo, é ainda benéfico reduzir a carga externa de fósforo para menos de 1 ton./ano. Isso pode ser feito pelo tratamento das enchentes causadas pelas chuvas e pelo aumento da eficiência da remoção de fósforo no tratamento de esgotos domésticos a 99% ou mais. No lago Fure, a poluição difusa não é tão importante, pois o lago é mais ou menos circundado por áreas alagadas e pelas florestas.

O tratamento extensivo de esgotos domésticos envolvendo a remoção de nutrientes tem sido introduzido em muitos lagos da Europa Setentrional, porém, como o lago Fure mostra, um longo período será necessário antes que o efeito completo desse tratamento possa ser observado. Em adição, posterior redução de nutrientes é necessária para que adequada redução na eutrofização possa ser esperada. Na maioria dos casos, a poluição não pontual, difusa, terá de ser reduzida consideravelmente – claramente um objetivo muito mais difícil do que diminuir a fonte de poluição pontual.



Foto 24 Vista geral do lago Fure, Dinamarca.

Os Grandes Lagos da América do Norte

Aproximadamente 30% da população do Canadá e 20% da população dos Estados Unidos vivem na bacia de drenagem dos Grandes Lagos, que ocupa uma área de 520.000 km². Os Grandes Lagos compreendem: lago Superior, lago Michigan, lago Ontário, lago Erie e lago Huron. Vinte e quatro milhões de pessoas dependem desses lagos para água de consumo. O crescimento industrial nas décadas de 1940 e 1950 resultou em poluição por óleo e acelerada eutrofização na década de 1960. Nos últimos anos da década de 1960, a qualidade da água deteriorou-se em níveis críticos. Massas de florescimento de algas foram freqüentes e severa depleção de oxigênio ocorreu mesmo na parte central da água de fundo do lago Erie (Foto 25). Mortalidade massiva de peixes ocorreu no lago Michigan e no lago Ontário.

Em resposta a essa situação, padrões específicos de efluentes foram estabelecidos no começo dos anos 1970. A remoção de fósforo foi introduzida no tratamento das estações de esgoto e o conteúdo de fósforo nos detergentes foi reduzido de 30-40% para 5%. No começo

dos anos 1980, a carga de fósforo aproximou-se dos níveis estabelecidos há 10 anos. No lago Erie e no lago Ontário (Foto 26), o fósforo foi reduzido para um quinto, mas as reduções totais na parte superior dos Grandes Lagos foram de cerca de 50%. Essas reduções tiveram também reflexo nas concentrações de fósforo e de fitoplâncton na região aberta dos lagos Erie e Ontário. Essas reduções foram apenas de cerca de um terço dos valores de pico de 1970. Novamente, reduções de fontes não pontuais de fósforo e de nitrogênio, de mesma extensão, para os esgotos municipais não foram possíveis. Entretanto, medidas de combate à eutrofização dos Grandes Lagos estão entre os mais bem-sucedidos estudos de caso de gerenciamento de lagos, porque a poluição de fonte pontual foi a principal fonte de descarga de nutrientes nos lagos.



Fotos 25 e 26 Vista geral do lago Erie e do lago Ontário, Canadá e EUA.

Educação ambiental e percepção política

Lição aprendida

As histórias de pouco ou parcial sucesso no combate à eutrofização têm o forte suporte de cidadãos e usuários combinado com medidas legislativas efetivas e programas de gerenciamento. Os melhores resultados foram obtidos quando medidas de controle começaram cedo e por longo tempo antes que uma hipereutrofização ocorresse. Geralmente, problemas que envolvem fontes pontuais foram resolvidos com relativa facilidade, enquanto aqueles que envolvem fontes difusas não pontuais foram mais difíceis de ser solucionados.

Embora as autoridades de recursos hídricos possam construir estações de tratamento de esgotos com adequada remoção de nutrientes, uma constante percepção acerca da qualidade da água pode ser mantida pelo engajamento público. É preciso lembrar também que a redução final de nutrientes de um lago requer redução efetiva de fontes difusas, e esta deve envolver toda a comunidade. Para o sucesso pleno, os cidadãos devem ser parceiros na estratégia de gerenciamento ambiental.

O uso de menos detergentes e de detergentes sem ou com pouco polifosfatos (Foto 27) pode reduzir consideravelmente a carga de fósforo. Uma campanha “Lavanderia pode ficar barata” realizada na Polônia visou a toda a população polonesa e foi muito bem-sucedida.

A carga de fósforo em muitas cidades e vilas caiu mais de 20%. Os resultados da campanha foram gerenciados para encorajar os usuários a continuarem os esforços. A campanha também aumentou a percepção ambiental geral do público, em particular no que se refere aos efeitos diretos de detergentes de lavanderias sobre a eutrofização.

A redução de poluição não pontual em áreas com agricultura extensiva requer a construção de áreas alagadas, como um sistema tampão entre os campos e os rios e lagos. Isto, entretanto, não é suficiente, mas pode ser apoiado por uma campanha maciça incentivando os fazendeiros a usarem menos fertilizantes (*nota*: os últimos 10-20% de fertilizantes aplicados quase não têm efeito na colheita agrícola, mas podem contribuir significativamente para as concentrações de nutrientes de águas de drenagem). Uma campanha na Dinamarca no começo dos anos 1990 resultou em alguma redução de poluição difusa, provavelmente porque os fazendeiros calcularam que eles poupariam dinheiro se reduzissem os fertilizantes. A redução, entretanto, não foi suficiente e um imposto verde sobre fertilizantes tem sido considerado. Este ainda não foi implantado.

Foto 27
Fósforo e sabão em pó livre de fósforo no Japão.



Percepção pública

A participação ativa dos cidadãos no combate à eutrofização é impossível sem sua compreensão do problema. Isso requer a educação ambiental dos cidadãos.

A Tabela 5 apresenta diversas maneiras de introduzir educação ambiental e aumentar a percepção pública. Em muitos países industrializados, alguns panfletos e livretos com informação ambiental são distribuídos gratuitamente ao público. Eles dão as informações

necessárias para os cidadãos darem valor a seu ambiente e participarem ativamente do debate (Foto 28).

Em 1987, a UNESCO definiu a educação ambiental como um processo permanente em que indivíduos adquirem percepção de seu ambiente e adquirem conhecimento, valores, habilidades, experiências e também determinação do que podem fazer – individual e coletivamente – para resolver problemas ambientais presentes e futuros. Trata-se, portanto, de um processo contínuo e de longa duração.

Tabela 5 Vários níveis de educação ambiental que podem ser usados para aumentar a percepção pública

- "Ombudsman" para o ambiente (apoiado por universidades locais e por institutos de pesquisa para fornecer bases científicas e técnicas a fim de reforçar a legislação. O sistema tem sido usado com sucesso no Estado de São Paulo, Brasil).
- A população inteira (campanhas, distribuição de panfletos, livretos e conjunto de informações acerca de problemas ambientais específicos, informação ao público por intermédio de ONGs).
- Educação fundamental e média (introduzida em vários países, freqüentemente na forma de projetos locais ou regionais).
- Outros estabelecimentos educacionais (integrados em biologia e química).
- Universidades (parte compulsória em ciência e em economia em muitas universidades).
- Associações de escoteiros (o uso de Jogos Verdes e Eco-Camping).
- Tomadores de decisão (uso de campanhas informativas em base regional).

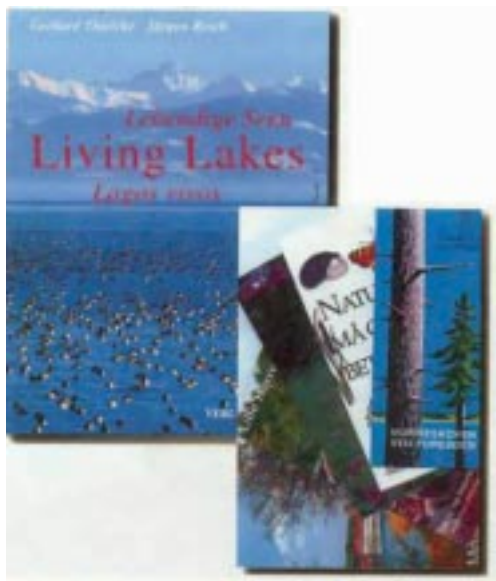


Foto 28 Publicações sobre educação ambiental e percepção pública e cartazes em diferentes países.

Aspectos sociais, culturais e econômicos da eutrofização

O valor econômico dos recursos hídricos

Os recursos hídricos são valores ambientais e, portanto, têm um preço. Há métodos baseados no mercado que permitem a estimativa de custos e benefícios, e estes possibilitam análises de custo-benefício como uma ferramenta importante para avaliar os efeitos econômicos da redução da eutrofização e outros problemas de poluição. Os benefícios vão desde águas com alta qualidade de potabilidade e reduzida capacidade de afetar a saúde humana (Foto 29) até seus usos recreacionais (Foto 30). Os efeitos para a saúde humana da ausência de saneamento e os efeitos crônicos de florescimentos de algas tóxicas são apenas duas das muitas consequências indiretas da eutrofização. Numerosas análises de custo-benefício que

enfocam os resultados da redução de poluição foram realizadas e demonstram claramente que os custos totais à sociedade são muito mais elevados do que uma “redução moderada da poluição”.



Foto 30 Uso recreativo dos lagos.



Foto 29
Água limpa
fluindo
de uma
fonte de
água
potável em
Veneza,
Itália.

Portanto, é necessário examinar a prevenção da poluição e a restauração da qualidade da água de lagos e reservatórios sob o ponto de vista econômico. O resultado dessas avaliações deveria ser aplicado para calcular cargas de efluentes e impostos verdes. A experiência internacional mostra que os instrumentos econômicos são razoavelmente efetivos no controle da poluição e na resolução dos problemas relacionados com a qualidade das águas. Portanto, o gerenciamento efetivo de lagos e represas depende não apenas de uma base sólida de entendimento científico e de como funcionam esses sistemas aquáticos, mas também do valor para as pessoas como áreas de recreação e suprimento de água.

No passado, muitas estratégias de gerenciamento foram desenvolvidas e aplicadas a fim de resolver problemas de redução da qualidade de águas superficiais e subterrâneas. Essas estratégias foram freqüentemente uma resposta à série de situações críticas resultantes dos custos crescentes da água. As demandas por águas doces de boa qualidade foram resolvidas apenas parcial e localmente; isto ocorreu pelo fato de que poucos recursos tardios foram alocados para resolver os problemas. Métodos preventivos são portanto, os mais eficientes e baratos para evitar a poluição futura e a eutrofização.

A necessidade de integrar aspectos sociais e culturais em novas estratégias de gerenciamento

Uma nova abordagem de gerenciamento é requerida para integrar conhecimento científico e tecnológico com problemas sociais, culturais e políticos para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos necessários ao homem. A implementação do conceito de bacia hidrográfica pelo estabelecimento de comitês nacionais e internacionais das bacias é fundamental para o desenvolvimento de estratégias efetivas de gerenciamento de lagos e represas. Com base em conceitos de ecossistema e em um planejamento integrado, o treinamento de gerentes e administradores é componente indispensável dessas estratégias.

Freqüentemente, não é muito seguro consumir água da torneira em países em desenvolvimento. Mudanças na percepção do valor da água, a fim de que o gerenciamento de recursos hídricos atenda às necessidades dos ecossistemas aquáticos e das bacias hidrográficas, são necessárias nesses

países. Não é fácil realizar tais mudanças, considerando-se o valor econômico da água e a pouca importância que se dá a ela em muitos países, mas a educação do público e a percepção ambiental da população são iniciativas na direção certa.

Muitos fatores afetam a qualidade da água em países em desenvolvimento, particularmente o aumento da eutrofização: a industrialização, o desenvolvimento urbano, novas práticas agrícolas e as mudanças no uso da água. Uma vez que essas mudanças estão ocorrendo, é importante integrar aspectos sociais, econômicos, hidrológicos e culturais com o conhecimento científico de lagos e represas. Os aspectos sociais da eutrofização são muitas vezes predominantes em países em desenvolvimento. A redução de postos de trabalho e renda pela mortalidade em massa de peixes, devido à anoxia, são um dos exemplos de impactos sociais em massa resultantes da eutrofização.

Uma nova estratégia de gerenciamento deveria recomendar muitas alternativas às práticas atuais. Por exemplo, deveria ser mostrado que a erosão do solo pode ser reduzida parando-se com o desmatamento e técnicas de corte e queima de floresta nativa (Foto 3). Implementação da prevenção, controle e gerenciamento da eutrofização, em uma estratégia integrada, pode proporcionar novas oportunidades e mecanismos para o desenvolvimento econômico com os correspondentes benefícios sociais.



Foto 31 Desmatamento, erosão e atividades de mineração a céu aberto causam degradação da qualidade da água.



O Futuro

Como é possível proteger os lagos e represas da eutrofização mesmo com o crescimento populacional, o crescimento urbano e o crescimento da produção industrial? É um enorme desafio. Fica muito claro pelos exemplos dados neste livro que essa não é uma tarefa fácil e que a tecnologia no final do processo não é suficiente. Essas tecnologias podem resolver problemas associados a esgotos municipais e industriais, mas não conseguem resolver todos os problemas, isto é, eliminar todas as fontes de poluentes. Isso exigirá soluções específicas baseadas em “tecnologias leves” (por exemplo, construção de áreas alagadas e áreas-tampão, as ecotecnologias) e envolverá a percepção e a cooperação do público. Cooperação mais estreita entre agricultura e indústria também é importante, uma vez que a poluição pode ser reduzida com a aplicação de tecnologias mais limpas. “Taxas verdes” precisam dar incentivos econômicos atraentes. Finalmente, é essencial para o sucesso dessas operações que as ações de prevenção sejam iniciadas o mais cedo possível, assim que os sinais de mudanças e de degradação ocorrerem; é evidente que a prevenção é muito mais barata que a restauração. Em outras palavras, uma vasta gama de métodos necessita ser utilizada na solução dos problemas de poluição de lagos e represas.

A restauração de lagos poluídos é outra atividade que está sendo intensivamente aplicada em países industrializados. Uma visão geral dos métodos mais comuns é apresentada

na Tabela 6. Alguns métodos são dispendiosos, como a remoção de sedimentos com grande carga de nutrientes, já outros, como a biomanipulação, são pouco úteis se o lago é muito eutrófico.

Para o gerenciamento efetivo do lago, sua restauração deve prever oportunidade para a remoção de todas as fontes de nutrientes a fim de tratar causas e sintomas.

Tabela 6 Avaliação dos métodos mais utilizados na restauração do lago.

- Cobertura de sedimento. Previne a liberação de nutrientes a partir dos sedimentos.
- Remoção do sedimento rico em nutrientes. Este método é caro e é útil somente em lagos pequenos.
- Aeração no hipolimnion. Reduz a liberação de nutrientes dos sedimentos.
- Biomanipulação: por exemplo, peixes pequenos que se alimentam do zooplâncton são removidos e grandes peixes que se alimentam de pequenos peixes são estocados. O resultado é que o zooplâncton que se alimenta de fitoplâncton, torna-se mais abundante e, portanto, o fitoplâncton fica menos abundante.
- Uso de substâncias químicas, por exemplo, sulfato de cobre, para matar as algas. Este método não é recomendado, pois o lago fica contaminado por substâncias químicas tóxicas: soluciona um problema, porém cria outros.

A redução da eutrofização é dispendiosa, particularmente quando envolve tecnologias ambientais avançadas para reduzir significativamente as cargas de nutriente. Este é o custo do aumento da população, da urbanização e da produção. Será que os países em desenvolvimento podem arcar com esse custo?

Felizmente, os países em desenvolvimento podem aprender com os erros dos países industrializados: começar o mais cedo possível e utilizar todos os métodos disponíveis. Métodos baseados em tecnologias leves normalmente não são dispendiosos, mas para que sejam bem-sucedidas o público deve entender o problema e como as medidas de proteção, contenção e restauração funcionam. Portanto, todos os países em desenvolvimento deveriam ser estimulados a iniciar programas de educação ambiental o mais cedo possível para aplicar de forma integrada os métodos baseados em tecnologias leves.

Todos os países em desenvolvimento estão localizados em regiões tropicais e subtropicais. Nessas regiões, as lagoas de estabilização (tanques de 1 a 3 metros de profundidade onde o esgoto é mantido por 2 a 3 semanas) e áreas alagadas naturais e artificiais são efetivas para o tratamento.



Foto 32 Lago Tanganyika, um dos poucos lagos do mundo cujo impacto é relativamente pequeno.

Podemos resolver o problema da poluição em lagos e represas (ver Figura 3) dos países em desenvolvimento, mas uma aplicação mais ampla de tecnologias limpas e tecnologias leves (ecotecnologias) é mais necessária do que a aplicação de uma tecnologia ambiental pesada.

Aplicações de métodos baratos de restauração devem ser consideradas, contanto que sejam utilizadas em conjunto com métodos que eliminem as causas.

As estratégias ambientais indicadas não podem se concretizar somente com a aplicação de grandes recursos financeiros, mas também com educação ambiental e sanitária adequada e apoio de todos os níveis: cidadãos, políticos, administradores, escolas de primeiro e segundo grau, universidades e tomadores de decisão. O conhecimento ambiental e o *know how* (como conhecer, além do *know why*, por que conhecer) devem ser transferidos para os países em desenvolvimento, certificando-se de que os erros cometido por países industrializados não se repitam, para que o planejamento ambiental possa ser iniciado o mais cedo possível. A urbanização maciça sempre dificulta resolver problemas de qualidade da água, depois de consolidadas a eutrofização e a contaminação, já a alocação de atividades na bacia hidrográfica facilita soluções com custos baixos. Há ainda no planeta alguns poucos lagos que não foram afetados pelo homem de forma significativa (Foto 32). Práticas bem embasadas científica e tecnologicamente podem evitar a eutrofização e outros problemas decorrentes de poluição, mas isso requer ação urgente agora, não mais tarde.

Eutrofização em reservatório do Brasil: o estudo de caso da represa Carlos Botelho (Lobo/Broa)

Nos últimos 20 anos, o processo de eutrofização tem se acelerado em represas brasileiras devido aos seguintes fatores: aumento do uso de fertilizantes nas bacias hidrográficas, aumento da população, elevado grau de urbanização sem tratamento de esgotos domésticos e intensificação de algumas atividades industriais que levam excessiva carga de nitrogênio e fósforo para essas represas. Ao mesmo tempo, o uso múltiplo tem se intensificado, tornando muito complexo o gerenciamento de represas e de bacias hidrográficas. As fontes de eutrofização podem ser pontuais e não pontuais, dependendo da localização dos reservatórios, do nível de atividade nas bacias hidrográficas e da concentração da população em grandes áreas urbanas.

O caso da represa Carlos Botelho (Lobo/Broa) é típico. Durante os últimos 30 anos, a qualidade da água foi mantida em boas condições e o nível de eutrofização foi baixo, graças à sinergia de vários fatores: baixa concentração de nitrogênio e fósforo nos tributários, cargas não pontuais de pequeno porte e baixo tempo de retenção no reservatório (fator importante no controle da eutrofização).

Pelo aumento da população que procura a represa para recreação, pela descarga de esgotos da cidade de Itirapina por descontrole no tratamento e, também, pelo aumento de fontes não pontuais, a eutrofização tem se acelerado, principalmente nos últimos cinco anos, provocando alterações substanciais na biota

aquática, nos ciclos biogeoquímicos da represa e na qualidade da água.

Outra fonte não pontual expressiva é resultado do uso indiscriminado de rações para atrair peixes na pesca esportiva e/ou comercial.

Todos esses fatores foram considerados ao elaborar os gráficos das Figuras 6 e 7, que mostram a progressão da entrada de fósforo no

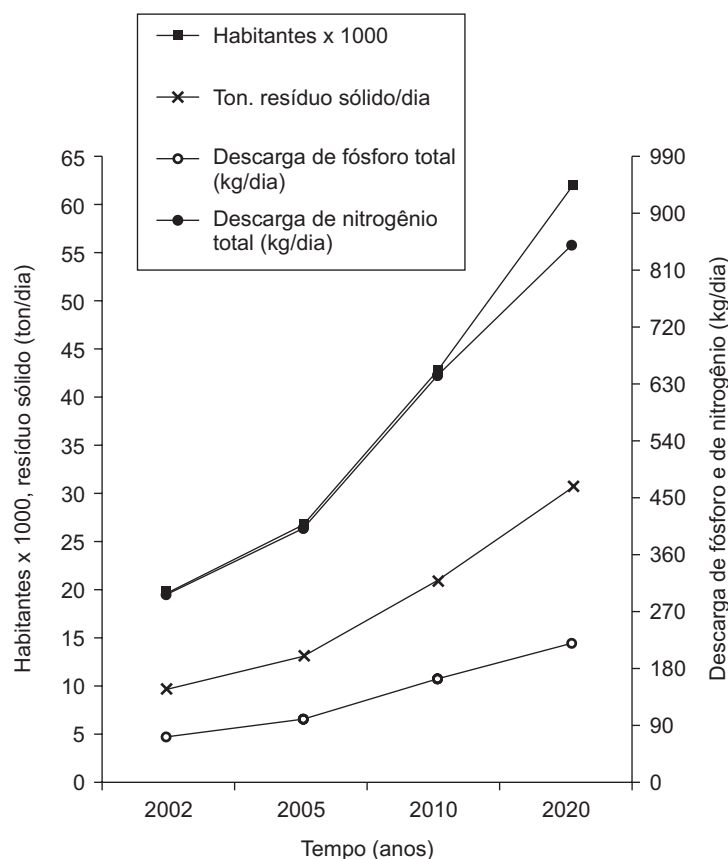


Figura 6 Predição da geração de esgotos e resíduos sólidos que possivelmente entrarão na represa Carlos Botelho (Lobo-Broa) até 2020, com o aumento populacional.

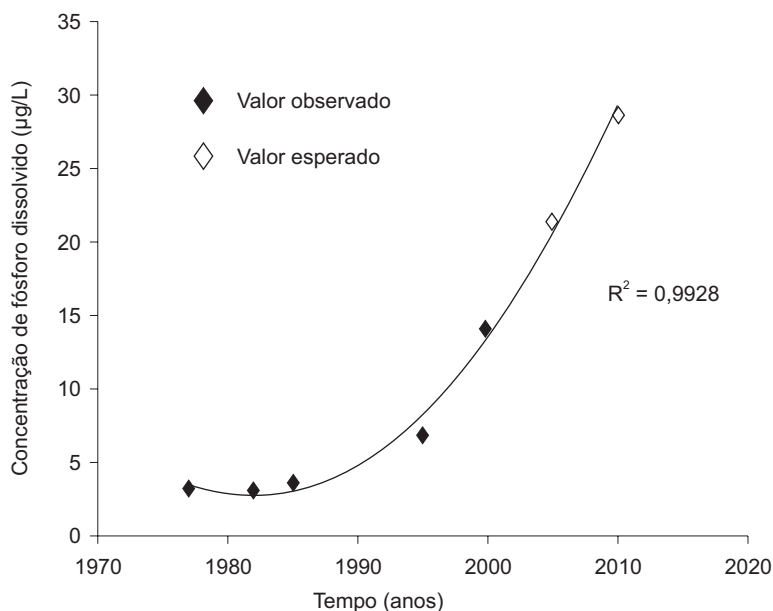


Figura 7 Evolução da concentração de fósforo dissolvido desde a década de 1970 até 2020, caracterizando o processo acelerado de eutrofização na represa Carlos Botelho (Lobo/Broa), mantidas as tendências atuais sem tratamento de esgoto. Fonte: Abe, et al. (2000).

sistema e sua projeção para os próximos 20 anos, se não houver iniciativas para a solução dos problemas de eutrofização e para a recuperação da represa.

Para reverter o processo e organizar um sistema sustentável para a qualidade da água e para o controle da eutrofização, as seguintes medidas são recomendadas:

- Tratamento de esgotos domésticos.
- Identificação e tratamento de fontes não pontuais.
- Reflorestamento da vegetação ripária nos tributários.
- Abertura periódica das comportas de fundo da represa.

- Controle das atividades na interface sistema aquático/sistema terrestre (praias e áreas alagadas).
- Manutenção das áreas alagadas na entrada dos tributários para possibilitar absorção de P e N pelas plantas aquáticas nessas regiões.
- Controle e fiscalização da pesca amadora ou esportiva.
- Controle das atividades de embarcações e de recreação.
- Educação sanitária da população.

Este plano poderá minimizar os impactos das fontes pontuais e não pontuais de nutrientes.

Glossário

Anoxia, condições anóxicas: ausência de oxigênio.

Biomanipulação: mudanças na estrutura biológica pela remoção ou introdução de organismos vivos estocados em lagos e represas.

Carga externa: carga de nutrientes que atinge o lago a partir da bacia hidrográfica, ou seja, a partir de esgotos ou de água de drenagem agrícola.

Carga interna: nutrientes que são liberados a partir do lago ou represa, por exemplo, liberação de nutrientes a partir da água intersticial e também de substância tóxicas.

Clorofila a: pigmento das plantas verdes que promove a fotossíntese.

Eutrofização: rico em nutrientes.

Fitoplâncton: conjunto de organismos vegetais do plâncton que compreende alguns diferentes grupos, gêneros e espécies de algas.

Fotossíntese: formação de biomassa de plantas a partir de nutrientes usando a energia solar como fonte.

Poluição não pontual (fontes difusas): poluição difusa da agricultura ou de áreas de despejo de resíduos. É difícil coletá-la para tratamento.

Poluição pontual: água poluída descarregada a partir de um ponto definido. Pode ser coletada, como o esgoto municipal ou industrial, e tratada com tecnologia de final do processo (tecnologia ambiental).

Sedimento: fundo de lodo de um lago ou represa. Em muitos lagos eutróficos pode ser uma fonte importante do ponto de vista quantitativo, de carga interna.

Termoclina: camada de descontinuidade térmica que separa os lagos em epilimnio (camada superior mais quente) e hipolimnio (camada mais profunda e fria). A temperatura cai alguns graus neste nível de descontinuidade, que pode também ser químico e/ou biológico.

Tratamento mecânico-biológico: tratamento de águas residuárias pela sedimentação de material em suspensão, juntamente com o uso de microorganismos com a finalidade de decompor matéria orgânica. Somente uma quantidade pequena de nutrientes (fósforo e nitrogênio) são removidos por este tratamento.

Zooplâncton: animais microscópicos planctônicos.

Bibliografia

- ABE, D.S. et al. (2000). O processo de eutrofização artificial na Represa do Lobo (Itirapina-SP): condições atuais e perspectivas futuras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL REPRESA DO LOBO-BROA – 30 ANOS, São Carlos, 2000. *Resumos...* São Carlos, IIE/CRHEA-USP/PPG-ERN-DEBE-UFSCar/IEA-USP, 26p.
- INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE-IETC (2001). *Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização*, 385p. Trad. por Dino Vanucci (Technical publication series, v.11.)
- SALAS, H.; MARTINO, P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warm water tropical lakes. *Wat. Res.*, v.25, n.3, p.341-350.

Créditos para as figuras e tabelas

S. Jørgensen

Créditos para as fotos:

D. Anseeuw: 17

J. Barica: 21

S. Jørgensen: 1, 2, 18, 20, 22, 24, 28 (direita), 30 (esquerda)

V. Santiago: 4, 23, 29, 30 (direita), 31, 32

T. Sekino: 19

M. Tanigawa: 10

M. Tarczyska: 3, 5, 6

J. Tundisi: 9, 15

USDA-ARS: 16

Global Nature Fund (Fundo Global da Natureza): 28 (esquerda)

Lake Biwa Research Institute (Instituto de Pesquisa do Lago Biwa): 7, 8

Shiga Prefectural Science Museum of Water-Environment (Museu de Ciência de Ambiente Aquático da Prefeitura de Shiga): 27

Survey of the State of World Lakes, Interim Report, ILEC/UNEP (1988-1993): 11, 12, 13, 14, 25, 26