

VULNERABILIDADES DOS SISTEMAS NATURAIS

BIODIVERSIDADE E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO: APRECIÇÃO GERAL DAS VULNERABILIDADES FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

VULNERABILIDADE DOS MANGUEZAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

VULNERABILIDADES DAS LAGOAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

MONITORAMENTO DOS PROBLEMAS DE ENCOSTA NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CURSO E FUTURAS

VULNERABILIDADES DAS LAGOAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Alex Enrich Prast* & Luiz Fernando Jardim Bento | *Laboratório de Biogeoquímica, Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro*

Introdução

A influência das mudanças climáticas globais em ecossistemas aquáticos continentais vem sendo tratada no meio científico e político desde o início da década passada. A “Agenda 21” (UNCED 1992) documento resultante da conferência que ficou conhecida como a Rio 92, no Rio de Janeiro, ressaltou que: “A mudança climática global e a poluição atmosférica também podem ter um impacto sobre os recursos de água doce e sua disponibilidade e, com a elevação do nível do mar, ameaçar áreas costeiras de baixa altitude e ecossistemas de pequenas ilhas”. Neste documento são ressaltadas metas e prioridades que deveriam ser seguidas em prol do desenvolvimento sustentável. Dentre as áreas propostas para o setor de água doce, o item 18.5.(g) refere-se aos “Impactos da mudança do clima sobre os recursos hídricos”. Os objetivos específicos citados neste documento em relação a este tópico são colocados no item 18.25.(a): “Colocar à disposição de todos os países tecnologias de avaliação dos recursos hídricos adequadas às suas necessidades, independentemente do nível de desenvolvimento deles, inclusive métodos para a avaliação do impacto da mudança climática sobre a água doce”. Outro importante documento que ressalta a problemática das mudanças climáticas, principalmente na América Latina e Caribe, foi publicado pelo “Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente” (PNUMA 2004). Esta forte preocupação de órgãos internacionais demonstra que as mudanças climáticas globais apresentam um caráter integrador em escala mundial, mas não pode ser esquecido que as especificidades de cada região podem trazer diferentes consequências e respostas dos ecossistemas aquáticos a este fator. Esta preocupação é reiterada pelo “Plano Nacional de Recursos Hídricos” (IBAMA, 2006), onde uma das macrodiretrizes do plano é “promover o desenvolvimento de pesquisas e a difusão de tecnologias orientadas para a integração e a conservação dos ecossistemas de água doce e florestal, com a previsão dos efeitos das mudanças climáticas, por meio de modelos de suporte para tomada de decisões”.

Mudanças climáticas não são recentes em nosso planeta. Nos últimos 30 mil anos, mudanças na precipitação continental, evaporação e escoamento (runoff) resultaram em alterações drásticas de padrões de distribuição espacial e temporal de lagos (Street & Grove 1979). Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental em Mudança do Clima (IPCC 2007), grande parte das mudanças climáticas previstas em relatórios anteriores como aumento da temperatura e alteração

da quantidade de distribuição da pluviosidade já está sendo registrada em várias partes do globo. As mudanças climáticas globais já são realidade em nosso planeta e podem acarretar em alterações no abastecimento e distribuição de ecossistemas de água doce, como já foi registrado no passado. Em escala global, as principais consequências destas mudanças no clima sobre os ecossistemas aquáticos são que algumas áreas ficarão mais e outras ficarão menos úmidas, dependendo das condições regionais (Carpenter et al. 1992). Tais mudanças podem resultar em alterações diretas e indiretas em lagos.

Lagos e rios podem ser considerados como sentinelas da mudança climática (Williamson et al. 2009), pois refletem mudanças ambientais que ocorrem tanto no ambiente terrestre como em nossa atmosfera (Williamson et al. 2008). Esses ecossistemas são extremamente sensíveis a estes tipos de mudança, que são capazes de causar alterações rápidas nas suas características físicas, químicas e biológicas (Adrian et al. 2009). O acompanhamento destas mudanças em um longo prazo é essencial para o melhor entendimento das mudanças do clima. Podemos considerar os lagos como bons sentinelas para a mudança atual do clima por quatro motivos: 1) ecossistemas lacustres são bem definidos e estudados de forma sustentável (em países de clima temperado); 2) respondem de forma direta e também incorporam os efeitos da mudança climática da bacia de drenagem; 3) integram a mudança através do tempo, o que pode filtrar “ruídos” nos dados e 4) distribuem-se mundialmente, registrando mudanças no clima que ocorrem em diferentes regiões geográficas do planeta (Adrian et al. 2009).

A fonte de abastecimento de água, sedimento e nutrientes de grande parte dos lagos naturais são os rios. O aumento da pluviosidade pode aumentar o fluxo de rios, trazendo uma maior quantidade de nutrientes e poluentes para os corpos aquáticos, mas também pode promover o aumento da taxa de renovação de lagos, diminuindo conseqüentemente, a concentração destes compostos. A diminuição da pluviosidade em algumas partes do planeta pode diminuir o fluxo d’água, acarretando no aumento da concentração de poluentes e nutrientes.

Mudanças climáticas também podem alterar a biomassa total, produtividade e composição de espécies da vegetação ripária de lagos e rios, alterando a quantidade e qualidade da matéria orgânica que chega a estes ecossistemas. Em relação aos organismos aquáticos, alterações na distribuição serão inevitáveis, já que o fator temperatura tem grande importância na manutenção do limite de distribuição destas espécies. Espécies invasoras aquáticas podem ter seu efeito predador e competitivo ainda maior em relação a espécies locais (Rahel & Olden 2008). A temperatura também pode ser a responsável direta por um aumento da produtividade de lagos, principalmente os localizados em regiões de altas latitudes, trazendo alterações na teia trófica destes ecossistemas. Todas essas mudanças foram previstas há quase duas décadas por Carpenter et al. (1992).

Recentemente, mais trabalhos trazem vários exemplos das conseqüências diretas das mudanças climáticas em lagos (Livingstone 2003, Moss et al. 2003, Winder & Schindler 2004, Mooij et al. 2005, Lloret et al. 2008, Noyes et al. 2009, Paerl & Huisman 2009, Tranvik et al. 2009)

A resposta de corpos aquáticos a mudanças climáticas não é igual em todas as regiões do mundo, sendo a característica e intensidade desta mudança muito variável e específica. Sendo assim, várias características intrínsecas de cada ecossistema devem ser levadas em consideração para se avaliar estas mudanças. As principais características revisadas recentemente por Blenckner (2005) e que podem levar a uma resposta distinta do ecossistema às mudanças climáticas são: a) sua posição geográfica; b) interação do lago com a sua bacia de drenagem; c) aspectos físicos como morfometria, coloração da água, área e formato da superfície, profundidade, irregularidade da linha marginal, alinhamento do lago à direção do vento; d) aspectos históricos como estoque de nutrientes no sedimento, status trófico; e e) interações abióticas/bióticas como a relação do estágio de sucessão dos organismos com a complexidade da teia trófica, disponibilidade de nutrientes, oxigênio e carbono orgânico dissolvido. Desta maneira, cada ecossistema aquático pode reagir de maneira diferenciada como resposta às mudanças globais, sendo que estas respostas dependem da combinação de cada um dos fatores anteriormente apresentados.

O planeta Terra possui aproximadamente 304 milhões de lagos, totalizando uma área de 4,2 milhões de km² e é dominado em área por milhões de corpos d'água menores que 1 Km² (Downing et al. 2006). A cobertura total de lagos naturais é duas vezes maior do que o reconhecido anteriormente. Tal fato demonstra a importância desses pequenos e rasos ecossistemas aquáticos em escala global. Downing et al. (-op cit) ainda indicam que estudos futuros devem enfatizar o papel e a contribuição global de pequenos corpos d'água para o clima de nosso planeta.

Dentre os corpos aquáticos continentais pequenos, as lagoas costeiras são muito representativas pois ocupam 13% do litoral mundial e se caracterizam pela posição de interseção entre os ambientes marinho, terrestre e dulcícola, sendo distinguidas pela alta produtividade biológica (Knoppers 1994). Devido à baixa cota altimétrica aliada à condição lêntica e ao uso humano expressivo, as lagoas costeiras constituem ambientes onde os efeitos decorrentes de processos naturais e antrópicos na bacia de drenagem são maximizados cumulativamente (Kjerfve 1994).

A formação de grandes aglomerados urbanos e industriais, com crescente necessidade de água para o abastecimento doméstico e industrial, além de irrigação e lazer, faz com que hoje quase todas as atividades humanas sejam cada vez mais dependentes da disponibilidade das águas continentais (Esteves 1998). O crescimento acelerado das populações humanas é responsável pela poluição dos corpos aquáticos, uma vez que grandes quantidades de esgoto doméstico e industrial são lançadas in

natura ou inadequadamente tratadas nos mesmos. Esse tipo de poluição tem como consequência a eutrofização artificial dos ecossistemas aquáticos, caracterizado por modificações drásticas nas condições físico-químicas, nas comunidades dos organismos aquáticos e na produtividade do sistema. Sendo a ocupação do nosso país concentrada em regiões costeiras, as lagoas costeiras do litoral do Brasil já sofrem grande pressão antrópica e podem ter menor resistência para responder as possíveis mudanças climáticas globais.

Histórico das lagoas da RMRJ

Estima-se que o Brasil possua de 12 a 18% da disponibilidade mundial de recursos hídricos. A região hidrográfica Atlântico Sudeste (na qual se encontra a cidade do Rio de Janeiro) é umas das menores em área (215 mil Km²) e ao mesmo tempo uma das mais urbanizadas (90%) e poluídas (986 t DBO₅/dia) do Brasil (MMA & ANA 2007), o que indica que os ecossistemas naturais nestas áreas encontram-se sob constante ação antrópica direta ou indireta.

Ao longo do século passado houve um aumento de 0,75oC na temperatura média do Brasil (Marenco, 2009). Este aquecimento é marcante para várias cidades do país e, principalmente, para os grandes centros urbanos onde fatores antropogênicos com as ilhas de calor potencializando estes resultados. Em relação à ocorrência de eventos extremos, o sudeste do Brasil tem mostrado um aumento sistemático na frequência de chuvas extremas desde 1940 (Marenco 2007). Nos últimos 50 anos foi observado na costa brasileira um aumento de 4 mm/ano (Mesquita et al. 2005). O estado do Rio de Janeiro pode ser dividido em sete macrorregiões ambientais (MRA), divididas de acordo com as grandes bacias hidrográficas (SEMADS 2001). As lagoas da região metropolitana do Rio de Janeiro estão localizadas na MRA-1 (Bacia da Baía de Guanabara, das lagoas metropolitanas e zona costeira adjacente) e são caracterizadas como urbanas, sendo divididas entre as lagoas da baixada de Jacarepaguá, Lagoa Rodrigo de Freitas e o complexo lagunar Piratininga-Itaipu.

A Baixada de Jacarepaguá possui uma bacia hidrográfica constituída pelos rios nascentes nas vertentes dos Maciços da Tijuca e da Pedra Branca e no escudo rochoso situado ao norte da baixada, tendo aproximadamente 300 Km² de área drenante, sendo 124 Km² desta área correspondentes às lagoas (SMAC 1998). Esta bacia é formada pelas lagoas da Tijuca (4,34 km²), Camorim (0,80 km²), Jacarepaguá (4,07 km²), Marapendi (3,33 km²) e Lagoinha (0,70 km²), totalizando 13,24 km², sendo interligadas ao mar pelo canal da Joatinga, a leste. O canal de Sernambetiba, a Oeste, encontra-se fechado por enrocamento (SEMADS 2001). Todas as lagoas recebem vários tipos de impactos antrópicos como aterros, esgotos domésticos e industriais, sendo a lagoa de Marapendi e Lagoinha as únicas que se localizam em áreas de proteção ambiental. Mesmo assim, a lagoa de Marapendi

recebe lixo e esgoto do conjunto de favelas ao longo do canal das Taxas, sendo a que se apresenta como a mais frágil desta bacia (SEMADS 2001). As lagoas de Camorim e da Tijuca são consideradas como as que apresentam o estágio mais avançado de degradação, sendo que a lagoa da Tijuca apresenta 30% do seu espelho d'água assoreado. Já a lagoa de Jacarepaguá apresenta grandes afloramentos de algas tóxicas, que apresentam grande risco à saúde humana (SEMADS 2001).

A lagoa Rodrigo de Freitas apresentou uma redução de aproximadamente 1,4 Km² em sua área nos últimos 20 anos (atualmente 2,4 Km² de espelho d'água) e de quase 3 metros em sua profundidade média no último século (atualmente 2,8 m) (SEMADS 2001). Ela é a lagoa mais urbanizada da região do Rio de Janeiro, apresentando uma bacia hidrográfica formada por rios canalizados e tendo o seu ritmo de cheia e vazante sendo controlado artificialmente por um regime de fechamento e abertura de comportas. Esta lagoa é completamente cercada por edificações, tendo somente uma conexão com o mar, o canal artificial do Jardim de Alá.

O complexo lagunar Piratininga-Itaipu tem como origem o fechamento de enseadas de água do mar por cordões arenosos e recebe contribuição dos rios Jacaré e Fazendinha na lagoa de Piratininga e dos rios João Mendes e Vala, que drenam diretamente na lagoa de Itaipu (Baptista & Fernandes 2009). Apesar da sua grande área (4,13 Km²), a lagoa de Piratininga apresenta a menor profundidade média do complexo (0,6 m), o que chega a formar até ilhas em pleno espelho d'água. Já a lagoa de Itaipú tem 1 m de profundidade média e uma área de 1,47 Km². Estes corpos aquáticos foram ligados artificialmente pelo canal de Camboatá na década de 1940, que chega a mais de 2 Km de extensão. Devido à rápida urbanização e à abertura de um canal para o mar na lagoa de Itaipu (realizada durante a década de 1970) o funcionamento do complexo lagunar foi drasticamente alterado, diminuindo a troca com água do mar e acelerando o processo de eutrofização (SEMADS 2001). A diminuição do espelho d'água nas duas lagoas foi significativa nos últimos 30 anos (Kuchler et al. 2005), o que confirma a forte pressão urbana nesta área.

O conhecimento existente sobre a ecologia de lagoas costeiras da região metropolitana do Rio de Janeiro tem sido produzido de forma segmentada e é relativamente pequeno considerando-se as necessidades para a compensação do funcionamento de um ecossistema aquático. Dentre as lagoas da região metropolitana do Rio de Janeiro, a mais estudada é a Lagoa Rodrigo de Freitas. A Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) possui uma série histórica de alguns parâmetros limnológicos e sanitários da Lagoa Rodrigo de Freitas desde 1980, embora estes não tenham sido obtidos de maneira contínua ao longo dos anos. A Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC) realizou alguns programas de monitoramento desde 1995 e um monitoramento intensivo na Lagoa Rodrigo de Freitas de 2002 a 2004. Os parâmetros analisados possibilitam uma avaliação momentânea da qualidade da água, porém a ausência da obtenção de

dados de maneira contínua e a longo prazo não permitem uma avaliação aprofundada sobre o funcionamento e estrutura da Lagoa Rodrigo de Freitas. A ausência de dados contínuos e de longo prazo impossibilita uma possível avaliação da influência das mudanças climáticas sobre os ecossistemas aquáticos da região metropolitana do Rio de Janeiro. Este panorama é fruto de planejamentos realizados a curto prazo, como consequência de uma parca disponibilidade de recursos para a atividade continuada. A perspectiva de um apoio mais duradouro à investigação em um determinado sistema, permite que se comece a trabalhar planejando a obtenção de informações numa escala mais ampla de tempo e que possibilitará fazer previsões das possíveis consequências das mudanças climáticas sobre estes ecossistemas aquáticos.

Futuro das lagoas – visão local

Dentro dos cenários adotados de 0,5, 1,0, 1,5 m de elevação no nível do mar em um horizonte de 100 anos, os ecossistemas aquáticos continentais da região metropolitana do Rio de Janeiro podem apresentar diferentes respostas.

Lagoa Rodrigo de Freitas: por possuir maior cota altimétrica na sua área de entorno, ela não apresentaria grande expansão em área nem se considerado o quadro de maior elevação do nível do mar. No entanto, áreas que atualmente sofrem com os alagamentos causados em períodos de chuvas extremas, como é o caso do Parque dos Patins, certamente apresentará uma incidência maior de inundações, visto que espera-se que ocorra uma maior frequência em que se combinarão maior pluviosidade e marés de sizígia.

A Lagoa Rodrigo de Freitas é um ecossistema que tem seu nível d'água controlado de forma artificial pelo homem. Em épocas mais secas, as comportas que ligam a lagoa ao mar são abertas em maré alta para uma maior entrada de água e, conseqüentemente, aumento no nível de água da lagoa. Já em épocas mais chuvosas esse sistema de comportas pode ser aberto para a liberação do excesso de água que chega a este ecossistema pelo sistema de drenagem. Desta forma, nos cenários mais conservadores de aumento no nível do mar a Lagoa Rodrigo de Freitas apresenta uma baixa vulnerabilidade a este impacto, já que este aumento pode ser controlado por um sistema artificial. Este controle por comportas utilizado na lagoa pode impedir uma maior entrada de água do mar, mantendo o nível da lagoa próximo ao atual.

O projeto “Lagoa Limpa” (<http://www.lagoalimpa.com.br>) realizado pelo setor privado em parceria com o governo do estado e a prefeitura do Rio de Janeiro prevê intervenções de grande porte na Lagoa Rodrigo de Freitas, visando à melhoria da qualidade da água. Uma das ações deste projeto é a possível construção de uma nova comporta no canal do Jockey que poderia melhorar o sistema de

comportas e conseqüentemente o controle do nível d'água e entrada de esgoto sem tratamento na lagoa. Outra ação ainda mais drástica é a construção dos chamados "dutos afogados", que melhorariam a troca de água entre a lagoa e o mar. Este projeto já passou por análises de hidrodinâmica (COPPETEC 2009), mas ainda precisa ser estudado em escala para teste de sua viabilidade. Em um cenário de aumento do nível do mar este projeto deve ser avaliado de forma crítica, pois o aumento da troca de água facilitaria o transbordamento da lagoa em épocas de chuva forte, aumentando o risco de enchentes na área de entorno. Um dos pontos positivos dos dutos afogados, seria a diminuição do tempo em que a lagoa seria mantida como um ecossistema fechado (sem troca de água com o mar).

A ocorrência e incremento da freqüência de eventos extremos de chuva podem diminuir ainda mais a qualidade da água deste ecossistema, caso seja mantido o atual sistema de comportas. Um possível aumento da intensidade de chuvas promoveria a diminuição da qualidade da água da lagoa, visto que ocorreria um maior aporte de esgoto oriundo do emissário submarino de esgoto de Ipanema. A lagoa recebe água do sistema de águas pluviais que, em dias de muita chuva, pode receber o esgoto doméstico que seria lançado ao mar através do emissário. Além disso, o aumento da intensidade de chuvas e ventos provavelmente provocaria uma ressuspensão dos sedimentos e conseqüente diminuição da concentração de oxigênio da coluna d'água, devido à degradação aeróbica da matéria orgânica estocada no fundo da lagoa.

Complexo lagunar Piratininga-Itaipu: assim como a Lagoa Rodrigo de Freitas, esse complexo apresenta um histórico de problemas em relação à baixa renovação de água e assoreamento. Mesmo a área de entorno apresentando uma cota altimétrica relativamente alta, projetos que visam conexão fixa da lagoa com o mar podem trazer conseqüências diretas para a população local em um cenário de elevação do nível do mar. Além disso, o forte assoreamento tanto do complexo como dos rios que fazem parte da sua bacia de drenagem causaram repetidos eventos de alagamento de regiões próximas, que podem se tornar cada vez mais comuns com um nível de água do mar mais elevado. O aumento de eventos extremos, como a intensidade de fortes chuvas, podem aumentar a freqüência de episódios de mortandade de peixes muito comuns na região devido ao já avançado processo de eutrofização.

Baixada de Jacarepaguá: as lagoas localizadas na baixada de Jacarepaguá são as mais vulneráveis à elevação do nível d'água no Rio de Janeiro, visto que a Área de Planejamento 4 (AP4) que compreende este complexo possui o maior percentual de setores com cota altimétrica média até 1,50 m. Um dos resultados imediatos da elevação do nível do mar seria o aumento em área do espelho d'água das lagoas existentes e a criação de novas áreas alagadas pela entrada de água marinha e também devido à elevação do nível do lençol freático. A amplitude dessas novas áreas

alagadas será determinada pelo nível da elevação e topografia local. O caso do complexo lacustre da Barra da Tijuca é aquele em que seriam esperados os maiores aumentos da área lacustre, mesmo no quadro de menor amplitude de elevação do nível do mar, resultado que se tornaria ainda mais expressivo no quadro de maior elevação. Neste caso a expansão da área lacustre ocuparia grande parte dos bairros Recreio dos Bandeirantes e Vargem Grande. Admitindo-se uma possível mudança da intensidade de tempestades tropicais, pode-se esperar um aumento na área e na frequência de alagamentos em áreas adjacentes mesmo que tenham cota superior a 1,50 m. Como a ocupação das margens destas lagoas ocorreu de forma desordenada, também se pode esperar que a inundação de moradias ocorra mais regularmente, principalmente em períodos de chuvas intensas ou de elevadas marés. Como a qualidade da água destas lagoas é de forma geral baixa (incluindo as lagoas de Marapendi e Lagoinha, que se localizam dentro de áreas de proteção ambiental), o contato da população local com as mesmas pode passar a ser um problema de saúde pública na região, já que a água é o veículo transmissor de diversas doenças. O aumento na frequência de eventos extremos de chuva pode potencializar este efeito, aumentando ainda mais o fluxo de águas contaminadas para as lagoas.

Futuro das lagoas – visão regional

O aumento médio da temperatura é a principal previsão associada às mudanças globais. Em decorrência, são esperadas as seguintes conseqüências para comunidades que vivem em ambientes aquáticos: mudanças no metabolismo e fenologia de organismos aquáticos, incluindo tamanho, aumento da taxa de extinção, mudança na composição da comunidade e mudanças genéticas (Heino et al. 2009). Os peixes apresentam uma comunidade cuja fisiologia está intimamente ligada à temperatura. Considerando-se somente a comunidade de peixes tropicais, não existe um consenso sobre as conseqüências causadas pelo aumento de temperatura. Se por um lado, um pequeno aumento da temperatura da água poderia aumentar o metabolismo, estimulando suas taxas de crescimento e conseqüentemente incrementando o estoque pesqueiro de lagos, por outro, se a temperatura atual for a ótima para a maioria das espécies de peixes tropicais, um pequeno aumento poderia significar a redução das taxas reprodutivas, causando a diminuição da densidade ou mesmo causando extinções em lagos e rios (Roland et al, aceito).

De um ponto de vista ecossistêmico, ou seja, olhando os lagos como um todo, as conseqüências do aumento de temperatura tampouco estão bem estabelecidas. Com o aumento da temperatura, o metabolismo dos organismos fica mais acelerado, e embora tanto a produção primária como a respiração aumentariam, existe uma tendência de que a eficiência dos processos aumentaria, o que

provocaria um aumento das taxas de produção primária líquida dos ambientes (Roland et, al aceito), o que poderia resultar em longo prazo em um aumento da produção animal como, por exemplo, da comunidade de peixes.

Um das principais conseqüências para áreas costeiras previstas pelo último relatório do IPCC seria a salinização de áreas baixas (IPCC 2007). O aumento na salinidade pode gerar mudanças significativas na estrutura das comunidades e no funcionamento ecológico destes ambientes. Pode-se esperar uma substituição gradativa das espécies animais e vegetais adaptadas à condição de água doce ou salobra hoje existente, por espécies capazes de sobreviver às novas condições de salinidade mais elevada. Dependendo do grau de alteração do ambiente, as lagoas podem ser totalmente descaracterizadas tanto do ponto de vista ecológico como visual

Diversos estudos enfatizam a importância ecológica das macrófitas aquáticas na estrutura e funcionamento de ecossistemas aquáticos, principalmente por sua elevada produtividade e importância na ciclagem de nutrientes. A área marginal colonizada por macrófitas aquáticas fornece habitat diversificado e abrigo para muitas espécies animais. Grande parte das plantas aquáticas encontradas hoje nas lagoas da região metropolitana do Rio de Janeiro (como as macrófitas *Typha domingensis* e *Eichornia crassipes*, conhecidas popularmente como taboa e gigoga, respectivamente) provavelmente não seriam capazes de manter suas populações em valores elevados de salinidade. A senescência destas permitiria a colonização e o domínio de populações adaptadas à nova condição, como algas bentônicas halófitas ou até vegetação de mangue. Essas condições já foram observadas na laguna de Itaipú, município de Niterói, em 1978, onde a maior influência da salinidade fez com que a vegetação do entorno, composta basicamente por *Typha domingensis*, fosse totalmente substituída por árvores de mangue.

A gigoga é uma espécie de macrófita aquática das mais abundantes nas lagoas da região metropolitana do Rio de Janeiro. Nos últimos anos foram registrados vários eventos de superpopulação desta espécie intimamente ligada à alta concentração dos nutrientes nitrogênio e fósforo, devido ao lançamento de esgoto in natura nestes ecossistemas. Macrófitas aquáticas tropicais apresentam uma alta capacidade de absorção de nitrogênio e fósforo da água (Brahma D et al. 1991), sendo as macrófitas aquáticas flutuantes, como a gigoga, as que apresentam maiores taxas de absorção. Um hectare de gigogas pode absorver o equivalente à média diária de produção de esgoto de 800 pessoas (Rogers & Davis 1972). Desta forma, as gigogas atuam como um “filtro natural” de esgoto em ecossistemas aquáticos, sendo até recomendadas para o controle do processo de eutrofização em uma lagoa em Macaé, no norte do Estado do Rio de Janeiro, devido à sua alta capacidade de absorção de nutrientes (Petruccio & Esteves 2000).

As gigogas apresentam uma tolerância de apenas 2,5 ‰ à concentração de sal na água (Haller et al. 1974) enquanto a salinidade da água do mar é cerca de 35 ‰. Ou seja, um pequeno aumento na salinidade pode resultar em uma grande diminuição da biomassa deste vegetal. Mudanças na renovação da água das lagoas, como as previstas principalmente na Lagoa Rodrigo de Freitas e no complexo lagunar Piratininga-Itaipu, podem trazer a salinidade para níveis muito próximos aos encontrados no mar. Sendo assim o efeito seria significativo em relação à população de macrófitas aquáticas. A ausência deste “filtro natural” de esgoto associado ao grande aporte extra de nutrientes causado pela morte das gigogas poderá causar um aumento repentino na concentração de nitrogênio e fósforo, acelerando ainda mais o processo de eutrofização artificial.

A dificuldade de colonização imposta pela salinidade a plantas enraizadas como a taboa poderia retardar o processo natural de sucessão ecológica destas lagoas, aumentando o seu “tempo de vida”. Devido ao processo de assoreamento natural causado pela deposição de sedimentos trazidos de toda a bacia de drenagem e do acúmulo de biomassa das macrófitas aquáticas sobre o sedimento, estes ambientes tendem a perder profundidade gradativamente. Este fenômeno acaba por permitir a invasão da vegetação em direção à região limnética, fazendo com que as lagoas se tornem brejos e desapareçam.

Outra consequência do aumento de salinidade previsto para ocorrer nas próximas décadas é a quebra da estratificação da coluna d’água de lagoas costeiras, o que pode alterar a biodisponibilidade de metais pesados no ecossistema. As lagoas do estado do Rio de Janeiro, principalmente as da região metropolitana, são caracterizadas por uma alta concentração de metais pesados como o mercúrio (Lacerda & Gonçalves 2001). Grande parte deste mercúrio pode estar estocado no sedimento (Cypriano et al. 2008), podendo ser disponibilizado através da oxigenação causada pela quebra da estratificação.

Outros fatores além da elevação do nível do mar precisam ser considerados com relação às lagoas costeiras. Nos referimos principalmente a fatores tais como alterações nos padrões de chuva e vento. A mistura das massas d’água provocada pela ação dos ventos pode re-suspender o sedimento trazendo-o de volta para à coluna d’água. Outra hipótese com relação ao aumento de chuvas esporádicas e intensas é a aceleração do processo de assoreamento das lagoas. O aumento de chuvas fortes intensifica a erosão física nas encostas, especialmente quando estas não possuem cobertura vegetal, aumentando o volume de sedimentos transportados pelos rios os quais serão finalmente depositados nas lagoas. As lagoas do complexo lagunar da Barra da Tijuca e Baixada de Jacarepaguá provavelmente seriam as mais afetadas pelo aporte de sedimentos das encostas.

As lagoas da região metropolitana do Rio de Janeiro já apresentaram vários episódios de “blooms” de microalgas tóxicas, que representam uma ameaça à saúde da população do entorno (Magalhães et al. 2001, Domingos & Melo 2006). Conseqüências das mudanças globais como o aumento de temperatura, salinidade, concentração de CO₂ atmosférica e nutrientes podem funcionar como um catalizador da expansão de “blooms” de cianobactérias tóxicas em todo o mundo (Paerl & Huisman 2009). Mortandades de peixes e contaminação da água por toxinas provenientes de cianobactérias tóxicas poderão se tornar cada vez mais comuns nas condições previstas para as próximas décadas. Segundo Domingos (com. pessoal), a grande mortandade de peixes ocorrida em 2010 na Lagoa Rodrigo de Freitas, foi decorrente de um “bloom” de uma alga tóxica que nunca havia sido observada neste ambiente anteriormente.

Resumidamente, do ponto de vista ecossistêmico as mudanças globais podem causar as seguintes alterações nas lagoas costeiras: 1) substituição das comunidades animais e vegetais; 2) extinção de espécies (com conseqüente perda de diversidade); 3) aumento da concentração total de sais (salinização); 4) aumento das concentrações de nutrientes; 5) aumento dos níveis de poluição; 6) assoreamento; 7) aumento de sua área total; 8) mudança da fisionomia e descaracterização do ecossistema; 9) aumento da produção de gases tóxicos (gás sulfídrico e outros); 10) perda de uso contemplativo e recreativo; 11) aumento da possibilidade da proliferação de algas tóxicas; e 12) alteração da biodisponibilidade de metais pesados. Por outro lado, do ponto de vista do uso social das lagoas, podem ser destacados as possíveis conseqüências: 1) atraso no processo natural de envelhecimento do ambiente; 2) diminuição na proliferação de taboas e gigogas; 3) diminuição do desenvolvimento de mosquitos e 4) surgimento de novas áreas de uso recreativo e contemplativo.

Medidas recomendáveis

As principais medidas recomendáveis para o acompanhamento e avaliação do efeito das mudanças globais sobre as lagoas da região metropolitana do Rio de Janeiro são:

- Manter os programas de monitoramento limnológico das lagoas pelo INEA, nos moldes da antiga FEEMA, em relação aos três segmentos destacados (complexos da baixada de Jacarepaguá e de Niterói-Maricá, e lagoa Rodrigo de Freitas);
- Criação de um banco de dados referentes ao monitoramento e estudos já realizados por órgãos públicos aberto e disponível na internet ;
- Contenção efetiva e tratamento de todos os efluentes domésticos gerados, principalmente em regiões do entorno dos corpos aquáticos;

- Maior interação entre os órgãos municipais, estaduais e federais para coordenar o programa de monitoramento e evitar sobreposição ou superposição de atividades;
- Monitorar o surgimento de novas áreas alagadas através do acompanhamento de imagens de satélite.

Proposta de plano de monitoramento

Planos de monitoramento de ecossistemas aquáticos são de extrema importância para o melhor entendimento das mudanças climáticas, pois eles atuam tanto como sentinelas como integradores dos seus efeitos (Schindler 2009). Estudos de longa duração, incluindo monitoramento ambiental, são necessários para a conservação no contexto dos grandes problemas ambientais que afetam as lagoas costeiras (Esteves et al. 2008).

Em uma revisão recente Adrian et al. (2009) discutiram quais seriam as variáveis chaves e como elas poderiam servir para o monitoramento das mudanças climáticas em ecossistemas aquáticos continentais. Baseados neste estudo e nas conseqüências diretas previstas para as lagoas da região metropolitana do Rio de Janeiro, propomos um monitoramento que avalie os seguintes parâmetros:

Periodicidade semanal (coluna d'água)

Formas nitrogenadas e fosfatadas totais, dissolvidas e inorgânicas;

Carbono orgânico total e dissolvido, clorofila-a, turbidez, sólidos em suspensão, pH, alcalinidade, salinidade, oxigênio dissolvido, temperatura, profundidade e coloração;

Perfis de salinidade, temperatura, oxigênio e radiação fotossinteticamente ativa;

Comunidade de fitoplâncton e de coliformes totais e fecais.

Periodicidade mensal

Metabolismo aquático, incluindo taxas de produção primária e respiração da coluna d'água e do sedimento;

Comunidade de zooplâncton, macrobentônica, macrófitas aquáticas e ictioplâncton;

Periodicidade semestral

Concentrações de Fósforo total, mercúrio total, granulometria e matéria orgânica.

Bibliografia

- Adrian, R.; O'Reilly, C.M.; Zagarese, H.; Baines, S.B.; Hessen, D.O.; Keller, W.; Livingstone, D.M.; Sommaruga, R.; Straile, D.; Van Donk, E.; Weyhenmeyer, G.A. & Winder, M. 2009. Lakes as Sentinels of Climate Change. *Limnology and Oceanography*, 54:2283-2297.
- Baptista, J.V. & Fernandes, V.F. 2009. Alterações Ambientais Em Decorrência Do Processo De Urbanização Acelerada Na Bacia Hidrográfica Do Rio Jacaré, Niterói - Rj In II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté.
- Blenckner, T. 2005. A Conceptual Model of Climate-Related Effects on Lake Ecosystems. *Hydrobiologia*, 533:1-14.
- Brahma D, T.; Jaya, S. & Kiran, M. 1991. Nitrogen and Phosphorus Removal-Capacity of Four Chosen Aquatic Macrophytes in Tropical Freshwater Ponds. *Environmental Conservation*, 18:143-147.
- Carpenter, S.R.; Fisher, S.G.; Grimm, N.B. & Kitchell, J.F. 1992. Global Change and Freshwater Ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23:119-139.
- COPPETEC. 2009. Estudos De Hidrodinâmica Ambiental Para Ligação Da Lagoa Rodrigo De Freitas Ao Mar Via Dutos Afogados - Rj. Sobre Níveis De Água, Batimetria E Dragagens Na Lagoa Rodrigo De Freitas - Rj Disponível em <http://www.lagoalimpa.com.br/arquivo/projeto-niveis_batimetria_dragagens.pdf>. Acessado em 05/12/2010.
- Cypriano, E.F.; Araújo, C.L.; Lacerda, L.D. & Loureiro, D.D. 2008. Distribuição Espacial De Mercúrio Nos Sedimentos Do Complexo Lagunar Da Baixada De Jacarepaguá (Rj). In III Congresso Brasileiro de Oceanografia, Fortaleza.
- Domingos, P. & Melo, S. 2006. Ecologia Do Fitoplâncton Em Lagoas Costeiras. *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*, 35:79-82.
- Downing, J.A.; Prairie, Y.T.; Cole, J.J.; Duarte, C.M.; Tranvik, L.J.; Striegl, R.G.; McDowell, W.H.; Kortelainen, P.; Caraco, N.F.; Melack, J.M. & Middelburg, J.J. 2006. The Global Abundance and Size Distribution of Lakes, Ponds, and Impoundments. *Limnology and Oceanography*, 51:2388-2397.
- Esteves, F.; Caliman, A.; Santangelo, J.; Guariento, R.; Farjalla, V. & Bozelli, R. 2008. Neotropical Coastal Lagoons: An Appraisal of Their Biodiversity, Functioning, Threats and Conservation Management. *Brazilian Journal of Biology*, 68:967-981.
- Esteves, F.A. 1998. Fundamentos De Limnologia. Interciência, Rio de Janeiro. 602p.

Haller, W.T.; Sutton, D.L. & Barlowe, W.C. 1974. Effects of Salinity on Growth of Several Aquatic Macrophytes. *Ecology*, 55:891-894.

IBAMA. 2006. Plano Nacional De Recursos Hídricos. Síntese Executiva - Português / Ministério Do Meio Ambiente, Secretaria De Recursos Hídricos., Brasília. 135p.

IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 1000p.

Heino, J., Virkkala, R. and Toivonen, H. 2009. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews*, 84: 39–54. doi: 10.1111/j.1469-185X.2008.00060.x

Kjerfve, B. 1994. Coastal Lagoon Process. Pp 577. In: Kjerfve, B. (eds.), Coastal Lagoon Process (Elsevier Oceanography Series No 60). Elsevier, Amsterdam.

Knoppers, B. 1994. Aquatic Primary Production in Coastal Lagoons. Pp 577. In: Kjerfve, B. (eds.), Coastal Lagoon Processes (Elsevier Oceanography Series No 60). Elsevier, Amsterdam.

Kuchler, P.C.; Ferreira, A.P.S.; Silva, J.A. & Silva, A.T. 2005. A Análise Da Diminuição Do Espelho D'água Das Lagoas De Itaipu E Piratininga Com O Subsídio Do Sensoriamento Remoto. In XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia.

Lacerda, L.D. & Gonçalves, G.O. 2001. Mercury Distribution and Speciation in Waters of the Coastal Lagoons of Rio De Janeiro, Se Brazil. *Marine Chemistry*, 76:47-58.

Livingstone, D.A. 2003. Global Climate Change Strikes a Tropical Lake. *Science*, 301:468-469.

Lloret, J.; Marin, A. & Marin-Guirao, L. 2008. Is Coastal Lagoon Eutrophication Likely to Be Aggravated by Global Climate Change? *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 78:403-412.

Magalhães, V.F.; Soares, R.M. & Azevedo, S.M.F.O. 2001. Microcystin Contamination in Fish from the Jacarepaguá Lagoon (Rio De Janeiro, Brazil): Ecological Implication and Human Health Risk. *Toxicon*, 39:1077-1085.

Marengo, J.A. 2007. Caracterização Do Clima Atual E Definição Das Alterações Climáticas Para O Território Brasileiro Ao Longo Do Século Xxi. Relatório Número 1: Caracterização Do Clima No Século Xx E Cenários Climáticos No Brasil E Na América Do Sul Para O Século Xxi Derivados Dos Modelos Globais De Clima Do Ippc. MMA, SBF e DCBio. 185p.

Mesquita, A.R.; Franco, A.S.; Harari, J. & França, C.A.S. 2005. On Sea Level Along the Brazilian Coast - Part II. http://www.mares.io.usp.br/aagn/aagn8/ca/sea_level3_partii.html.

- MMA & ANA. 2007. Geo Brasil : Recursos Hídricos : Componente Da Série De Relatórios Sobre O Estado E Perspectivas Do Meio Ambiente No Brasil, Brasília. 264p.
- Mooij, W.M.; Hulsmann, S.; Domis, L.N.D.; Nolet, B.A.; Bodelier, P.L.E.; Boers, P.C.M.; Pires, L.M.D.; Gons, H.J.; Ibelings, B.W.; Noordhuis, R.; Portielje, R.; Wolfstein, K. & Lammens, E. 2005. The Impact of Climate Change on Lakes in the Netherlands: A Review. *Aquatic Ecology*, 39:381-400.
- Moss, B.; McKee, D.; Atkinson, D.; Collings, S.E.; Eaton, J.W.; Gill, A.B.; Harvey, I.; Hatton, K.; Heyes, T. & Wilson, D. 2003. How Important Is Climate? Effects of Warming, Nutrient Addition and Fish on Phytoplankton in Shallow Lake Microcosms. *Journal of Applied Ecology*, 40:782-792.
- Noyes, P.D.; McElwee, M.K.; Miller, H.D.; Clark, B.W.; Van Tiem, L.A.; Walcott, K.C.; Erwin, K.N. & Levin, E.D. 2009. The Toxicology of Climate Change: Environmental Contaminants in a Warming World. *Environment International*, 35:971-986.
- Paerl, H.W. & Huisman, J. 2009. Climate Change: A Catalyst for Global Expansion of Harmful Cyanobacterial Blooms. *Environmental Microbiology Reports*, 1:27-37.
- Petrucio, M.M. & Esteves, F.A. 2000. Uptake Rates of Nitrogen and Phosphorus in the Water by *Eichhornia Crassipes* and *Salvinia Auriculata*. *Revista Brasileira de Biologia*, 60:229-236.
- PNUMA. 2004. Perspectivas Do Meio Ambiente Mundial - 2002. Geo 3. Passado, Presente E Futuro. Programa Das Nações Unidas Para O Meio Ambiente. Edição Em Português: Ibama/Uma. 446p.
- Rahel, F.J. & Olden, J.D. 2008. Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species. *Conservation Biology*, 22:521-533.
- Rogers, H.H. & Davis, D.E. 1972. Nutrient Removal by Waterhyacinth. *Weed Science*, 20:423-428.
- Roland, F, Huszar, V., Farjalla V.F., Enrich-Prast, A., Amado, A., Attayde J.L. Ometto, J. accepted. Climate Change in Brazil: Perspective in Biogeochemistry of Inland Waters. *Brazilian Journal of Biology*.
- Schindler, D.E. 2009. Lakes as Sentinels and Integrators for the Effects of Climate Change on Watersheds, Airsheds, and Landscapes. *Limnology and Oceanography*, 54:2349-2358.
- SEMADS. 2001. Ambiente Das Águas No Estado Do Rio De Janeiro. Pp 230. In: Weber, W. (eds.), *Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto Planágua-Semads/Gtz*.
- SMAC. 1998. Diagnóstico Do Meio Físico. Pp. In: (eds.), *Estudo De Impacto Ambiental Para O Projeto De Recuperação Ambiental Da Macrobacia De Jacarepaguá vol. 2*. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

Street, F.A. & Grove, A.T. 1979. Global Maps of Lake-Level Fluctuations since 30.000 Yr B.P. *Quaternary Research*, 12:83-118.

Tranvik, L.J.; Downing, J.A.; Cotner, J.B.; Loiselle, S.A.; Striegl, R.G.; Ballatore, T.J.; Dillon, P.; Finlay, K.; Fortino, K.; Knoll, L.B.; Kortelainen, P.L.; Kutser, T.; Larsen, S.; Laurion, I.; Leech, D.M.; McCallister, S.L.; McKnight, D.M.; Melack, J.M.; Overholt, E.; Porter, J.A.; Prairie, Y.; Renwick, W.H.; Roland, F.; Sherman, B.S.; Schindler, D.W.; Sobek, S.; Tremblay, A.; Vanni, M.J.; Verschoor, A.M.; von Wachenfeldt, E. & Weyhenmeyer, G.A. 2009. Lakes and Reservoirs as Regulators of Carbon Cycling and Climate. *Limnology and Oceanography*, 54:2298-2314.

UNCED. 1992. Agenda 21 (Global), Em Português. Ministério Do Meio Ambiente - Mma, Rio de Janeiro. 391p.

Williamson, C.E.; Dodds, W.; Kratz, T.K. & Palmer, M.A. 2008. Lakes and Streams as Sentinels of Environmental Change in Terrestrial and Atmospheric Processes *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6:247-254.

Williamson, C.E.; Saros, J.E. & Schindler, D.W. 2009. Sentinels of Change. *Science*, 323:887-888.

Winder, M. & Schindler, D.E. 2004. Climate Change Uncouples Trophic Interactions in an Aquatic Ecosystem. *Ecology*, 85:2100-2106.