

CAPÍTULO 14

MONITORAMENTO REMOTO EM TEMPO REAL DE MANANCIAS VISANDO ÀS FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS

Werner Hanisch¹ & Cristina Souza Freire-Nordi²

1 - Laboratório de Processos Ambientais, Bioquímicos e Químicos, Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de São Paulo, Campus Diadema, Diadema, Brasil. 2 - Laboratório de Ecofisiologia e Monitoramento Ambiental, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Paulo, Campus Diadema, Diadema, Brasil.
E-mail: werner.hanisch@gmail.com

RESUMO

A qualidade da água é resultado de um complexo de processos naturais e humanos agindo conjuntamente, aliado às interações entre eles no espaço e no tempo. Atualmente um dos importantes impactos nos ecossistema aquáticos é causado pelo processo de eutrofização, principalmente originado de atividades antrópicas. As proliferações de algas e cianobactérias têm crescido em decorrência desse fenômeno. Elas trazem grande prejuízo aos ecossistemas aquáticos, incluindo a maioria dos reservatórios no Brasil. Nesse sentido, o monitoramento surge como ferramenta importante para avaliação de ecossistemas aquáticos. Uma das tendências mais recentes de monitoramento dos ecossistemas aquáticos, pode ser destacado o *monitoramento remoto em tempo real*. Essa técnica reúne várias tecnologias, tais como: uso de sensores de alta qualidade para medidas físicas, químicas e biológicas da água com medições climatológicas, armazenamento de dados e transmissão destes por meio de telefonia celular (GPRS), via satélite ou por via de radiofrequência. O monitoramento intensivo se constitui uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos, e contribuem com dados que auxiliarão na utilização de medidas de manejo e recuperação ambiental, garantindo a integridade dos recursos naturais, e conseqüentemente sua exploração sustentada, com o acréscimo de economia de recursos financeiros.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água é resultado de um complexo de processos naturais e humanos agindo conjuntamente, aliado às interações entre eles no espaço e no tempo. Nesse contexto, a variabilidade dos ecossistemas aquáticos, sua diversidade de organismos, bem como respostas às condições físicas e químicas da bacia hidrográfica, processos de evolução e distribuição geográfica, além dos impactos antrópicos, têm que ser levados em conta, e são pontos importantes a se abordar em estudos de ecossistemas aquáticos. A crescente deterioração da qualidade das águas, afetando diretamente a vida aquática, bem como a utilização deste recurso pelos seres humanos, tem levado à busca de estratégias para proteção e manutenção da qualidade dos ecossistemas aquáticos.

Neste cenário, o monitoramento surge como ferramenta importante para avaliação de ecossistemas aquáticos. Em geral o objetivo do monitoramento de parâmetros qualitativos e quantitativos da qualidade da água é fornecer uma aproximação e uma estimativa da situação e tendência de um ambiente aquático (PSILOVIKOS, 2005). O monitoramento se constitui em uma importante ferramenta à pesquisa, auxiliando na detecção de fontes pontuais de contaminação e poluição, com detecção das alterações na biota do ecossistema. Um projeto de monitoramento bem delineado constituirá a base do sucesso ou falha nas ações de restauração de um ambiente e pode determinar possíveis ações sucessivas para seus reajustes (BRUNS; WIERSMA, 2004). Os programas de monitoramento operando atualmente têm como finalidade a proteção de águas subterrâneas, superficiais e costeiras, com o propósito de determinar estratégias para o desenvolvimento sustentável e proteção contra a degradação quantitativa e qualitativa dos ecossistemas aquáticos (PSILOVIKOS, 2005). Além disso, um monitoramento efetuado continuamente por vários anos fornecerá informações sobre impactos globais para os diferentes ecossistemas aquáticos continentais e marinhos. O monitoramento de longa duração irá acompanhar as alterações dos ecossistemas ao longo do tempo, gera um banco de dados, permite cientificamente compreender as alterações dos ecossistemas, dos processos nas comunidades e os fatores físico-químicos relacionados a estas alterações, e finalmente comparar estrutura e função dos ecossistemas ao longo do tempo.

Artiola et al. (2004) definem monitoramento como observação e estudo do meio-ambiente. Em termos científicos, os dados são coletados para gerar conhecimento. Os autores colocam ainda que a função do monitoramento ambiental está definida nos três primeiros degraus da escada do conhecimento (Figura 1) que é enraizada no Método Científico. Observações objetivas produzem dados coerentes, que produzem informações suscetíveis de avaliação. Informação e conhecimento adquiridos por meio delas geralmente levam a um aumento do entendimento do problema ou situação, que melhoram as chances de se tomarem decisões, o discernimento do problema ou situação. Entretanto é importante perceber que outros fatores, incluindo políticos, econômicos e sociais interferem na tomada de decisões. Os pesquisadores (ARTIOLA et al., 2004) ainda discorrem que as informações geradas por meio de atividades de monitoramento podem ser usadas de muitas maneiras, desde o entendimento de mortalidade de uma espécie de peixe em extinção em um pequeno córrego, até a definição de estratégias de longo período de preservação de grandes áreas de recursos naturais. Recentemente o monitoramento ambiental se tornou mais crítico por causa do grande aumento populacional que utiliza cada vez mais os recursos ambientais.

De acordo com Tundisi (2003) o conceito de monitoramento da qualidade da água é muito mais abrangente. O monitoramento surge como ferramenta importante para avaliação de ecossistemas aquáticos. Em geral o objetivo do monitoramento de parâmetros qualitativos e quantitativos da qualidade da água é fornecer uma aproximação e uma estimativa da situação e tendência de um ambiente aquático, como é o caso das represas da região metropolitana de São Paulo (RMSP), em particular o Complexo Billings.

Braga et al. (1999) contextualizaram que o planejamento e gestão dos recursos hídricos dependem de informações confiáveis sobre a qualidade e quantidade tanto da demanda como da oferta de água. Isso somente será alcançado se existirem redes de monitoramento que gerem dados confiáveis de interesse. Segundo os autores, a falta de informação aumenta a incerteza das decisões

e dos resultados alcançados e seus impactos sobre os recursos hídricos. Ainda afirmam que os problemas ambientais têm sido detectados em uma velocidade muito maior do que a capacidade de resolvê-los. Para isso é necessário entender os processos ambientais para que se possa atuar corretamente sobre as causas das alterações. Isso só é possível quando se tem informações suficientes e confiáveis do sistema. Mas não basta somente ter essas informações, é necessário usá-las adequadamente para que se tenham subsídios para a tomada de decisões pelos gestores de qualidade de água. Dentre as informações básicas necessárias a um gerenciamento adequado, Braga et al. (op cit.) citam as séries históricas e em tempo real das variáveis climáticas, de fluviometria, de sedimentometria e de qualidade da água.

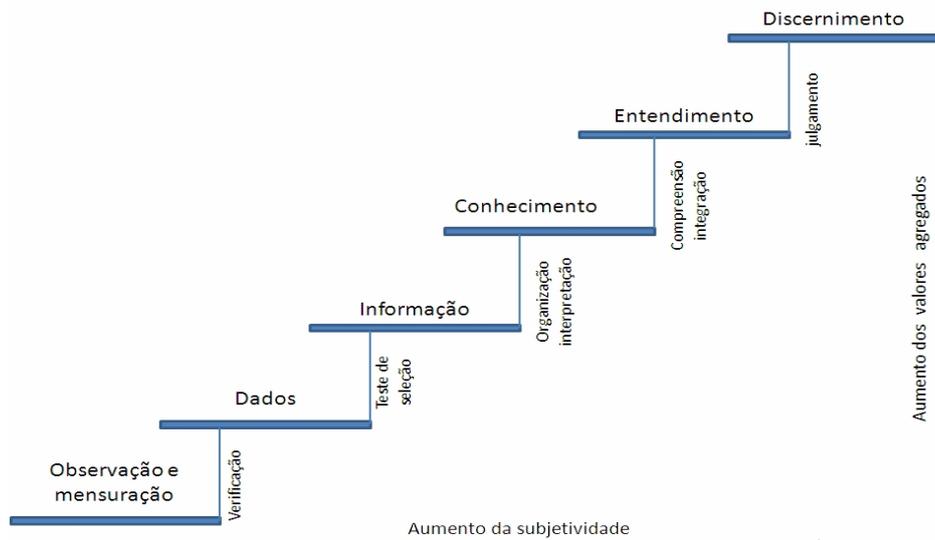


Figura 1: Escada do conhecimento. Fonte: Artiola et al. (2004).

Como uma das tendências mais recentes de monitoramento dos ecossistemas aquáticos, pode-se destacar o *monitoramento remoto em tempo real*. Essa técnica reúne várias tecnologias, tais como: uso de sensores de alta qualidade para medidas físicas, químicas e biológicas da água com medições climatológicas, armazenamento de dados e transmissão destes por meio de telefonia celular (GPRS), via satélite ou por via de radiofrequência. Surge, portanto, como importante ferramenta na gestão de bacias hidrográficas, possibilitando a predição de fenômenos naturais, bem como impactos causados por atividades humanas, tais como eutrofização, poluição e descarga de substâncias tóxicas. Projetos de monitoramento em tempo real surgem como exemplos de novas tecnologias aplicáveis em áreas metropolitanas e utilizadas como uma ferramenta expressiva de controle da qualidade da água. Ao mesmo tempo, o monitoramento em tempo real cumpre um dos paradigmas do século XXI: um gerenciamento integrado e de forma preditiva da bacia hidrográfica. Desta maneira o gerenciamento de reservatórios torna-se mais efetivo e viável (TUNDISI, 2003).

Uma estação de monitoramento em tempo real coleta informações intensivas dos parâmetros pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica ou salinidade, temperatura da água, turbidez e potencial redox, clorofila-a, concentração de cianobactérias, nitrato, amônia e cloretos. Alguns objetivos que podem ser atingidos com a implantação de sistemas de monitoramento da qualidade da água são:

- ✓ Avaliar a qualidade dos corpos de água e a diversidade das concentrações das variáveis de interesse ao longo do tempo;
- ✓ Determinar os tipos de ação necessários para a manutenção da qualidade nos padrões adequados, definidos por lei;
- ✓ Avaliar a efetividade dessas ações.

2 EUTROFIZAÇÃO E CIANOBACTÉRIAS

Atualmente um dos importantes impactos nos ecossistema aquáticos é devido ao processo de eutrofização, principalmente originado de atividades produzidas pelo homem, também denominada de eutrofização cultural, artificial ou antrópica (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011) em contraposição à natural, correspondendo ao envelhecimento normal de um corpo de água. A eutrofização artificial caracteriza-se principalmente pelo aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo produzido por atividades humanas. As principais vias de entrada desses nutrientes são: águas residuárias domésticas e industriais, drenagem superficial de áreas agriculturáveis com contribuição de fertilizantes, erosão do solo e uso excessivo de detergentes. Este processo tem se acelerado muito ultimamente, atingindo a maioria dos ecossistemas continentais e costeiros. Como resultado da eutrofização tem-se modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas do meio, afetando conseqüentemente o nível de produção do sistema. De acordo com Esteves e Meirelles-Pereira (2011) cabe destacar também que essas alterações causam prejuízos econômicos e sociais, tais como: perda de espécies de peixes de valor econômico, aumento de infecções gastrointestinais e, gerando por sua vez efeitos negativos como: aumento de gastos com saúde pública, desvalorização imobiliária de imóveis próximos aos ecossistemas degradados, redução do turismo desse locais e, conseqüentemente, redução da qualidade da vida humana

Vários estudos realizados em diferentes ecossistemas aquáticos brasileiros têm demonstrado o crescente grau de eutrofização nesses ambientes. O rio Cachoeira (Ihéus, Bahia) foi estudado por Lima, et al. (2010) analisando as concentrações de nutrientes no período de um ano, constando-se a eutrofização deste rio, com a exportação de nutrientes para o estuário e águas costeiras podendo comprometer estes ambientes também. Um estudo realizado no Lago Grande de Curuai (Pará) (AFFONSO; BARBOSA; NOVO, 2011) considerando dados de oxigênio dissolvido e clorofila, demonstraram ser este um sistema hipereutrótico e, portanto, não qualificado para abastecimento humano. Resultado semelhante foi obtido por Carvalho Aguiar, Baptista Neto e Rangel (2011) para vários lagos da região de São Gonçalo (Rio de Janeiro), onde detectou severo comprometimento da produção primária por nitrogênio, nível elevado de fósforo e baixos valores de oxigênio causando anoxia em algumas épocas.

Por ocuparem boa parte da extensão do território brasileiro, represas apresentam grande importância e vêm sendo alvo de vários levantamentos limnológicos. Estes, por sua vez, indicam a crescente perda de qualidade da água desses recursos hídricos, principalmente devido às atividades humanas (BARBOSA; RYLANDS; OLIVEIRA, 1993; BICUDO et al., 2007; MOSCHINI-CARLOS et al., 2009).

Quanto às alterações da eutrofização relacionadas com as comunidades aquáticas, pode-se destacar o fitoplâncton. O aumento dos nutrientes, principalmente o fósforo, provoca mudanças na densidade fitoplanctônica e conseqüentemente na produção primária desses ecossistemas. As alterações na comunidade fitoplânctônica são tanto quantitativas como qualitativas, envolvendo nesse caso inclusive a substituição de espécies (BARBOSA et al., 1993; CALIJURI; SANTOS, 1996; CROSSETTI et al., 2008).

Em ambientes com maior grau de eutrofização é comum a formação de florações algais, que se caracterizam por um crescimento explosivo e de curta duração de uma ou poucas espécies de algas, na dependência de condições ambientais favoráveis. Várias espécies de cianobactérias, clorofíceas, euglenofíceas, e dinoflagelados podem florescer em corpos hídricos eutrofizados (MAGALHÃES et al., 2008; WEHR; SHEATH, 2003; MORSE et al., 2011; PHILIPS et al., 2011). As florações de microalgas, ou seja, a produção de densa biomassa produz várias alterações nos ambientes aquáticos, com diversos prejuízos ambientais e econômicos. Uma das principais conseqüências dessa biomassa elevada é a redução da penetração de luz, a qual por sua vez, afeta diretamente outras comunidades, bem como o próprio fitoplâncton, pela redução da sua biodiversidade por competição (KHAN; ANSARI, 2005). Outra conseqüência importante das florações é o aumento muito rápido da matéria orgânica viva, que se decompõe rapidamente após a

degradação do florescimento. Essa matéria orgânica é utilizada por bactérias, causando uma redução de oxigênio dissolvido, principalmente nas camadas inferiores da coluna de água.

Dentre as florações de microalgas, as caracterizadas pelo domínio de cianobactérias estão entre uma das principais consequências da eutrofização. Alguns autores citados por Azevedo e Sant'anna (2006) consideram florações para cianobactérias como ocorrências maiores que 10 mg/m³ de clorofila a, 20.000 células/mL de cianobactérias ou 2 mm³/L de biovolume celular de cianobactéria.

Além dos citados efeitos gerais das florações, no caso das cianobactérias acrescenta-se como grave consequência tanto para a biota como para a saúde humana, a capacidade de várias espécies produzirem toxinas. Estas toxinas são endotoxinas pertencentes a um grupo quimicamente heterogêneo e, portanto, apresentando diferentes propriedades toxicológicas. Essas toxinas podem causar vários problemas à saúde humana, podendo inclusive provocar mortalidade de animais e de seres humanos, quando ingeridas ou mesmo em contato (CARVALHO, 2006). Outra perturbação ligada às florações de cianobactérias é a produção de substâncias organolépticas que causam odor e sabor desagradável à água potável, portanto afetando a qualidade da água para consumo humano.

Diversas pesquisas realizadas no Brasil têm mostrando a ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas por todo o país, inclusive em reservatórios de abastecimento público (YUNES et al., 1992; AZEVEDO et al., 1994; SANT'ANNA; AZEVEDO, 2000). Nas represas Billings e Guarapiranga a presença de cianobactérias tóxicas tem sido detectada principalmente pela CETESB e vários gêneros já foram isolados desses reservatórios (SOUZA; CARVALHO; TRUZZI, 1998; SANT'ANNA; AZEVEDO, 2000; LAGOS et al., 1999). Um estudo mais recente (SANT'ANNA; MELCHER, 2007) mostrou que a Represa Billings é o ambiente mais propício ao desenvolvimento das cianobactérias, devido ao pH elevado, inclusive apresentando a maior biodiversidade dentre os reservatórios do alto Tietê já estudados. Um estudo comparativo realizado nas represas Guarapiranga e Billings confirmou o fato de que a Billings apresenta o maior número de cianobactérias, atingindo a cifra de 67 % de espécies potencialmente tóxicas (BARBOSA; RYLANDS; OLIVEIRA, 1993; CARVALHO et al., 2007).

Moschini-Carlos et al. (2009) avaliaram a qualidade da água do braço Taquacetuba do Complexo Billings tendo como foco também a presença de cianobactérias e produção de cianotoxinas em dois períodos de coleta. Os resultados mostraram a predominância das cianobactérias com formação de florações nas duas coletas, bem com também detectaram a presença das toxinas microcistina e saxotocina. Devido ao risco à saúde humana citado, principalmente em locais próximos a estações de abastecimento de água potável, medidas para o controle de grandes massas de algas tornam-se necessárias. Uma das medidas comumente utilizada no Brasil é a adição de sulfato de cobre. O sulfato de cobre pode ser eficiente em alguns casos, porém seus efeitos são temporários (dias), seu custo é elevado e ainda promove efeitos negativos em outros organismos presentes no ambiente onde é aplicado. Outro efeito negativo, já constatado na represa Billings, é a contaminação de sedimentos e peixes por cobre (MARIANI et al., 2006).

A necessidade de ferramentas de monitoramento de respostas mais rápidas e eficazes tem sido uma demanda frequente devido a vários fatores: os problemas causados pelas florações de cianobactérias, os procedimentos de campo e de laboratório comumente utilizados têm alto custo e longo tempo para processamento e análise, a rápida resposta dos reservatórios aos impactos, como consequência, gerando atraso nas decisões de manejo e gerenciamento dos recursos hídricos.

Uma ferramenta alternativa de monitoramento para agilizar a análise de dados e tomada de decisões é a técnica de sensoriamento remoto. A detecção da biomassa de cianobactérias por sensoriamento remoto é baseada na medida de absorção do pigmento ficocianina, presente somente em concentração considerável neste grupo fitoplanctônico. O sinal de absorção das ficocianinas das cianobactérias é ao redor de 615 nm (BRYANT, 1981) e pode ser detectado em dados de reflectância em corpos de água eutróficos e turvos. A Figura 2 mostra espectros de reflectância de medidas de ficocianina obtidos por (SIMIS et al., 2007) em lagos da Espanha e Holanda. A técnica de sensoriamento remoto é utilizada com sucesso como ferramenta de monitoramento em vários países e em diversos tipos de ambientes aquáticos continentais, tais como reservatórios e lagos

(SIMIS et al., 2007; RANDOLPH et al., 2008; MATHEWS; BERANRD; WINTER, 2010; OBERHOLSTER; BOTHA, 2010; GOMEZ, ALONSO; GARCIA, 2011; POTES et al., 2011). No Brasil ainda é uma técnica pouco utilizada.

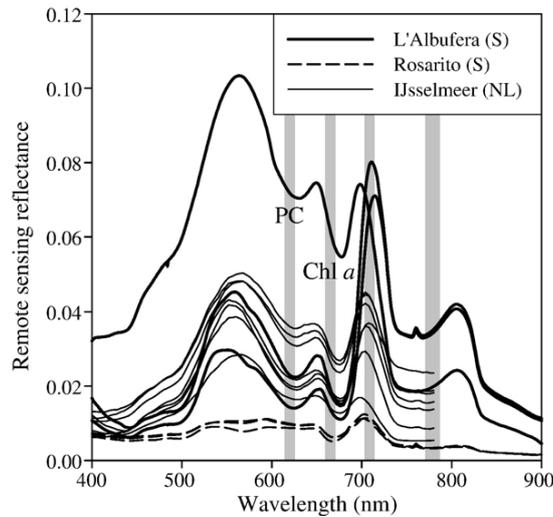


Figura 2: Espectros R_{rs} (sensoriamento remoto por refletância) representando o tipo e a magnitude da variação espectral dos dados de refletância encontrados no conjunto de dados obtidos em dois lagos espanhóis (L'Albufera e Rosarito) e um lago holandês (IJsselmeer). Bandas tipo MERIS usados para obter PC (pigmento de cianobactéria = ficocianina) encontram-se indicados por barras verticais (nos comprimentos de onda de 620, 665, 708,75 e 778,75 nm). Fonte: (SIMIS et al., 2007).

Apesar de o sensoriamento remoto ser uma técnica útil no monitoramento e prevenção de eutrofização e formação de florescimentos, ela não fornece dados de todos os parâmetros ambientais que favoreceram o surgimento desses fenômenos. O monitoramento em tempo real é também uma ferramenta de monitoramento, que coleta de forma intensiva uma grande extensão de parâmetros físicos e químicos, além de monitorar clorofila-a e cianobactérias, por meio do pigmento ficocianina.

O reservatório Billings é alvo de vários impactos ambientais, como despejos de esgotos não tratados, bombeamentos de águas do rio Pinheiros para o combate às enchentes na cidade de São Paulo, grande ocupação desordenada de suas margens, entre outras fontes pontuais e não pontuais de poluição de suas águas. A ação antrópica é sem dúvida a maior causadora de sua eutrofização, como constatado por vários estudos já relatados. Cinco coletas realizadas recentemente entre 2009 e início de 2011 (dados não publicados) mostraram o completo domínio das cianobactérias, com a formação de florações em várias ocasiões, como evidenciado pela Figura 3. Estas evidências mostram a necessidade de um monitoramento extensivo desse reservatório.



Figura 3: Imagem da Represa Billings em dezembro de 2009, com proliferação visível de cianobactérias e poluição. Foto M.T. Sérico e C.S. Freire-Nordi.

3 SITUAÇÃO DO MONITORAMENTO REMOTO EM TEMPO REAL

O monitoramento remoto em tempo real, conhecido pela sigla em inglês RTRM (*real time remote monitoring*) oferece grandes vantagens sobre o monitoramento tradicional. A coleta automática de dados e a disseminação deles baseados na internet (web-based) proporcionam um banco de dados centralizado para uso e análise de todas as partes interessadas (GLASGOW et al., 2004).

O monitoramento contínuo ou em tempo real da qualidade da água em rios, lagos, reservatórios e estuários é uma prática que vem se introduzindo em muitos países que convivem com problemas ambientais, ou mais especificamente, riscos de contaminação das suas águas. Esse tipo de monitoramento permite aumentar significativamente a eficiência dos Sistemas de Vigilância, e reduzir os riscos sanitários, quando a água é utilizada para abastecimento, ou riscos ambientais, no caso mais geral.

De acordo com o Instituto Internacional de Ecologia (IIE), o monitoramento em tempo real representa um grande avanço tecnológico na gestão de águas e possibilita uma avaliação permanente das condições físicas e químicas associadas aos impactos das influências climáticas e das atividades humanas nos recursos hídricos, tais como eutrofização, aumento de material em suspensão na água e remoção de substâncias tóxicas do sedimento. Os impactos dessas atividades que resultam em alterações da condutividade elétrica da água, da concentração de oxigênio dissolvido, turbidez e pH podem ficar muito bem caracterizados quando são realizadas determinações em tempo real e permitem uma resposta rápida das ações de gerenciamento e a correção e minimização dos impactos. O monitoramento em tempo real pode proporcionar economia de milhões de Reais no tratamento de água e no bombeamento de água de qualidade adequada a partir das informações em tempo real.

Glasgow et al. (2004) realizaram a maior revisão sobre monitoramento remoto em tempo real. Entende-se o monitoramento remoto em tempo real pela coleta de dados por sondas com sensores, fixadas em boias ou plataformas posicionadas no seio do corpo d'água ou em sua margem e que transmitem esses dados em tempo real por satélites ou sinal de GPRS para estações receptoras. Estações meteorológicas também podem estar acopladas a esse sistema.

Os avanços tecnológicos atuais dos sensores, dos computadores portáteis e comunicação sem fio (wireless) permitiram aos cientistas adquirir e transmitir um conjunto de dados enquanto ainda estão no campo ou remotamente de uma estação de monitoramento. A incorporação de sondas que medem parâmetros baseados em organismos vivos tem aumentando as possibilidades dos sistemas de monitoramento em responder a uma variedade de parâmetros e contaminantes ambientais.

O monitoramento remoto em tempo real muitas vezes é confundido com a tecnologia conhecida como Sensoriamento Remoto (*Remote Sensing*). Essas duas tecnologias podem ser utilizadas conjuntamente, mas se diferem em alguns aspectos. A Tabela 1 apresenta uma comparação resumida das vantagens e desvantagens do uso das diversas formas de monitoramento, quais sejam aqui definidas como monitoramento tradicional, sensoriamento remoto e monitoramento remoto em tempo real. O monitoramento tradicional compreende o modo de coleta em campo com barco, garrafa de van Dorn, disco de Secchi, redes de zoo e fitoplâncton, dragas para coleta de sedimentos, sondas e outros equipamentos necessários, dependendo do tipo de análise a ser realizada. Ressalta-se que idealmente estas três formas de monitoramento se complementam, pois quando se propõem o monitoramento em tempo real, não se descarta o uso das técnicas tradicionais de monitoramento, assim como a incorporação do sensoriamento remoto, principalmente para a identificação das florações de algas.

3.1 SITUAÇÃO NO MUNDO

Glasgow et al. (2004) realizaram o levantamento mais completo encontrado na literatura sobre o monitoramento remoto em tempo real. Alguns desses sistemas são descritos aqui. Outras fontes bibliográficas são citadas ao longo desse item.

Tabela 1: Comparação entre os monitoramentos tradicional, sensoriamento remoto e tempo real

Tipo de Monitoramento	Vantagens	Desvantagens
Monitoramento Tradicional	Menor desgaste dos equipamentos, por não permanecerem em ambientes agressivos; Procedimentos e técnicas consolidados.	Monitoramento dificultado em períodos noturnos; Menor quantidade de dados coletados; Maior tempo despendido para obtenção do dado e posterior análise;
Sensoriamento Remoto	Tecnologia pode ser aplicada em diversos ramos, como em mapeamentos geológicos e manejo de recursos florestais, oceanográficos, (ventos, circulação oceânica e produtividade dos oceanos)	Dificuldade em obtenção de informações diretas abaixo da superfície; Dados podem ser afetados de acordo com meteorologia; Não há contato dos sensores com o corpo d'água (as medições são feitas à distância);
Monitoramento em Tempo Real	Obtenção de dados contínuos em intervalos reduzidos de tempo; Detecção de alterações bruscas em tempo real, possibilitando a manutenção da qualidade da água; Possibilidade de alarmes; Possibilidade de maior entendimento dos processos ambientais.	Ambiente agressivo reduz o tempo de vida dos equipamentos; Calibração e manutenção dificultadas; Necessidade de análise paralela da consistência dos dados gerados.

Os Estados Unidos é sem dúvida nenhuma o país que mais investe em sistemas de monitoramento remoto em tempo real. Na Carolina do Norte, na foz do Rio Neuse, que compreende a parte sul do Sistema Estuarino Albemarle-Pamlico (APES – *Albemarle-Pamlico Estuarine System*), possui a segunda maior área dentre as áreas estuarinas dos Estados Unidos da América (EPPERLY; ROSS, 1986). A bacia do Rio Neuse possui 6,97 km² que inclui grande parte da área urbana de Raleigh, capital desse estado americano, onde ocorrem extensas atividades agrícolas, especialmente nas suas seções média e inferior (HARNED, 2010). Os resíduos de fertilizantes destes campos geram altas cargas de nitrogênio que, juntamente com outras cargas de origem antrópicas, provocam as florações de dinoflagelados (*Prorocentrum minimum*) nesta região, especialmente no inverno (SPRINGER et al., 2005). Essa área possui um sistema de monitoramento remoto em tempo real (RTRM) com sete plataformas operadas pelo CAAE (*Center for Applied Aquatic Ecology – Centro Aquático Ecológico Aplicado*), identificadas na Figura 4. Os parâmetros monitorados pelo RTRM, que alertam sobre as florações dos dinoflagelados, são principalmente os altos níveis de oxigênio dissolvido, alto pH na parte superior da coluna d'água e as fotografias em infravermelho da área. Estas estações foram estrategicamente posicionadas em locais com consideráveis aportes de carga de nutrientes que incluíam eventos de mortalidade de peixes, déficits de oxigênio e florações de algas.

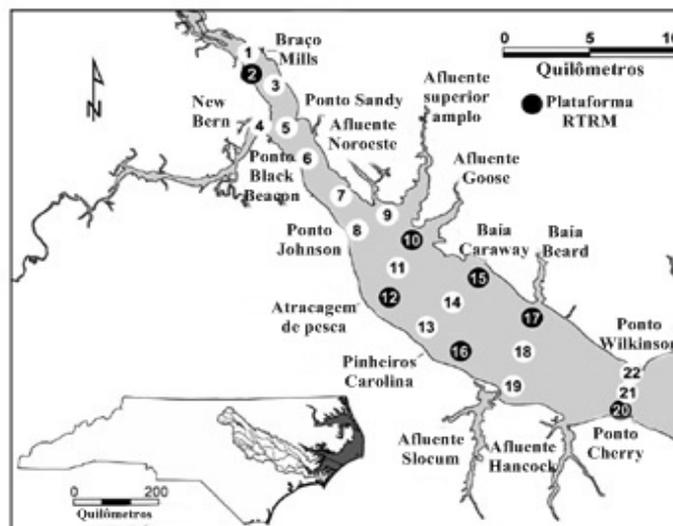


Figura 4: Representação das plataformas com monitoramento em tempo real, identificadas pelos números 2, 10, 12, 15, 16, 17 e 20. Fonte: Springer et al. (2005).

Com essa rede de monitoramento e o gerenciamento de dados em tempo real, o sistema consegue integrar cerca de 40 parâmetros físicos, químicos e biológicos em um sistema de

informações geográficas (GIS), disponibilizando-os às partes interessadas por meio de acesso via internet. As plataformas e os equipamentos ficam acima da linha d'água e monitoram a cada hora os parâmetros meteorológicos (radiação solar incidente, temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e velocidade e direção do vento) e hidrológicos (profundidade da coluna d'água, temperatura da água, salinidade, pH, potencial de oxi-redução, oxigênio dissolvido e turbidez). Três das sete plataformas foram equipadas com sondas de profundidade variável com guincho controlado por um registrador de dados projetado pelo CAAE (patente pendente com instrumentos YSI Yellow Springs, OH), com medição a cada 10 cm. Estas plataformas foram providas com analisador de amostras d'água, os quais coletam amostras para análises da comunidade de fitoplâncton. De acordo com Springer et al. (2005), a qualidade dos dados é alcançada por meio da manutenção e calibração das sondas em intervalos de 3 dias. Os dados em tempo real, assim como outras informações e detalhes estão disponíveis no website <http://www.ncsu.edu/wq> (SPRINGER et al., 2005).

O estuário da baía de Corpus Christi no Texas faz parte do sétimo maior porto dos Estados Unidos da América com numerosas instalações petroquímicas. Por causa de sua importância, em 1992 foi criado o Programa Nacional do Estuário da Baía de Corpus Christi tendo como uma das finalidades a proteção do local, além de dar suporte econômico para o crescimento da região. De acordo com Flint (1985 apud ISLAM; BONNER; PAGE, 2010, p.431-440), a baía cobre uma área de aproximadamente 432,9 km² e está conectada ao Golfo do México por meio de um estreito canal de navegação. Em 1988 foi relatada a primeira ocorrência de hipóxia (concentração de oxigênio dissolvido menor que 2mg/L) no sudeste da baía e nos anos seguintes este episódio tem se repetido durante o verão (ISLAM; BONNER; PAGE, 2010). Para monitorar a qualidade da água e os parâmetros meteorológicos e hidrodinâmicos que interferem na ocorrência da hipóxia, foram instaladas nessa baía três plataformas fixas com sensores. A primeira plataforma (P1) foi posicionada a 100 m da foz da Baía Oso (Figura 5) para conseguir caracterizar o fluxo vindo dessa baía. A segunda plataforma (P2) foi posicionada na parte sudeste da baía, onde a hipóxia foi documentada pela primeira vez e a terceira plataforma (P3) está localizada na parte nordeste da baía, a fim de monitorar os efeitos do canal de navegação (ISLAM; BONNER; PAGE, 2010).

Os dados coletados com estas três plataformas foram utilizados na simulação de um modelo tridimensional para prever a distribuição de oxigênio dissolvido na baía (ISLAM et al., 2008) e o triângulo mostrado na Figura 5 representa a localização do centro onde todas as informações coletadas das plataformas são agregadas, chamado de *Shoreline Environmental Research Facility, SERF*. O sistema fixo robótico mede a variação vertical dos vários parâmetros da qualidade da água em uma boa resolução temporal. O sistema é formado por quatro partes principais: (a) a gaiola que abriga o sensor e os instrumentos; (b) o perfilador, que levanta e abaixa a carga; (c) o *wincube* (computador personalizado); e (d) o CI, sistema responsável por disponibilizar os dados medidos para as partes interessadas em tempo real, como mostra a Figura 6. Essa plataforma inclui um medidor de partículas, um sensor de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura, profundidade e um sensor de flúor. Em cada plataforma também foi instalado um Perfilador Doppler Acústico de Corrente (ADCP), para medir as correntes de água e um sistema de sensor meteorológico foi configurado para medir a velocidade e direção do vento, temperatura do ar e pressão barométrica.

Os autores (ISLAM et al., 2010) realizaram experimentos em laboratório para determinar o tempo de resposta para cada sensor, pois cada um necessita de tempos diferentes para obter uma leitura estável. Por exemplo, o medidor de diâmetro de partículas precisava de aproximadamente 3 s para registrar uma leitura estável, enquanto o sensor de oxigênio dissolvido precisava de 7 s.

As leituras dos parâmetros de qualidade da água, hidrodinâmicos e meteorológicos eram temporariamente guardados no *data logger (wincube)*, os quais eram transmitidos para a estação base (SERF), onde eram agregados e enviados ao servidor por meio das técnicas de telemetria, dependendo da localização da plataforma. Por meio do CI, o qual pode ser descrito como um sistema tecnológico computacional de comunicação que consegue obter dados e publicá-los em tempo real, estas informações eram enviadas para as partes interessadas em tempo real. A visualização dos dados ocorre em uma página web e são atualizados continuamente.

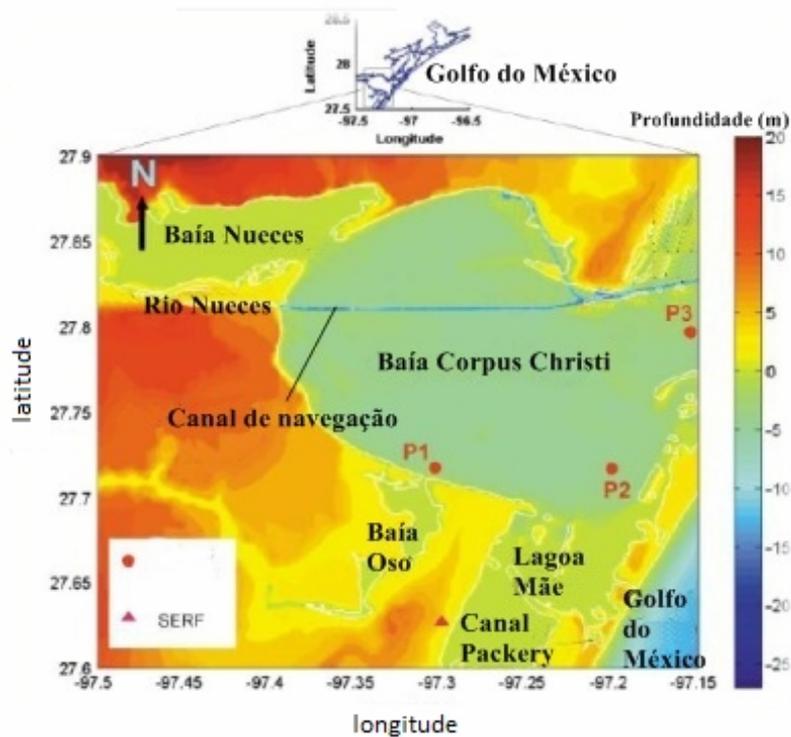


Figura 5: Características da área na Baía Corpus Christi e a localização das três plataformas. Fonte: Islam et al. (2010).

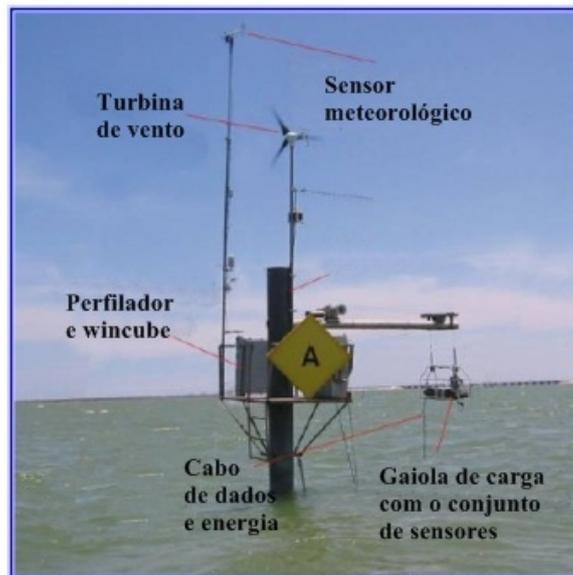


Figura 6: Representação do sistema robótico fixo na Baía Corpus Christi. Fonte: Islam et al. (2010).

Islam et al. (2010) discorrem que a vantagem do monitoramento em tempo real é que se uma anomalia é detectada, os dados são analisados e verifica-se se ela ocorreu em decorrência a um defeito no sensor ou foi proveniente de alguma mudança nas condições atuais da baía.

Na baía Corpus Christi o sistema robótico em cada plataforma está configurado para medir a qualidade da água a cada hora em cinco níveis equidistantes de profundidade na coluna de água. Esse esquema é utilizado para minimizar o consumo de energia, especialmente quando as condições de vento estão baixas. Entretanto, a frequência de amostragem pode ser alterada facilmente de acordo com a disponibilidade de energia. O software instalado no servidor de agregação e comunicação está programado para importar dados da plataforma fixa a cada intervalo de 10 minutos (ISLAM et al., 2010).

A energia é o fator mais crítico para a manutenção de um sistema de monitoramento autônomo de longo prazo. A energia necessária para manter a plataforma é gerada por uma pequena turbina de vento, que é capaz de gerar 38 kWh/mês com uma velocidade de vento de 12 m/h, sendo que a demanda de energia da plataforma é de 27 kWh/mês, quando é realizada uma perfilagem da coluna d'água por hora (ISLAM et al., 2010).

Outro importante ponto a ser considerado são as incrustações, pois podem afetar significativamente o desempenho do sensor. A plataforma fixa robótica foi construída a fim de diminuir os efeitos da incrustação, pois o sistema perfilador faz com que o sensor permaneça em uma posição estacionária acima da água entre os ciclos de medidas. Isso facilita a secagem dos sensores ao entrarem em contato com o ar e por meio da exposição à luz ultravioleta (UV). Esse processo minimiza significativamente o crescimento de microrganismos no sensor, tornando o ciclo de trabalho dele mais longo, por volta de 6 meses (ISLAM et al., 2010).

Nas águas costeiras subtropicais eutrofizadas nos arredores de Hong Kong, o fitoplâncton pode crescer rapidamente a altas concentrações sobre condições ambientais favoráveis (LEE et al., 2005). Esses autores ainda apontam que nem todas as florações de algas são causadas por microalgas, mas também por cianobactérias e agentes protozoários. Em Hong Kong, as florações são causadas por diatomáceas (*Bacillariophyceae*) e dinoflagelados (*Dinophyceae*). Eles descreveram essas florações com concentrações de clorofila *a* entre 20 a 40 mg/m³. Para o estudo dessas florações esses autores implementaram duas estações de monitoramento em tempo real em duas zonas oceânicas e estuarinas de Hong Kong: O Pui Tong em Kat O, na costa nordeste de Hong Kong e Luk Chau Wan na Ilha Lamma, ao sul. Uma das razões importantes da escolha desta área de estudo é que, de acordo com observações dos pescadores locais, a floração de algas ocorrida em 1998 apareceu pela primeira vez na região de Kat O e seguiu em direção ao sul em Lamma Island, onde ocorreu uma mortandade significativa de peixes. O principal objetivo deste projeto foi estudar as mudanças na qualidade da água e características hidrometeorológicas nas estações de campo, a fim de obter mais informações a respeito da dinâmica das algas e da interação dos processos físicos e biológicos na descrição e previsão dessas florações. Os autores não forneceram detalhes sobre a constituição dessas estações de monitoramento. Entendeu-se que elas não eram dispostas sobre boias ou plataformas, mas as amostras de água eram bombeadas e analisadas pelos equipamentos listados na Figura 7. Os dados utilizados nesse estudo foram coletados entre 2000 e 2003.

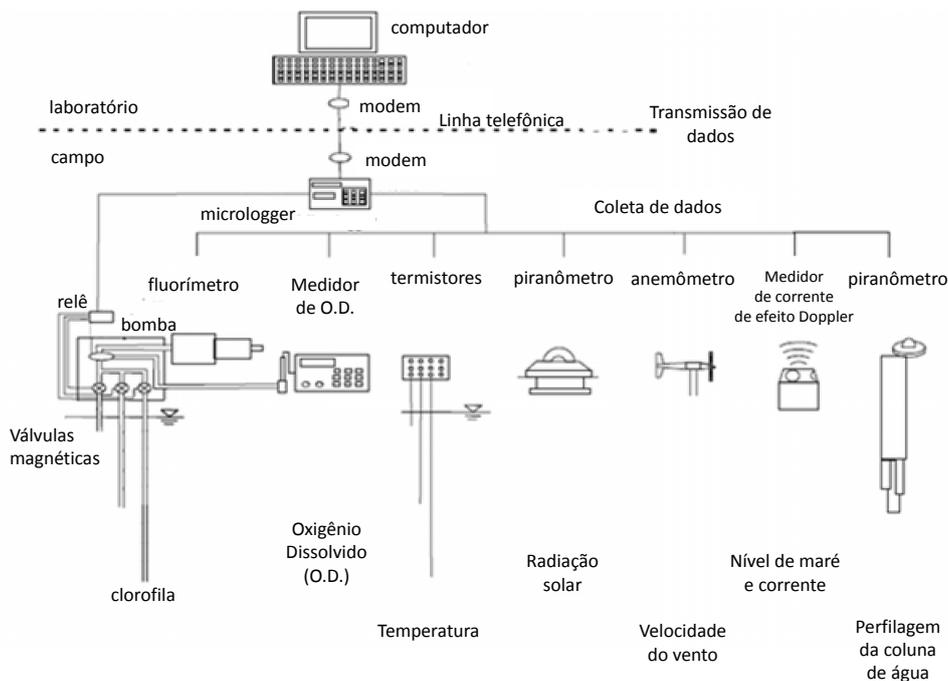


Figura 7: Diagrama esquemático do sistema de monitoramento da costa de Hong Kong. Fonte: Lee et al. (2005).

O programa de monitoramento deste projeto (LEE et al., 2005) consistiu em duas partes: o monitoramento em tempo real de telemetria online e o manual, de amostragem de água a cada duas semanas. A telemetria em tempo real tinha por objetivo a coleta online contínua de dados meteorológicos (intervalo de tempo da ordem de uma hora), informação da água e da qualidade hidrográfica (incluindo dados de clorofila). Já o manual foi criado para complementar as informações sobre a qualidade da água, além de fornecer uma verificação dos parâmetros mais importantes.

O sistema de telemetria foi projetado para um monitoramento contínuo do oxigênio dissolvido (OD) e da dinâmica das algas durante uma floração, além de gerar um alarme sempre que fosse detectada a presença de uma floração (LEE; WU, 1991; LEE; LEE, 1995). Um micrologger serviu como uma unidade central de processamento e tinha como função controlar o funcionamento dos sensores periféricos e registrar os dados obtidos. A telecomunicação estabelecida entre o micrologger e o computador do laboratório foi realizada por meio de um modem conectado ao mesmo computador. A coleta dos dados no laboratório era feita automaticamente a cada manhã ou sempre que uma floração de algas era detectada. O sistema era composto por um fluorímetro para determinação da clorofila, medidor de oxigênio dissolvido, termistores para a determinação da temperatura, um piranômetro para a medição da radiação solar, um anemômetro para a medição da velocidade e direção do vento, um medidor acústico por efeito Doppler para determinação das marés, profundidades e correntes e finalmente uma sonda multiparâmetros (Figura 7).

Os parâmetros analisados, a profundidade de medição e o intervalo de tempo entre as amostragens foram compilados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros medidos pelo sistema de monitoramento contínuo em tempo real na costa de Hong Kong

Parâmetro	Nível de Medição	Intervalo de tempo
Velocidade do vento e direção	3 m acima da superfície do mar	1 h
Temperatura do ar	Nível do mar	1 h
Radiação solar global	Nível do mar	1 h
Radiação fotossintética disponível	Superfície da água	1 h
Nível da maré	Superfície da água e fundo	1 h
Temperatura da água	Superfície, meio, fundo	1 h
	Perfil vertical	6 h
Oxigênio Dissolvido	Superfície, meio, fundo	2 h
	Perfil vertical	6 h
Fluorescência da clorofila	Superfície, meio, fundo	2 h
	Perfil vertical	6 h
Salinidade	Perfil vertical	6 h
pH	Perfil vertical	6 h

Fonte: Lee et al. (2005).

Ainda nesse trabalho, juntamente com o monitoramento de telemetria, amostras de água foram coletadas nas estações de campo e em pontos extremos de cada baía a cada duas semanas. Estes dados coletados foram usados para uma posterior elaboração de modelos matemáticos. Alguns dos parâmetros analisados nas amostras de água foram: concentrações de nutrientes (amônia, nitrato, nitrito, fosfato e silicato), contagem do fitoplâncton e zooplâncton (número de células e composição das espécies), clorofila-a, sólidos em suspensão e profundidade Secchi. Mais ainda, um perfil vertical de salinidade, temperatura, clorofila por fluorescência, oxigênio dissolvido e pH foram medidos com uma sonda multiparâmetros. O grande avanço deste sistema atual é a emissão de um alarme quando uma possível floração de algas é detectada, de modo que a amostragem manual da qualidade da água possa ser realizada para complementar os dados de telemetria. A amostragem manual pode ser mais eficaz, pois consegue focar em parâmetros que a telemetria não consegue medir como, por exemplo, parâmetros relacionados aos nutrientes.

O sistema de telemetria ficou em operação por mais de 4 anos desde 2000 e apresentou resultados bastante satisfatórios. Durante todo este período, os dados de clorofila mostraram claramente que Kat O, uma baía relativamente livre de poluição, frequentemente apresenta

proliferação de algas. Os autores observaram que a dinâmica do fitoplâncton é muito rápida e as florações podem se formar e diminuir na ordem de vários dias até algumas semanas (LEE et al., 2005).

Lee et al. (2005) concluíram que a proliferação de algas nocivas é uma das questões mais importantes no gerenciamento da qualidade da água. No sistema de monitoramento contínuo de telemetria foi possível acompanhar as mudanças de longo e curto prazo na biomassa de algas (por fluorescência da clorofila), oxigênio dissolvido e outras importantes variáveis hidrometeorológicas. O programa de amostragem quinzenal de água também forneceu informações sobre a diversidade das algas e espécies em relação à biomassa, de modo que este poderia ser correlacionado com dados físicos, químicos e biológicos.

O USGS (*U. S. Geological Survey* – Levantamento Geológico dos Estados Unidos da América) fundado em 1879, atualmente é responsável por administrar informações sobre desastres naturais, como terremotos e enchentes, assim como informações sobre os recursos d'água dos EUA, possuindo atualmente mais de 1.600 estações de monitoramento em tempo real (disponível em: http://waterdata.usgs.gov/nwis/current/?type=quality&group_key=NONE).

O USGS fornece dados de monitoramento em tempo real, enviados dos pontos de coleta para a central por meio de satélites, sendo então publicados na internet para consulta pública. As medições de qualidade da água são registradas em intervalos de tempo que variam entre cinco minutos e uma hora, sendo atualizadas em intervalos de quatro horas ou menos.

Os dados publicados na internet podem ser dispostos em gráficos ou em tabelas, conforme a necessidade da parte interessada e no período de interesse. Os principais parâmetros monitorados são: condutividade elétrica, pH, temperatura d'água, turbidez, oxigênio dissolvido, radiação solar, concentração de clorofila, fluorescência e profundidade (tecnologia Doppler acústico). No entanto, nem todos os pontos de coleta possuem dados de todos estes parâmetros. Em se tratando de uma rede de monitoramento extremamente grande, os métodos utilizados para a medição dos parâmetros são os mais diversos possíveis. Para maior detalhamento, como métodos de calibração, manutenção, entre outros, utilizados pelo USGS, consulte o website: <http://water.usgs.gov/owq/Fieldprocedures.html>.

3.2 SITUAÇÃO NO BRASIL

Alguns projetos de estações de monitoramento em tempo real já foram implementados no Brasil. Destacam-se entre eles os sistemas de monitoramento desenvolvidos e operados pelo IEE (Instituto Internacional de Ecologia), como o que opera na represa de Lajeado, ligado ao Instituto Nacional de Ecologia (TUNDISI, 2003) e o sistema de monitoramento em tempo real da região metropolitana de São Paulo, concebido e operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

O IIE - Instituto Internacional de Ecologia (www.fernandosantiago.com.br, s.d.) desenvolveu projeto para monitorar em tempo real, a qualidade da água de reservatórios de abastecimento público, represas e hidroelétricas. Não se localizou a data de desenvolvimento desse projeto. Com esse sistema o IIE garante saber a deterioração da qualidade da água e ainda tomar medidas preventivas evitando problemas para a população e para o meio ambiente. Os autores descrevem ser possível melhorar a qualidade da água e diminuir os custos de tratamento. Um dos produtos desse programa foi denominado SMATER (Sistema de Monitoramento de Água em Tempo Real), produzido pelo pesquisador João Durval Arantes Junior. Instalado em uma plataforma ancorada numa represa (não identificada), o SMATER registrava 11 variáveis como temperatura da água, pH, nutrientes, oxigênio dissolvido, turbidez e clorofila. Esse equipamento utilizava uma sonda multiparâmetros que fazia uma varredura da superfície até uma profundidade de 28 m, a cada 25 cm. Eram fornecidos dados físicos, químicos e biológicos. O IIE (www.fernandosantiago.com.br, s.d.) fornece uma aplicação prática desse sistema. Se uma carga de ácido sulfúrico cair em um manancial monitorado pelo SMATER, os sensores registrarão a mudança química e o operador poderá imediatamente suspender o bombeamento de água. O projeto previa também cenários que

poderiam ocorrer a longo prazo. Na represa de Lajeado, no Rio Tocantins, por exemplo, o sistema avaliaria o que aconteceria com a represa se a população do Estado de Tocantins chegasse a 10 milhões e o esgoto não fosse tratado adequadamente, explicou o presidente do IIE, José Galizia Tundisi. Nesse *website*, afirmava-se que protótipos do SMATER estavam em fase de instalação em Palmas (TO) e em São Carlos, São Paulo e que havia ainda a possibilidade de instalação de um em Barra Bonita, no Rio Tietê.

Atualmente sabe-se que o Instituto Internacional de Ecologia -IIE (www.iie.com.br, s.d.) possui três estações de monitoramento (Figura 8) em tempo real nas represas Billings e Guarapiranga encomendadas pela DERSA para monitorar as obras do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas. Os sistemas são dotados de uma estação meteorológica e uma sonda multiparâmetros com sensores de profundidade, pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez e sólidos totais dissolvidos. De acordo com o site do IIE (www.iie.com.br, s.d.), a sonda multiparâmetros é automaticamente acionada a cada 30 minutos para realizar a leitura ao longo da coluna de água. Os dados climatológicos e da coluna de água são armazenados e transmitidos via GPRS para um servidor de internet e para um servidor de comunicação central, que tem a função de intermediar o tráfego de dados entre o servidor da internet e a rede de telefonia celular e disponibilizar as informações ao Instituto Internacional de Ecologia, à DERSA e à CETESB.

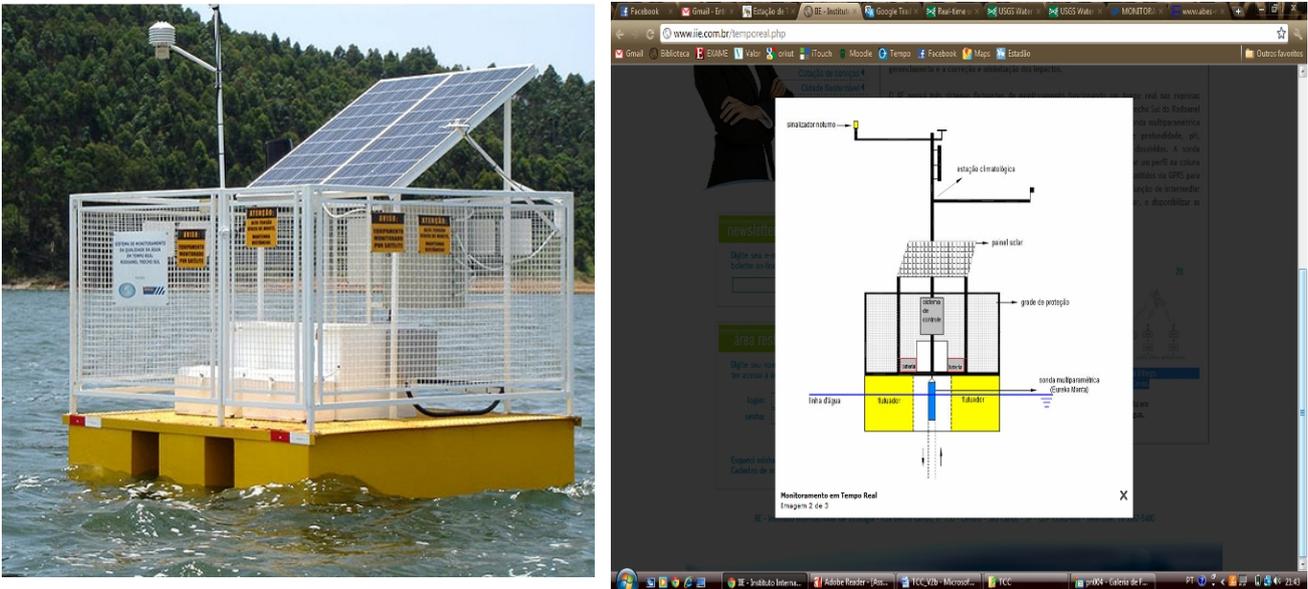


Figura 8: Plataforma de monitoramento em tempo real fundeada na represa Billings, na área de influência direta das obras do Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas. Fonte: www.iie.com.br.

Existe um trabalho publicado utilizando o sistema SMATER de monitoramento em tempo real (TUNDISI et al., 2004) na represa Carlos Botelho em São Carlos, SP (Lobo-Broa) com dados de operação do sistema por 32 dias, mais especificamente entre julho e agosto de 2003, caracterizando o período de inverno. O objetivo deste estudo foi analisar as consequências das frentes frias intermitentes na estrutura vertical do reservatório. Este estudo se justifica, pois os ventos podem provocar diversas alterações nas variáveis físicas, químicas e biológicas, com consequentes distúrbios nas populações do fitoplâncton (PADISAK, 1993). Além disso, os fortes ventos podem promover a aeração da coluna d'água, a suspensão de partículas e diminuir a radiação solar incidente, uma vez que as movimentações das águas aumentam. A Figura 9 apresenta uma foto do sistema SMATER na represa do Lobo (Broa) em São Carlos.

O sistema de monitoramento foi instalado na região mais profunda do reservatório, de aproximadamente 12 metros. A cada 30 minutos os sensores alimentados por um painel solar faziam uma varredura completa na coluna d'água. Os dados obtidos foram correlacionados com informações climatológicas e imagens de satélite. As variáveis coletadas incluíam temperatura da

água, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, nitrato, amônia, clorofila-a, turbidez e potencial redox (oxirredução). Os dados climatológicos obtidos foram radiação solar, temperatura do ar e velocidade e direção do vento. As imagens de satélite foram obtidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) por meio do site www.inpe.br e no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) no site www.cptec.inpe.br. Segundo seus autores, os resultados levantados nesse estudo confirmam o efeito das frentes frias em reservatórios pouco profundos.

De acordo com Tundisi et al. (2004), os efeitos da passagem de frentes frias podem ser generalizados para todos os reservatórios pouco profundos da região sudeste do Brasil. Durante as frentes frias, ocorre mistura na coluna d'água. Quanto mais calma a fase intermediária entre as frentes, há o aquecimento da superfície e a estratificação da coluna d'água. Quando há estratificação, a frequência de florações de cianobactérias, principalmente *Microcystis aeruginosa* ou *Microcystis sp*, aumenta. Com a circulação e mistura, ferro e manganês podem ser liberados depois de um período de condições reduzidas no fundo, promovidas pela estratificação, resultando em aumento de custos de tratamento para abastecimento público.



Figura 9: Plataforma instalada na represa do Lobo (Broa). Fonte: www.canalciencia.ibict.br.

Tundisi et al. (2004) sugerem que os dados levantados pela plataforma podem levar a um modelo preditivo para uso como uma ferramenta de gerenciamento de reservatórios, especialmente aqueles utilizados como mananciais na região metropolitana de São Paulo.

O abastecimento de água potável para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) exige, de acordo com dados de 2008 (WHATELY et al., 2008), uma vazão em torno de 66 m³/s. (FLORES; SORRINI, s.d.) ressaltam que desse total, 99,5% é proveniente de reservatórios superficiais, que em grande parte se localizam em áreas que são atingidas pela mancha urbana da RMSP. Apesar das restrições impostas pela Lei de Proteção de Mananciais, a ocupação das bacias de contribuição desses reservatórios vem ocorrendo de forma descontrolada, comprometendo seriamente a qualidade das suas águas (FLORES; SORRINI, s.d.).

Flores; Sorrini, (s.d.) descrevem ainda que a degradação da qualidade da água ocorre de forma acelerada em alguns reservatórios, tais como Guarapiranga, Rio Grande e Baixo Cotia e de forma menos dramática, mas nem por isso menos preocupante no reservatório Paiva Castro, este último pertencente ao Sistema Cantareira. Excluindo-se os reservatórios localizados em áreas protegidas, como as represas do Alto Cotia e Rio Claro, a tendência é de comprometimento crescente da qualidade da água em todos os reservatórios que abastecem a região metropolitana de São Paulo, em função da pressão por espaço urbano, aliado à falta de uma política integrada e eficaz de uso do solo na região.

Um fator que agrava o monitoramento da forma tradicional é que o período entre uma coleta de amostra e outra é bastante grande, geralmente uma vez por semana, chegando-se até a frequências mensais e, além disso, as amostragens são feitas sempre no período diurno, pela

dificuldade de se coletar amostras, que exigem o uso de barco. Dessa forma, oscilações que ocorrem no período noturno não são detectadas. E essas variações que eventualmente ocorrem no período noturno podem ocasionar significativas alterações na qualidade da água. Um reservatório, embora constituído por uma considerável massa de água, pode sofrer oscilações bruscas de qualidade da água, em função de fenômenos como a inversão térmica, a resolubilização de substâncias presentes nos sedimentos do fundo e variações nictemerais, que são as variações que ocorrem entre o dia e a noite. Em muitos casos, essas alterações podem afetar seriamente a qualidade da água, e se manifestam num período de poucos dias. É necessário, portanto, que o monitoramento tenha capacidade de detectar essas alterações, para que o tratamento da água não seja, ou se for, minimamente afetado (FLORES; SORRINI s.d.). Além disso, conhecendo a qualidade da água bruta ao longo da coluna d'água pode-se, se houver planejamento para isso, alterar a profundidade de captação, amostrando água de melhor qualidade, ou mesmo decidindo pela suspensão temporária de captação. Estes procedimentos permitem redução no custo de tratamento e pode oferecer maiores garantias do ponto de vista de saúde pública.

Em função dos fatores citados no parágrafo anterior, a Sabesp iniciou no final dos anos 90¹ o monitoramento em tempo real dos reservatórios da região metropolitana de São Paulo (RMSP). Os reservatórios onde foram instaladas as chamadas unidades de monitoramento remoto (UMR) são Guarapiranga, Billings, Rio Grande e Taiacupeba. A Figura 10 apresenta a posição dessas estações de monitoramento da Sabesp. No início do projeto eram 10 estações remotas, mas sabe-se hoje que nove estão em operação. As atualmente em operação estão posicionadas na Guarapiranga (3 UMR's), na Billings (4 UMR's), no reservatório Rio Grande (1 UMR) e uma UMR na represa Atibainha. A Sabesp possui ainda 5 estações fixas de monitoramento em rios, nos sistemas de abastecimento do Baixo Cotia (1 estação) e no Cantareira (4 estações fixas). O objetivo básico dessa rede de monitoramento dá uma pista da manutenção estratégica dessas estações. A Sabesp pretendia com esse sistema de monitoramento identificar fenômenos que provocam alterações bruscas na qualidade da água e que podem ser detectados a tempo de prevenir o tratamento, além de ampliar significativamente o conhecimento sobre o comportamento do reservatório, em termos da qualidade da água, permitindo dirigir melhor o monitoramento de rotina (não-contínuo) para períodos e áreas críticas, resultando em uma redução da quantidade de amostras, e, portanto, numa redução equivalente nos custos desse monitoramento (FLORES; SORRINI, s.d.)

A estação de monitoramento remoto (UMR) da Sabesp está instalada em boia náutica (Figura 11). Dependendo da profundidade do local são instaladas sondas multiparâmetros na superfície, outra no meio e uma no fundo da coluna d'água. Se a coluna não é profunda, são posicionadas apenas as sondas na superfície e no fundo. As UMR's realizam medições a cada 30 minutos e analisam os parâmetros pH, temperatura, condutividade elétrica, potencial de oxirredução (potencial redox), turbidez e concentração de oxigênio dissolvido. Esses dados são armazenados em dataloggers e transmitidos via GPRS para uma central na Sabesp em intervalos de tempo programados (TSUTIYA, 2004). O sistema foi concebido para operar automaticamente com a supervisão direta de técnicos da Sabesp. Existe ainda uma unidade de recepção de dados que mantém programa gerenciador capacitado para a operação automática ou manual do sistema, permitindo receber dados das estações remotas correspondentes, a transferência automática dos dados via linha telefônica celular para a Unidade Central de Recepção e a visualização gráfica dos dados válidos das últimas 24 horas, das unidades remotas do sistema correspondente. Na Unidade Central de Recepção também é mantido um programa gerenciador capacitado para a operação automática ou manual do sistema, permitindo consultar os dados por parâmetro monitorado, data ou período e também visualizar graficamente os dados. Finalmente essa Unidade Central realiza a comunicação automática com as Unidades de Recepção de dados para a obtenção de dados em situação de alarmes e mantém o banco de dados central do sistema (FLORES; SORRINI, s.d.).

Existem indicadores que permitem avaliar a situação potencial de alterações na qualidade da água num reservatório. É o caso do oxigênio dissolvido (OD), que está relacionado com a

¹ não se localizou na literatura a data exata do início dessas atividades - nota dos autores.

ressolubilização de substâncias a partir do sedimento de fundo. Baixos teores, ou ausência, de OD no fundo podem acarretar esse fenômeno de ressolubilização. Um monitoramento contínuo do teor de OD no fundo, então, permite detectar situações potenciais de alteração na qualidade da água, a tempo de prevenir a área de tratamento ou, se houver essa possibilidade, tomar medidas de reaeração artificial no fundo (FLORES; SORRINI, s.d.).

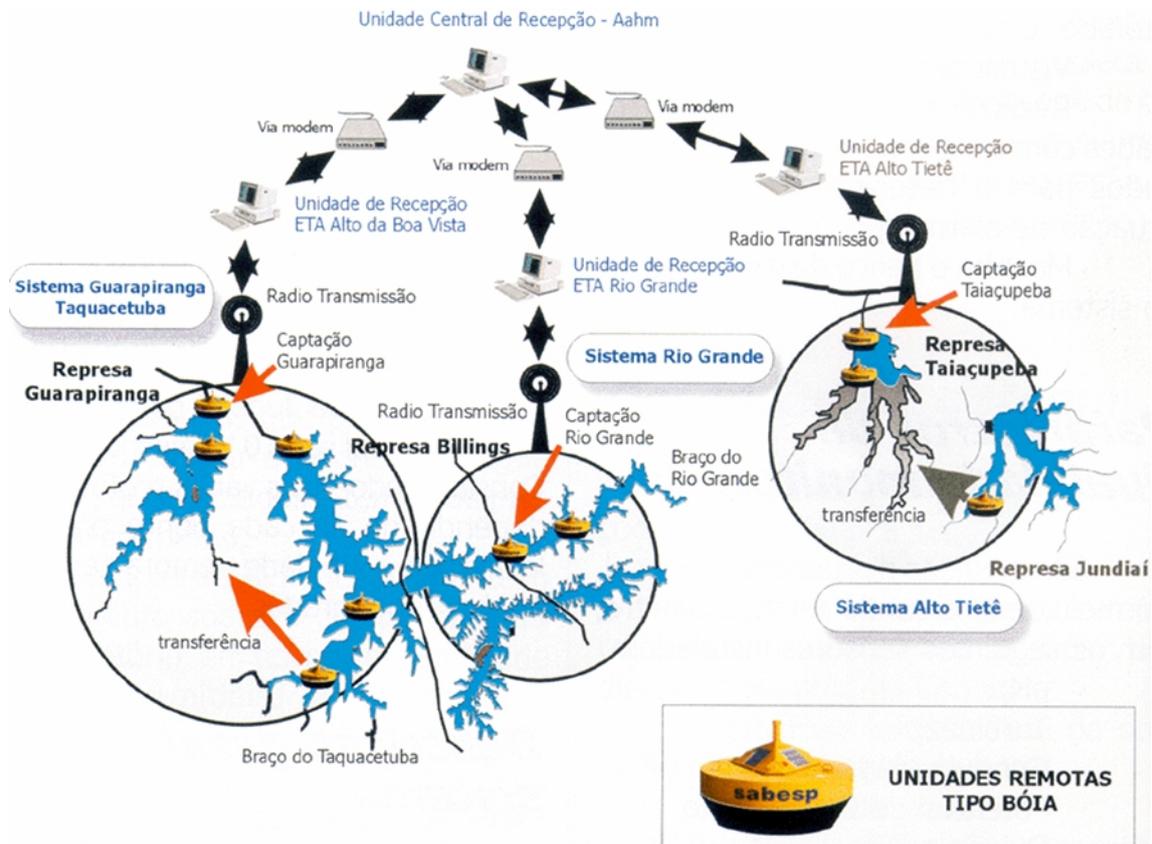


Figura 10: Unidade de monitoramento em tempo real da Sabesp na região metropolitana de São Paulo. Fonte: Flores e Sorrini (s.d.).



Figura 11: Unidade remota de monitoramento (UMR) da Sabesp.

A Sabesp se preocupa com a intensa proliferação de algas nos reservatórios de água, principalmente pelo aspecto relacionado às questões de saúde pública, além do aumento dos custos de tratamento causados por florações de cianobactérias. A Billings é um dos mananciais de captação de água da região metropolitana e seu entorno sofre com o processo de urbanização descontrolado e sem infraestrutura adequada, principalmente de coleta e transporte de esgoto para

estações de tratamento. Além disso, o bombeamento, mesmo que intermitente, das águas do rio Pinheiros para a Billings leva uma grande quantidade de matéria orgânica, nutrientes, inóculos algais e poluentes para esse manancial. A soma desses fatores faz com que proliferem nesse reservatório grandes quantidades de bactérias, destacando-se as cianobactérias. Essas cianobactérias podem lançar substâncias na água que causam gosto e odor, além de toxinas que podem afetar a saúde humana se não forem adequadamente removidas no tratamento de água.

Em consequência de todos os fatores citados e em função de um dos objetivos da rede de monitoramento da Sabesp - maior entendimento dos processos de florações de algas nos reservatórios da região metropolitana de São Paulo – os autores desse capítulo, iniciaram na Unifesp, campus Diadema o projeto de pesquisa intitulado: “Monitoramento intensivo de reservatórios da região metropolitana de São Paulo, com ênfase nas cianobactérias e sua correlação com parâmetros físicos e químicos: o caso da Billings”. O objetivo desse projeto é estudar o comportamento desse ambiente com medição de parâmetros físicos, químicos e biológicos em intervalos reduzidos de tempo. O projeto aprovado (Fapesp, PITE, processo N° 2010/50738-8) com financiamento da FAPESP, Sabesp e Unifesp, em fase de execução, permitirá operar uma estação de monitoramento intensivo, remoto e em tempo real em um braço da represa Billings no município de Diadema, próximo ao campus Diadema da Unifesp.

3.4 ESTAÇÃO MONITORAMENTO INTENSIVO (EMI) DA BILLINGS EM DIADEMA, SP

O posicionamento dessa estação foi escolhido essencialmente em função do objetivo do monitoramento, que é o entendimento das variáveis envolvidas no desencadeamento das florações de cianobactérias, mas outros aspectos foram fundamentais: a proximidade do campus Diadema da Unifesp, existência de sinal de telefonia celular, segurança contra vandalismo e facilidade de acesso (Figura 12).



Figura 12: Localização da estação de monitoramento da Unifesp na Billings, em Diadema, SP.

A EMI (Figura 13), em operação preliminar (outubro de 2013), é constituída por duas sondas multi-parâmetros acopladas com sensores para monitoramento intensivo e em tempo real das seguintes variáveis: temperatura, pH, potencial de oxirredução (potencial redox ou ORP), condutividade elétrica, concentração de oxigênio dissolvido por sensor ótico, turbidez, concentrações de nitrato, amônia, cloretos, clorofila-a e cianobactérias. Esses sensores são da marca Hach Hydrolab DS5X. Além dos sensores físicos e químicos, há também os meteorológicos de radiação solar global, radiação fotossintética ativa, sensor de precipitação atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa e pressão barométrica. A estação de monitoramento é constituída de um sistema de perfilagem que fará uma varredura vertical dos parâmetros a cada hora na coluna d'água. A medição vertical será a cada metro de profundidade, desde a superfície até o fundo do

reservatório. Esse sistema de perfilamento ainda está em fase de testes. A estação denominada Estação de Monitoramento Intensivo (EMI) é alimentada por um painel solar, que alimenta as sondas, o sistema de perfilagem, o sistema de armazenamento e transmissão de dados, além da sinalização náutica. Na região de instalação da estação de monitoramento há grande variação de sinal GPRS e por isso há ocasionalmente interrupção na transmissão dos dados.

Paralelamente aos dados coletados pela EMI são realizadas mensalmente coletas de água com objetivo de analisar qualitativa e quantitativamente o zooplâncton, fitoplâncton e nutrientes na água. Nesse contexto, outra finalidade da aquisição desse conjunto de dados é fornecer subsídios para proposição de medidas de manejo e recuperação ambiental utilizando técnicas de biorremediação, que irão beneficiar e proteger a qualidade da água, de forma a garantir a integridade dos recursos naturais, e conseqüentemente sua exploração sustentada, com a vantagem adicional de economia de recursos financeiros.



Figura 13: Estação de monitoramento intensivo (EMI) da Unifesp, campus Diadema.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento intensivo, remoto e em tempo real já é uma realidade em muitos sistemas de monitoramento espalhados pelo mundo e em situações pontuais no Brasil. Essa ferramenta é mais uma opção de monitoramento, que engloba toda a dinâmica do sistema aquático, pois os dados são coletados em intervalos reduzidos de tempo e incluem as variações nictemerais, diárias, mensais e anuais, quando o sistema é operado ininterruptamente. Contudo, essa forma de monitoramento não deve ser utilizada isoladamente. Há que se fazer uso das técnicas tradicionais de monitoramento e ainda pode-se associá-las ao sensoriamento remoto.

O monitoramento intensivo se constitui uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos, auxiliando a tomada de decisões, ainda mais em situações de regiões metropolitanas densamente povoadas, onde as pressões de degradação ambiental são extremamente velozes e causando impactos diretos na qualidade da água para abastecimento. Portanto, contribui com a implantação de medidas de manejo e recuperação ambiental direcionada a cada evento específico, de forma a garantir a integridade dos recursos naturais, e conseqüentemente sua exploração sustentada, com economia de recursos financeiros.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, A. G.; BARBOSA, C.; NOVO, E. M. L. Water quality changes in floodplain lakes due to the Amazon River food pulse; Lago Grande do Curual (Pará). **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 3, p. 601-610, 2011.

- ARTIOLA, J. F.; PEPPER, I. L.; BRUNSSEAU, M. **Environmental Monitoring and Characterization**. San Diego, California: Elsevier Academic Press, 2004. 410 p.
- AZEVEDO, M. T. D. P.; SANT'ANNA, C. L. Morfologia e reprodução. In: SANT'ANNA, C. L. et al. **Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. cap. 2.
- AZEVEDO, S. M. F. O. et al. First report of microcystis from a Brazilian isolate of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. **Journal of Applied Ecology**, p. 261-265, 1994.
- BARBOSA, F. A. R.; RYLANDS, A. B.; OLIVEIRA, S. J. Drastic decrease in algal diversity caused by human impact on an urban lake in southeast Brazil. **Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, p. 261-265, 1993.
- BICUDO, F. A. R. et al. Undesireble side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. **Freshwater Biology**, p. 1120-1133, 2007.
- BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, ALDO C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 717.
- BRUNS, D.; WIERSMA, G. Conceptual basis of environmental monitoring systems: a geospatial perspective. In: WIERSMA, G. **Environmental Monitoring**. Boca Raton: CRC Press, 2004.
- BRYANT, D. A. The photoregulated expression of multiple phycocyanin species. **European Journal of Biochemistry**, p. 425-429, 1981.
- CALIJURI, M. C.; SANTOS, A. C. A. Short-term changes in the Barra Bonita Reservoir (São Paulo, Brazil): emphasis on the phytoplankton communities. **Hydrobiologia**, p. 163-175, 1996.
- CARVALHO AGUIAR, V. M.; BAPTISTA NETO, J. A.; RANGEL, C. M. Eutrophication and hypoxia in four streams discharging in Guanabara Bay, RJ, Brazil, a case study. **Marine Pollution**, p. 1915-1919, 2011.
- CARVALHO, L. R. Cianobactérias. In: SANT'ANNA, C. L. et al. **Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. cap. 3, p. 9-18.
- CARVALHO, L. R. et al. Cyanobacterial occurrence and detection of microcystin by planar chromatography in surface water of Billings and Guarapiranga reservoir. **Revista Brasileira de Botânica**, p. 141-148, 2007.
- CEYHUN, Ö.; YALÇIN, A. Remote sensing of water depths in shallow waters via artificial neural networks. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 89, p. 89-96, 2010.
- CROSSETTI, L. O.; BICUDO, D. C.; BICUDO, C. E. M. Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a shallow urban tropical eutrophic reservoir, Garças Reservoir, over 8 years. **Hydrobiologia**, p. 91-105, 2008.
- EPPERLY, S. P.; ROSS, S. W. **Characterization of the North Carolina Pamlico-Albermale estuarine complex**. Washington: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Southeast Fisheries Center, 1986.
- ESTEVES, F. A.; MEIRELLES-PEREIRA, F. Eutrofização artificial. In: ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 27, p. 625-655.
- FLINT, R. W. Long-term estuarine variability and associated biological response. **Estuaries**, p. 158-169, 1985.
- FLORES, A. P.; SORRINI, E. Monitoramento em tempo real da qualidade da água dos mananciais da região metropolitana de São Paulo (RMSP). Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v16/MONITORAMENTO.htm>>. Acesso em: 27 out. 2011.
- GLASGOW, H. B. et al. Real-time remote monitoring for water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, p. 409-448, 2004.

GOMEZ, J. A. D.; ALONSO, C. A.; GARCIA, A. A. Remote sensing as a tool for monitoring water quality parameters for Mediterranean Lakes of European Union water framework directive (WFD) and as a system of surveillance of cyanobacterial harmful algae blooms (SCyanoHABs). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 181, n. 1-4, p. 317-334, Oct. 2011.

HARNED, D. North Carolina Water Science Center, 2010. Disponível em: <<http://nc.water.usgs.gov/projects/albe/SW.html>>. Acesso em: 8 out. 2011.

INSTITUTO Internacional de Ecologia. Disponível em: <<http://www.iie.com.br/temporeal.php>>. Acesso em: 27 out. 2011.

ISLAM, M. S. et al. A mechanistic dissolved oxygen model of Corpus Cristi Bay to understand critical processes causing hypoxia. **Quebec Technical Program**, p. 15-18, 2008.

ISLAM, M. S.; BONNER, J. S.; PAGE, C. A. A fixed robotic profiler system to sense real-time episodic pulses in Corpus Christi Bay. **Environmental Engineering Science**, p. 431-440, 2010.

KHAN, F. A.; ANSARI. Eutrophication: an ecological vision. **Botanical Review**, p. 449-482, 2005.

LAGOS, N. et al. First evidence of paralytic shellfish toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*, isolated from Brazil. **Toxicon**, p. 1359-1373, 1999.

LEE, H. S.; LEE, J. H. W. Continuous monitoring of short term dissolved oxygen and algal dynamics. **Water Research**, p. 2789-2796, 1995.

LEE, J. H. W. et al. Real time observations of coastal algal blooms by an early warning system. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, n. 65, p. 172-190, 2005.

LEE, J. H. W.; WU, R. S. S.; CHEUNG, Y. K. Forecasting of dissolved oxygen in marine fish culture zone. **Journal of Environmental Engineering**, v. 117, n. 6, p. 816-833, 1991.

LIMA, M. C. et al. Export and retention of dissolved inorganic nutrients in the Cachoeira River, Ilheus, Bahia, Brazil. **Journal of Limnology**, p. 138-145, 2010.

MAGALHÃES, E. M. D. et al. Estuarine Lagunar complex Mundau/Manguaba lagoons. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FICOLOGIA E SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE ALGAS NOCIVAS, 11., Alagoas, 2008. **Anais...** Alagoas, 2008. p. 167-185.

MARIANI, C. F.; et al. Biota and water quality in Riacho Grande Reservoir and Billings Complex (São Paulo, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensis**, p. 267-280, 2006.

MATHEWS, M. W.; BERANRD, S.; WINTER, K. Remote sensing of cyanobacteria-dominant algal blooms and water quality parameters in Zeekovlei, a small hypertrophic lake, using MERIS. **Sensing of Environment**, p. 2070-2087, 2010.

MONITORAMENTO de água de reservatórios. Disponível em: <<http://www.fernandosantiago.com.br/monitor.htm>>. Acesso em: 29 out. 2011.

MORSE, R. E. et al. Environmental and physical controls on the formation and transport of blooms dinoflagellate *Cochlodium polykrikoides* Margalef in the lower Chesapeake Bay and its tributaries. **Estuaries and Coasts**, p. 1006-1025, 2011.

MOSCHINI-CARLOS, V. S. et al. Cyanobacteria and cyanotoxin in the Billings Reservoir (São Paulo, SP, Brazil). **Limnetica**, 2009.

OBERHOLSTER, P. J.; BOTHA, A. M. Use of remote sensing and molecular markers to detect toxic cyanobacterial hyperscum crust: a case study on Lake Hartbeespoort, South Africa. **African Journal of Biotechnology**, p. 8791-8799, 2010.

PADISAK, J. The influence of different disturbance frequencies on the species richness, diversity and equitability of phytoplankton in shallow lakes. **Hydrobiologia**, n. 249, p. 135-156, 1993.

- PHLIPS, E. J. et al. Scales of temporal and spatial variability in the distribution of harmful algae in the Indian River Lagoon, Florida, USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 89, p. 89-96, 2010.
- PORTAL de Divulgação Científica e Tecnológica. Disponível em: <<http://www.canalciencia.ibict.br/pesquisa/0166-Monitoramento-qualidade-da-agua-em-reservatorios.html>>. Acesso em: 29 out. 2011.
- POTES, M. et al. Remote sensing of water quality parameters over Alqueva Reservoir in the south of Portugal. **International Journal of Remote Sensing**, p. 3373-3388, 2011.
- PSILOVIKOS, A. Contribution of monitoring in sustainable management and prevention of environmental hazards in the transboundary river Nestos. The perspective application of directive 2000/60. **Hydrotechnica**, p. 87-102, 2005.
- RANDOLPH, K. et al. Hyperspectral remote sensing of cyanobacteria in turbid productive water using optically active pigments, chlorophyll a and phycocyanin. **Remote Sensing of Environment**, n. 112, p. 4009-4019, 2008.
- SANT'ANNA, C. L.; MELCHER, S. S. Planktic cyanobacteria from upper Tietê basin reservoir, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, p. 1-17, 2007.
- SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P. Contribution to knowledge of potentially toxic cyanobacteria from Brazil. **Noca Heringa**, p. 359-385, 2000.
- SIMIS, S. G. H. et al. Influence of phytoplankton pigment composition on remote sensing of cyanobacterial biomass. **Remote Sensing of Environment**, p. 414-427, 2007.
- SOUZA, R. C. R.; CARVALHO, M. C.; TRUZZI, A. C. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) dominance and contribution to the knowledge to the Rio Pequeno Arm, Billings Reservoir, Brazil. **Environmental Toxicology Water Quality**, p. 73-81, 1998.
- SPRINGER, J. J. et al. Use of a real-time remote monitoring network (RTRM) and shipborne sampling to characterize a dinoflagellate bloom in the Neuse Estuary, North Carolina, USA. **Harmful Algae**, p. 533-551, 2005.
- TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: enfrentando a escassez**. 2. ed. São Carlos: Rima/IEE, 2003.
- TUNDISI, J. G. et al. The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) Reservoir to the passage of cold fronts as reflect by physical, chemical, and biological variables. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, n. 1, p. 177-186, fev. 2004.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Integration of research and management in optimizing multiple uses of reservoirs: the experience in South America and Brazilian case studies. **Hydrobiologia**, n. 500, p. 231-242, 2003.
- WEHR, J. D.; SHEATH, R. G. **Freshwater algae of North America: ecology and classification**. San Diego: Academic Press, 2003.
- WHATELY, M.; BLAETH, F.; WEIS, B. **Águas na metrópole: o risco da escassez**. Altamira: Instituto socioambiental, 2008. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/nsa/direto/direto_html?codigo=2008-02-12-112740>. Acesso em: 27 out. 2011.
- YUNES, J. S. et al. **Efeito do balanço de nutrientes e fatores físicos na ocorrência de florações de cianobactérias**. In: ENCONTRO DE ECOTOXICOLOGIA, 2., Rio Grande, 1992. **Resumos...** Rio Grande: Fundação Universidade Rio Grande, 1992.