

REGISTRO CONTÍNUO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA ACOMPANHADO POR VARIÁVEIS AMBIENTAIS CONTRIBUINDO À FORMAÇÃO DE SISTEMAS DE ALERTA DE EVENTOS NATURAIS E EXTREMOS EM SISTEMAS COSTEIROS: DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO DE MEDIDA DO NÍVEL DA ÁGUA COM BAIXO CUSTO

Carolina Gomêz-Pérez

Elisabete S. Braga

RESUMO

Este trabalho foi motivado pelas consequências de eventos extremos, como a alteração do nível da água em diferentes locais devido às mudanças climáticas, tendo como efeitos as inundações e o aumento do nível do mar; assim, verificou-se a necessidade de desenvolvimento de equipamento mais acessível e com boa precisão para ser instalado em diferentes locais, de modo a auxiliar o monitoramento de áreas vulneráveis ou serem instalados em pontos estratégicos para acompanhamento

da elevação do nível do corpo d'água. Neste estudo, aplicaram-se esforços no desenvolvimento de um equipamento para medir a elevação de corpos d'água de modo contínuo. Para testes e conhecimento das propriedades ambientais que acompanham a variação do nível da água, escolheu-se como área de estudo uma zona costeira sujeita à variação de maré, como o complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP), de modo a facilitar a mensuração e a aferição do equipamento e, ao mesmo tempo, houve oportunidade de acompanhar as oscilações das variáveis ambientais como temperatura, oxigênio dissolvido, nutrientes, acompanhando a variação do nível da água em dois pontos do complexo sistema.

Palavras-chave: Maré; Qualidade da Água; Tecnologia; Medidor de Nível da Água; Monitoramento Ambiental.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho fez parte do desenvolvimento da dissertação de mestrado intitulada “Desenvolvimento de equipamento de baixo custo para registro contínuo de variação do nível da água contribuindo à formação de sistemas de alerta de eventos naturais e extremos – Estudo de caso complementado por variáveis ambientais em Cananéia (SP-Brasil)”, defendida pelo primeiro autor no PROCAM em 2019, sob a orientação do segundo autor.

Nos últimos anos, têm-se evidenciado mudanças climáticas a nível mundial ocorrendo em um ritmo intensificado, associadas ao crescimento populacional e ao aumento da demanda e uso de energia e alimentos, de modo que o planeta tem sofrido alterações nos ciclos naturais para poder atender a tal demanda. Com isso, existem sinais dessas alterações ocorrendo, como o aumento na frequência de eventos extremos. A elevação da temperatura média do planeta, o aumento na frequência de inundações, os períodos de seca prolongados, a intensificação das tempestades e o aumento do nível do mar, entre outros, são aspectos que têm chamado a atenção mundial, os quais vem sendo observados desde 1950 segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014).

Diversos trabalhos têm demonstrado a realidade que estamos enfrentando nos dias atuais. O aumento do nível do mar pelo derretimento das geleiras está mais acelerado ao redor do mundo. Uma pesquisa publicada no *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS) calcula que para o ano 2100 o ritmo do aumento anual do nível do mar pode mais do que triplicar (BAMBER et al., 2018). Ao nível mundial, as inundações constituíram o desastre natural com maior ocorrência no período de 1995 a 2015, tendo custos

enormes, afetando a 2,3 bilhões de pessoas e matando 157.000 (UNISDR; CRED, 2015, p. 5). Em termos de desastres naturais, as regiões costeiras também se inserem no conjunto das mais vulneráveis, pois estão sujeitas a tempestades cada vez mais recorrentes e intensas.

As pesquisas da UNISDR e CRED (2015) sugerem que o controle de inundações deveria ser uma preocupação humanitária, dando prioridade às medidas de mitigação de custo-benefício em regiões pobres com alto risco de inundações recorrentes.

Segundo o MMA, “atualmente, as regiões costeiras englobam menos de 20% da superfície do planeta, mas acomodam mais de 45% da população humana; hospedando 75% das grandes cidades com mais de 10 milhões de habitantes e produzindo cerca de 90% da pesca global” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007, p. 101). As atividades econômicas das regiões costeiras, como a pesca e a agricultura, também estão em risco com as mudanças na vegetação, na temperatura e na qualidade da água. É calculada, por exemplo, uma diminuição no potencial máximo de captura da pesca de até 1,5 bilhões de toneladas por ano (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2018)

No setor agrícola, chuvas torrenciais e enchentes podem ser mais prejudiciais do que secas prolongadas, devido ao fato de que podem gerar anoxia ou doenças nas raízes da plantação (POSTHUMUS et al., 2009). O aumento de precipitação extrema nas regiões que se encontram perto de corpos hídricos pode também gerar o processo de lixiviação, que acontece quando os nutrientes do solo são transportados pelo escoamento das chuvas intensas. Duas consequências importantes acontecem com isso: os solos perdem nutrientes essenciais, e esses nutrientes chegam nos rios, nos lagos e nos oceanos afetam a qualidade da água e podem promover a eutrofização no ecossistema com o “florescimento” de algas nocivas e o desenvolvimento da hipóxia nas águas.

Webb et al. (2013) apresentam como fator-chave para determinar a vulnerabilidade das áreas costeiras o aumento do nível do mar e a capacidade da elevação da superfície do solo para acompanhar o aumento da elevação do nível do mar. Cahoon e Guntenspergen (2010) descrevem a importância de estudar os nutrientes e os valores ambientais na qualidade da água e o acompanhamento da variação de nível do corpo hídrico para a determinação dessa capacidade do ecossistema para aumentar a elevação da superfície do solo.

Durante anos, muitos estudos vêm tratando de temas voltados à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, mas existem muitas evidências de que o planeta está sendo muito impactado pelos efeitos delas, e os dados científicos

atuais apontam que as condições climáticas podem se agravar ainda muito mais (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2018). Considerando o aumento da frequência e da intensidade das alterações causadas pelas mudanças climáticas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013), também precisamos pensar em ações de adaptação e mitigação aos impactos dessas mudanças climáticas, que não só afetam o nível e o ciclo da água, mas também o ciclo dos elementos, alterando seu aporte ao sistema hídrico e os processos em que estão envolvidos, como é apontado por muitas variáveis ambientais e, principalmente, pelo ciclo biogeoquímico dos nutrientes.

Assim, o acompanhamento não só do nível da água, mas também da carga de nutrientes é importante, pois isso tem repercussões na segurança e na saúde das pessoas e impactos nas atividades econômicas, como o turismo, a pesca e a agricultura, que estão ligadas a qualidade da água e seus ciclos regionais.

O litoral sul do estado de São Paulo, sobretudo as regiões de Cananéia e Iguape, possui um índice pluviométrico anual alto (>3.000 mm) (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, 2016, pp. 60-61). No caso da região norte, o histórico de escavação do Canal do Valo Grande e sua erosão aumentou a vazão de água para o sistema estuarino, ocorrendo muitos casos de inundação na região em função das chuvas, desse aporte de água.

Finalmente, registra-se que entramos na década dos oceanos (2021-2030), declarada pela UNESCO (MATOLA, 2017), de modo que os estudos voltados aos sistemas hídricos são intensamente recomendados.

O custo para implantação de sistemas ou redes de segurança que possam dar alertas de alterações ambientais tem muita ligação com o custo dos equipamentos, muitos deles importados, com instalação e manutenção para alimentar redes de dados. Diante das mudanças climáticas e dos efeitos regionais que estão ocorrendo, o investimento em implantação de pontos de monitoramento confiáveis, com acesso remoto e com custo relativamente baixo, torna-se uma necessidade que pode salvar muitas vidas e preservar a economia de uma região. Outras recomendações paralelas devem ser feitas, geradas por protocolos mais amplos, porém as ações localizadas devem ser iniciadas e sair do planejamento.

Certamente, cada estado deve ter um planejamento de segurança civil implantado e necessitando de implementação. A pesquisa científica, associada ao desenvolvimento tecnológico, deve contribuir para essa evolução. Dessa forma, este trabalho tem em seu escopo um desenvolvimento de equipamento de baixo custo para medição do nível da água, e também deve-se fomentar o acompanhamento

de variáveis ambientais associadas às variações de nível, pois são diversos os danos provocados pela elevação do nível da água tanto em áreas continentais, com as inundações, mas também nas áreas costeiras, comprometendo a ocupação humana e a economia.

2. MATERIAL E MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA ÁGUA

2.1 Desenvolvimento de Equipamento – Tecnologia

Para o desenvolvimento do equipamento, foram considerados alguns métodos de medição de nível, começando pelos mais básicos, como a régua graduada, visores de nível, flutuador com peso, os quais cumprem com um dos requisitos importantes do equipamento, que é ser de baixo custo; no entanto, a precisão dos resultados desses instrumentos não é muito boa e/ou não são medições automáticas.

Consideraram-se, também, métodos mais tecnológicos, como os usados nos equipamentos tipo *Acoustic Doppler Current* (pela sigla em inglês: ADCP) e no *Conductivity, Temperature and Depth* (pela sigla em inglês: CTD), que são equipamentos que possuem grande assertividade nas medidas, porém têm custo muito maior, são importados, sendo que existem algumas tentativas de desenvolvimento nacional.

Considerando alguns princípios do equipamento, foi pensado que seu desenvolvimento poderia contar com um sensor de nível d'água baseado nas propriedades do ultrassom. Pulsos de ultrassom são gerados por cristais especiais (como o quartzo puro), que podem vibrar quando percorridos por uma corrente elétrica conveniente. Dessa forma, é possível gerar pulsos de ultrassom com frequências de vários MHz e com duração de apenas alguns milionésimos de segundo. Ondas de ultrassom se propagam da mesma maneira que as ondas sonoras audíveis. Elas sofrem todos os fenômenos de reflexão, refração, difração e interferência, como todas as ondas. Assim, enviando um pulso de ultrassom para dentro de um material, ele será parcialmente refletido ao encontrar qualquer descontinuidade no meio, como uma mudança na densidade ou defeitos no próprio material.

Com a disponibilidade de sensores de ultrassom no mercado nacional podem ser acoplados em um sistema de registro de valores, pode-se verificar a sensibilidade do equipamento às variações de altura de superfícies fluidas em setembro de 2018 e fevereiro de 2019. Vencida essa etapa, foi programado o tipo de alimentação em

energia para o sistema e, logo a seguir, pensou-se em um sistema de proteção do equipamento para instalação sob intempéries do tempo.

Uma vez que o equipamento tenha apresentado resposta e esteja pronto para avaliação ambiental, foram registrados dados em sistema natural com suficiente variação de maré.

Os dados obtidos foram analisados seguindo os valores obtidos simultaneamente por outros equipamentos importados (como Marégrafos – Campbell®) instalados nas regiões escolhidas; além disso, os dados foram comparados com dados obtidos em modelos de maré aferidos por mais de 50 anos, exibindo um alto grau de confiabilidade (modelos de maré utilizados pelo IOUSP – Labdados – IOUSP).

O esquema eletrônico pormenorizado está sendo descrito em um outro artigo técnico (GOMÊZ-PÉREZ; BRAGA, in prepar.) e será avaliado em termos de patente e custo, de modo a verificar sua viabilidade de reprodução e instalação em custos módicos, podendo ser utilizado no formato de rede para cobrir uma ampla área de monitoramento.

2.2 Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape (SP)

A área escolhida para este estudo foi a região do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape, ao sul do litoral paulista, que faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul do Estado de São Paulo. A região se encontra no extremo sul de São Paulo, na fronteira com o estado de Paraná, abrangendo cerca de 100 km de extensão (Figura 1).

A região foi reconhecida pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO – acrônimo de *United Nations Educational, Scientific and Culture*) (2005) como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Patrimônio Mundial Natural da Humanidade, devido à sua importância ao meio ambiente e às culturas tradicionais. Também é considerada como área prioritária para conservação pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), de muito alta importância biológica e muito alta urgência nas ações (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007).

Figura 1 – Localização do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape e da cidade de Registro, com os pontos onde foram feitos testes (Registro e Iguape) e medidas de nível da água e variação das propriedades da água (Cananéia) – SP.



Fonte: Google Maps (Disponível em: <http://maps.google.com/>. Acesso em: 15 mar. 2018).

A ilha de Cananéia se localiza no sul do sistema, a qual abriga a cidade de Cananéia. As medidas de nível da água e os parâmetros ambientais foram feitos na Base Sul, Dr. João de Paiva Carvalho do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). No norte do sistema, as medidas foram feitas no Valo Grande, junto à cidade de Iguape. A região apresenta clima subtropical úmido com temperaturas médias anuais oscilando entre 21 °C e 22 °C, caracterizado por uma pequena ou nenhuma seca hibernar nos meses de inverno e de menos chuva (junho, julho e agosto), e apresentando 50% a 70% do total nos meses mais chuvosos (dezembro, janeiro e fevereiro), sendo o índice pluviométrico anual superior a 3.000 mm (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, 2016, pp. 60-61).

Os principais tipos de vegetação presentes na região são a Mata Atlântica e as extensas áreas de manguezais; só em Cananéia, encontram-se mais de 70 km² (BEU, 2018, p. 60), com mais de 1.200 espécies de plantas e uma fauna muito rica e diversificada, abrigando espécies ameaçadas e migratórias, segundo dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis (2007).

A influência de água doce em Cananéia chega por duas importantes bacias: o principal aporte se encontra ao norte, com a descarga do Rio Ribeira de Iguape,

e ao sudoeste pelos rios Taquari/Carapara, das Minas/Mandira, Itapitangui e Iririaia-Açu, os quais contribuem, de acordo com Bérghamo (2000), com aportes de água doce de 99,8 m³/s em março e 5,8 m³/s em agosto, com média anual de 47,24 m³/s (BARCELLOS, 2005).

O Rio Ribeira de Iguape forma a Ilha de Iguape, uma ilha artificial formada com a abertura do canal do Valo Grande. Esse é um canal artificial criado entre 1827 e 1852 (SOUZA; OLIVEIRA, 2017), construído com o objetivo de ligar diretamente o Rio Ribeira do Iguape com o Mar Pequeno, para facilitar o transporte do arroz das plantações ao porto, onde era comercializado. Com o passar do tempo e devido à pequena resistência das margens, o tamanho do canal foi crescendo, indo de 4 m de largura e 2 m de profundidade a 100 m de largura com mais de 10 m de profundidade para o final do século XIX (GEOBRÁS, 1966); atualmente, já tem mais de 300 m de largura. Assim, a grande entrada de água doce no estuário ocasionou muitos prejuízos econômicos e ambientais, alterando as propriedades físicas e químicas das águas. O assoreamento do Mar Pequeno devido à forte vazão do rio trouxe consigo uma grande quantidade de sedimentos; com isso o acesso ao porto pelas embarcações de grande porte foi sendo impedido, e os negócios foram ficando inviáveis. Em 1978, o canal do Valo Grande foi fechado e, devido a diversos eventos de inundações na região, houve um rompimento da barragem em 1983. Durante esse período, Furtado, Yamanaka e Oliveira (1981) mostram valores da salinidade com o canal aberto entre 0 e 18 e, após o fechamento, os níveis se mantinham entre 13 e 25, isso na junção entre o Valo Grande e o Mar Pequeno. A barragem foi fechada novamente, mas, em 1995, em decorrência das fortes chuvas, o valo foi reaberto pela última vez (BARCELLOS, 2005). Braga (1995) mostrou valores baixos de salinidade em 1992 antes do fechamento da Barragem.

2.3 Maré e propriedades da água

2.3.1. Maré

Os valores de maré no acompanhamento realizado no dia 04/07/2018 foram registrados pelo equipamento desenvolvido e, ao mesmo tempo, foram registrados pelo marégrafo da Base de Cananéia.

2.3.2. Amostragem

A água de superfície foi coletada na Base de Pesquisa do IOUSP em Cananéia, sendo feita no píer da Base junto ao local onde foi instalado o equipamento de medida do nível da água.

2.3.3. Temperatura da água e salinidade

A temperatura da água *in situ* foi medida utilizando-se termômetros simples com leitura em graus Celsius com precisão de $\pm 0,5$ °C. A determinação da salinidade foi feita em alíquota de água coletada em frasco de vidro âmbar, enchido completamente e tampado para evitar evaporação. A determinação foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica de Nutrientes, Micronutrientes e Traços nos Oceanos (LABNUT – IO – USP) de acordo com método indutivo utilizando um salinômetro marca Beckman, RS10, com precisão de $\pm 0,005$, com unidades apresentadas em unidade de salinidade prática (USP).

2.3.4. Oxigênio dissolvido (OD) e potencial hidrogeniônico (pH)

As amostras de água foram coletadas com cuidado para não fazer bolhas, em frasco com volume calibrado e tampa mergulhadora, sendo adicionados os reagentes para posterior análise. Em menos de 8h, as amostras foram analisadas no laboratório da Base de Pesquisa Dr. João Paiva de Carvalho, do IO-USP, de acordo com metodologia proposta por Winkler (1888), como apresentada por Grasshoff et al. (1983), utilizando um titulador Metrohm automático, com precisão de $\pm 0,02$ ml L⁻¹ para teores de 2 ml L⁻¹ e $\pm 0,04$ ml L⁻¹ para teores superiores.

As amostras para a análise de pH foram coletadas com cuidado para não fazer bolhas e analisadas no laboratório da Base de Pesquisa Dr. João Paiva de Carvalho do IO-USP, com o auxílio do pHmetro Orion P210A, com precisão de $\pm 0,001$, seguindo as recomendações de Aminot e Chaussepied (1983).

2.3.5. Nutrientes dissolvidos

Para a determinação dos nutrientes principais, como fosfato, silicato, nitrito e nitrato, cerca de 1L de água foi coletada e mantida a 4 °C até o momento da filtração em filtro GF/F Whatman® no próprio laboratório da Base de Pesquisa Dr. João Paiva de Carvalho IO-USP, em Cananéia, para separar a fração dissolvida (menor que 0,45 µm) da particulada dos filtrados, retiraram-se alíquotas para as análises de nutrientes, que foram mantidas a -20 °C até o momento da análise.

Silicato e fosfato dissolvidos

Os teores de silicato e fosfato dissolvidos na água foram determinados segundo o método colorimétrico descrito por Grasshoff et al. (1983), com absorbância medida em 810 nm e 880 nm, respectivamente, utilizando espectrofotômetro SP-22 da Bioespectro®. O limite de detecção do método foi de 0,01 µmol L⁻¹, precisão do método de $\pm 0,01$ µmol L⁻¹ para silicato e de 0,01 mmol L⁻¹, precisão de $\pm 0,01$ µmol L⁻¹ para fosfato.

N-amoniaco

As coletas foram feitas a partir da garrafa coletora de água para os frascos de reação, sendo os reagentes adicionados em seguida, seguindo a metodologia descrita por Tréguer e Le Corre (1975), apresentando uma precisão de $\pm 0,05 \mu\text{mol}$ M-N-amoniaco.

Nitrato e Nitrito

Serão determinados em equipamento automático – AutoAnalyzer II (Bran-Luebbe®). A metodologia específica para análise será em fluxo contínuo com arraste por bolhas baseada em Grasshoff et al. (1983), Tréguer e Le Corre (1975) e Braga (1997). A determinação do nitrato envolve o uso de coluna de cádmio cuperizado para a redução do nitrato a nitrito. O valor de nitrito total (nitrito + nitrato reduzido) menos o valor do nitrito fornece o valor de nitrato. A precisão do método para nitrito é de $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e para nitrato é de $0,02 \text{ mol L}^{-1}$.

2.3.6. Material Particulado em Suspensão (MPS) e Material Particulado Orgânico em Suspensão (MPOS)

As determinações do material particulado em suspensão e do material orgânico particulado em suspensão foram realizadas no LABNUT seguindo o método proposto por Strickland e Parsons (1968), utilizando-se filtros de fibra de vidro de porosidade nominal de $0,45 \mu\text{m}$ da marca GF/F Whatman®, pré-pesados em balança Bel Engineering®, modelo MARK 210A, com precisão de $\pm 0,0001 \text{ g}$. Os valores finais de MPS foram expressos em mg L^{-1} .

2.3.7. Tratamento dos dados

Os dados registrados pelo equipamento desenvolvido foram testados tendo como referências os dados obtidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP) para verificação de qualidade e confiabilidade nos registros.

Os dados do corpo hídrico foram usados para avaliar as variações de propriedades acompanhando a mudança de registro de nível d'água em local costeiro, de modo a evidenciar quais propriedades mais acompanham as mudanças de nível d'água e que poderiam se somar aos critérios para avaliação de risco de eventos extremos em regiões costeiras para serem sugeridos aos postos e às autoridades na questão da segurança.

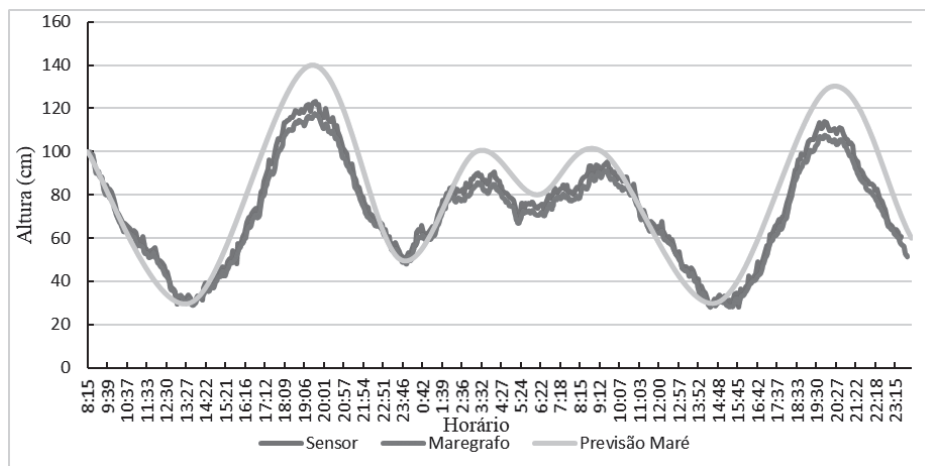
Os dados ambientais passaram por tratamento estatístico (Excel®) básico, seguido de apresentação das variações temporais na forma gráfica para acompanhado do nível do corpo hídrico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Calibração dos dados do sensor

Foi realizada uma medição contínua do nível da água para iniciar a avaliação junto aos dados ambientais, com uma duração de 39 h na Base Sul do Instituto Oceanográfico, nos dias 4 e 5 de julho de 2018, sendo possível comparar os dados registrados pelo equipamento desenvolvido com os dados registrados pelo marégrafo (marca Campbell, modelo CR1000) acoplado à estação meteorológica instalada na Base Sul (IOUSP), no mesmo local das medidas. As curvas de maré do modelo de previsão, dos registros do marégrafo e do equipamento encontram-se na Figura 2.

Figura 2 – Curva de maré comparando dados do equipamento desenvolvido com os dados do marégrafo e da previsão de maré do IOUSP,(4-5/07/2018).



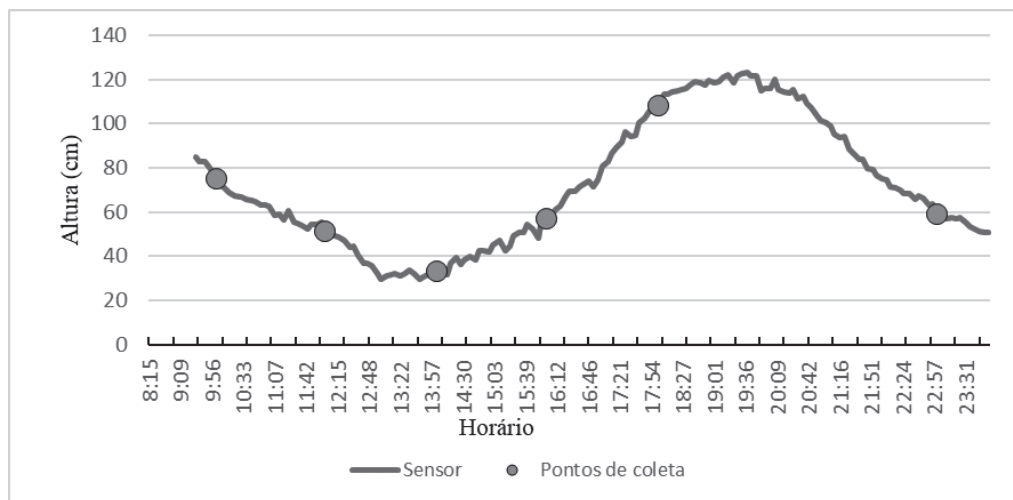
Fonte: elaborada pelo autor com dados próprios e do IOUSP.

Pode-se observar que as medidas registradas pelo equipamento acompanham muito bem as medidas do marégrafo (Campbell CR1000), tendo maior diferença nos picos de maré alta, com uma diferença menor a 7 cm em relação ao modelo de previsão, porém com alta coincidência com as medidas *in situ* do marégrafo do IOUSP (disponível em: <http://www.mares.io.usp.br/>. Acesso em: 20 ago. 2018).

3.2 Avaliação temporal de variação do nível da água e das propriedades físicas e químicas associadas

A variação da altura da maré s do dia 4 de julho de 2018 se encontra na Figura 3 e os dados referentes aos parâmetros ambientais coletados encontram-se distribuídos na Figura 4.

Figura 3 – Distribuição do nível da água medido pelo sensor e os momentos de amostragem, Cananéia (04/07/2018).

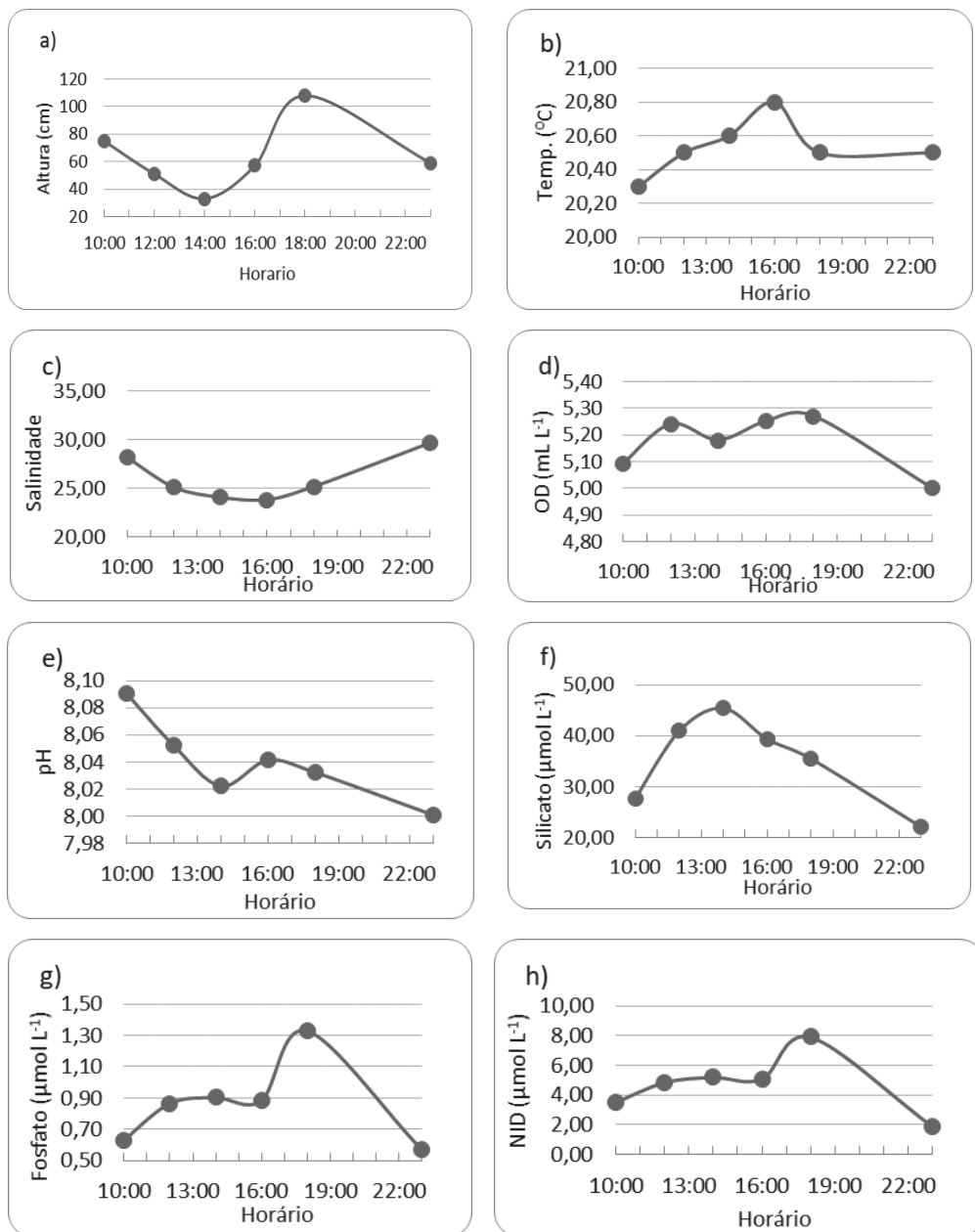


Nos horários de coletas, a maré variou de 33 cm até 110cm, mostrando um vale (14h) e um pico (18h) (Figura 4a). Observando a temperatura, o menor valor foi registrado no primeiro horário de coleta, com o valor de 20,30°C e o máximo foi de 20,80 °C observado as 16h (Figura 4b). No caso da salinidade, o menor valor observado (23,81) ocorreu às 16h sob influência da maré vazante que é marcada pela maior presença de água menos salina (Figura 4c). Os valores sempre estiveram abaixo de 30, mostrando a presença de água salobra. Os valores de oxigênio dissolvido (OD) (Figura 4d) sempre estiveram acima de 5,00 mL L⁻¹, com pequena queda às 22h, mas permanecendo acima de 5,00 mL L⁻¹. Dois picos foram observados, um às 12h e outro às 18h. Os valores de pH (Figura 4e) estiveram sempre acima de 8, sendo que o valor mais baixo foi observado as 14h acompanhando o mínimo de maré e a menor salinidade (menor nível registrado).

A distribuição do silicato (Figura 4f) mostrou um aumento às 13h na maré vazante e o maior valor (46,74 µmol L⁻¹) devido à influência da ressuspensão de material rico em silício e maior troca com água intersticial no momento de coluna de água baixa (Figura 4a). O fosfato acompanhou apresentou um valor máximo às 19h (1,30 µmol L⁻¹) logo após o mínimo de altura da maré e mínimo (0,86 µmol L⁻¹) no início do final do dia com o novo aumento dos valores de salinidade (Figura 4g). Os componentes nitrogenados: nitrato + nitrito+ amônio (NID) (Figura 4h) mostraram comportamentos similares ao fosfato com o maior valor às 19h (8,00 µmol L⁻¹) após o mínimo de salinidade, tendo contribuição de picos de amônio,

porém a distribuição do nitrato e do nitrito foi mais semelhantes à do silicato, com máximos às 13h, mostrando a influência da baixa salinidade e baixa coluna d'água.

Figura 4 – Variação da maré e dos parâmetros ambientais no dia 04/07/2018.



As observações de variação nível de água em Cananéia são influenciadas pela maré e, no período de observação, a maré foi de sizígia. Os períodos analisados corresponderam ao inverno e a temperatura da água esteve entorno dos 20 °C (julho e agosto), como foi observado por Agostinho (2015) em amostragem em agosto de 2012, com temperaturas em torno de 21 °C. Braga (1995) fez uma coleta em estação fixa no mesmo local de estudo, com amostragem de 21h (das 9h às 6h), em maré de quadratura no dia 7 de agosto de 1992, onde a temperatura média observada no dia foi de 18,18 °C, com um erro médio de $\pm 0,27$.

A salinidade no período observado esteve sempre menor que 30, indicando a dominância de água salobra no sistema, sendo que os menores valores foram observados em maré baixa, onde o domínio da água doce é mais evidente. Em agosto de 1992, a média foi em torno de 29,40, com um erro médio de $\pm 0,95$ (BRAGA, 1995).

Mesmo com as variações do nível da água, os valores de pH sempre foram em torno de 8, o que corresponde à presença de água com salinidade acima de 20. Agostinho (2015) também encontrou valores acima de 8.

Todos os valores de oxigênio estiveram acima de 5,0 ml L⁻¹, indicando a boa oxigenação, com exceção do dia 22 de agosto, às 16h30, quando o valor foi de 4,5 ml L⁻¹, mas isso não indica uma situação de hipóxia. Por outro lado, Agostinho (2015) observou valores de oxigênio ligeiramente menores do que 5,0 ml L⁻¹. A média em agosto de 1992 de Braga (1995) foi de 6,0 ml L⁻¹, com um erro médio de $\pm 0,16$.

Os valores de silicato no período atingiram o valor máximo de 46,74 $\mu\text{mol L}^{-1}$, sendo que os menores valores estiveram associados à maré alta e os maiores, à maré baixa, mostrando a origem terrestre desse elemento. Os valores médios de silicato de Braga (1995) em agosto de 1992 foram de 9,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$, com $\pm 3,3$ de erro, bem menores pois o Valo Grande estava fechado.

O fosfato dissolvido variou de 0,58 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a 1,33 $\mu\text{mol L}^{-1}$ no período de estudo, faixa de valor que mostra disponibilidade para a produção primária ser mantida na primavera. Agostinho (2015) observou um estoque maior nesse período entre 1,31 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 2,06 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Por sua vez, Braga (1995) achou valores médios de fosfato de 0,33 $\mu\text{mol L}^{-1}$, com erro médio de $\pm 0,10$.

Os componentes nitrogenados mostraram valores diferenciados entre suas formas. Os valores de nitrito foram baixos, variando entre 0,13 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 0,61 $\mu\text{mol L}^{-1}$, enquanto Agostinho (2015) encontrou valores mais baixos, entre 0,13 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 0,27 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Essa forma intermediária de nitrogênio deve se manter baixa em ambientes saudáveis, os valores observados neste estudo não são preocupantes.

No inverno de 1991, o valor médio do N-amoniaco foi de $0,56 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,14$) e de $0,20 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,13$) de nitrito (BRAGA, 1995).

No caso do nitrato, que é uma forma mais estável do nitrogênio, observou-se uma variação entre $1,47 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $3,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ na amostragem de julho, em que o estoque é maior e o consumo pelos produtores primários é menor, enquanto na amostragem de agosto o estoque baixou, variando de $0,39 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $0,81 \mu\text{mol L}^{-1}$. Em agosto de 2012, a variação encontrada por Agostinho (2015) foi de $0,46 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $4,29 \mu\text{mol L}^{-1}$. E os valores médios encontrados por Braga (1995) foram de $0,50 \mu\text{mol L}^{-1}$ no inverno de 1992.

Em suma, temos o menor nível de maré acompanhado do menor valor de salinidade, diminuição do valor de OD e diminuição do valor de pH, enquanto o maior valor de salinidade ocorreu à noite (22h), sendo acompanhado pela diminuição do OD e também do pH.

Observando o comportamento das componentes ambientais em relação à variação do nível da água (sob influência das forçantes de maré), de modo geral, mostram um acompanhamento harmônico, porém com alguns efeitos diferenciados em torno das 11h em processo de maré vazante. Valores de maré alta foram diferenciados no início e no final do dia (05/07). Assim, além da diferença entre o nível da água durante a observação diuturna, os valores dos demais parâmetros ambientais mostram outros processos que podem estar atuando no sistema, provocando diferenças nas respostas, como ventos e correntes de ressuspensão e entradas maiores ou menores de material particulado em suspensão.

De certa forma, em maré baixa, os valores de nutrientes tendem a aumentar e, com a elevação do nível e maior influência marinha, os valores tendem a diminuir, sendo que a influência de ressuspensão, provocada por correntes, ventos e outros fenômenos, pode ser evidenciada pelas anomalias reveladas nos modelos de padrão de distribuição, o que pode contribuir com a previsão de eventos anormais ou mesmo extremos, com o acompanhamento de variáveis ambientais associadas à alteração do nível do mar.

4. CONCLUSÃO

O equipamento, além de apresentar bons resultados e possuir baixo custo para confecção e instalação, é discreto, sendo menos exposto ao vandalismo e permanecendo útil na composição de uma rede de informações hidrológicas.

A associação de outras medidas ambientais acompanhando os registros de variação do nível da água pode auxiliar na identificação de outros sinais que podem

estar indicando mudanças naturais ou antrópicas que possam estar a caminho de uma região, dando mais tempo para que as medidas de alerta sejam acionadas. Os valores de salinidade e pH acompanharam bem as variações de nível de água, mostrando o movimento da maré no sistema estuarino, o que foi refletido nos resultados de nutrientes, no caso do silicato, com maior expressão. Foram notadas anomalias que puderam evidenciar outros processos, como ressuspensão do fundo e variação no vento; desse modo, outras variáveis ambientais são importantes para o acompanhamento de mudanças no ambiente.

A carência de sistemas de alerta de baixo custo para inundações e a possibilidade de aumento do nível do mar, evidente num país tão grande e diante de mudanças globais que vêm mexendo com o regime de chuvas, fazem com que propostas que possam contribuir com a formação de redes de alerta se tornem necessárias, e este estudo vem dar sua contribuição para a implementação desse tipo de sistema de monitoramento que pode salvar vidas e contribuir ao crescimento socioeconômico.

5. AGRADECIMENTOS

Fazemos aqui um agradecimento a todos que estiveram envolvidos no trabalho de coleta e análise dos dados, com especial agradecimento a Vitor Gonzales Chiozzini, pelas análises de nutrientes, e a Nilson Aguiar e Antônio Godoi, pelo auxílio no desenvolvimento do equipamento medidor do nível da água. Aos funcionários da Base de Pesquisa de Cananéia Dr. João de Paiva Carvalho. Ao apoio recebido pela CAPES por meio de bolsa de estudo e ao CNPq, Processo 310624/2016-9, pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, K. L. **Estudo do Nitrogênio e do Fósforo (N e P) no setor norte do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananeia-Iguape (SP) considerando as condições naturais do sistema e a influência dos aportes antrópicos.** 107 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química) – Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin.** 395 p. CNEXO. Brest. 1983.

BARCELLOS, R. L. **Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no Sistema Estuarino- Lagunar de Cananéia-**

Iguape (SP). Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. 2 vols. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005.

BÉRGAMO, A. L. Características de hidrografia, circulação e transporte de sal: Barra de Cananéia, sul do Mar de Cananéia e Baía de Trapandé. Dissertação de Mestrado. 210 p. São Paulo. IOUSP. 2000.

BESNARD, W. Considerações gerais em torno da região lagunar de Cananéia-Iguape I. Bolm Inst. paul. Oceanogr. 1(1): 9-26, São Paulo, 1950.

BEU, S. E. Análise socioambiental do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape e Ilha Comprida (SP): subsídios para o planejamento ambiental da região. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Acesso em: 9 out. 2019.

BRAGA, E. S. Nutrientes dissolvidos e produção primária do fitoplâncton em dois sistemas costeiros do estado de São Paulo. 2 v. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BRAGA, E. S. Determinação automática de nitrato. In: Wagener, A. R. L.; Carreira, R. **Métodos analíticos de referência em Oceanografia Química.** Rio de Janeiro, MMA/SMA. Cap. 6, pp. 27-29. 1997.

CAHOON, D.; GUNTENSPERGEN, G. Climate change, sea-level rise, and coastal wetlands. **National Wetlands Newsletter**, 32, pp. 8-12. 2010.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. Comitê de Bacias Hidrográficas do Ribeira do Iguape Litoral Sul do CIIAGRO. Disponível em: <http://www.ciiagro.org.br/ribeira/climatico/executar>. Acesso em: 26 set. 2019

FURTADO, J. S.; YAMANAKA, N.; OLIVEIRA, M. C. Percepção ambiental e quadro referencial do complexo “Valo Grande e Sistema Lagunar Cananéia-Iguape”. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1981. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/sumula.pdf>. Acesso em: 9 out. 2019.

GEOBRÁS. Complexo do Valo Grande- Mar Pequeno- Rio Ribeira do Iguape. Relatório para o serviço do Vale do Ribeira-DAEE, 2 vols. São Paulo, 1966.

GOOGLE MAPS. 2019. Disponível em: <http://maps.google.com/>. Acesso em: 15 mar. 2018.

GRASSHOFF, K. Determination of oxygen. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. **Methods of Seawater Analysis**. 2nd. ed. Weinheim: Verlag Chemie, 419 p. 1983.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (2016). **Plano de Manejo: Área de proteção ambiental Cananéia- Iguape- Peruíbe, SP**. Iguape, pp. 60-61. Fev. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS E RENOVÁVEIS. **Informações sobre a APA-CIP**. 2007. Disponível em: www.ibama.gov.br. Acesso em: 9 out. 2019.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. (s. d.). Disponível em: <http://www.io.usp.br/>. Acesso em: ago. 2017.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **LABDADOS** (s. d.). Disponível em: <http://www.labdados.io.usp.br/>. Acesso em: ago. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. CLIMATE CHANGE 2013 – The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. C. B. Field et al. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 2013. p. 78. Disponível em: http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf. Acesso em: 7 out. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Acesso em: 7 out. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy,

T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.]. 32 p. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2018.

MATOLA, M. ONU News. **ONU lança Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável**. New York, 6 dec. 2017. Disponível em: <https://news.un.org>. Acesso em: 9 out. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas Prioritárias para a Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Portaria MMA N° 09**. p. 101, 23 jan. 2007.

POSTHUMUS et al. Impacts of the summer 2007 floods on agriculture in England. **Journal of Flood Risk Management**, 2, pp. 182-189, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. (s. d.). **Rede Hidrometeorológica Nacional da ANA**. Séries Históricas de Estações. Disponível em: www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso em: 4 set. 2018.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. (s. d.). **Rede Hidrometeorológica Nacional da ANA**. Mapa das estações. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapa_hidroweb.jsf. Acesso em: 22 set. 2019.

SOUZA, T.; OLIVEIRA, R. Alterações Ambientais no Complexo Estuarino-Lagunar de Cananeia-Iguape: A Influência Do Canal Artificial Do “Valo Grande”. **Boletim de Geografia**, 34, 3 (maio 2017), 30-44. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i3.23474>.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analyses**. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada. 311 p. (Bulletin: Fisheries Research Board of Canada, n. 167). 1968.

THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION; CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **The Human Cost of Weather Related Disasters (1995-2015)**. pp. 6, 11, 13. 2015.

TREGUER, P.; LE CORRE, P. Manuel d' analysis des sels nutritifs dans l' eau de mer. 2. éd. Brest, Université de Bretagne Occidentale. 110 p. 1975.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **World Network of Biosphere Reserves**. 19 p. 2005.

WEBB, E. L.; FRIESS, D. A.; KRAUSS, K. W.; CAHOON, D. R.; GUNTENSPERGEN, G. R.; PHELPS, J. A global standard for monitoring coastal wetland vulnerability to accelerated sea-level rise. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 5, pp. 458-465, 2013.

