

# ESTUDOS AMBIENTAIS NA ÁREA DE OCEANOGRAFIA COSTEIRA REALIZADOS COM O USO DE DADOS PROCESSADOS NO REATOR IEA-R1

*Elisabete S. Braga<sup>1</sup>, Deborah I. T. Fávaro<sup>2</sup>, Bárbara P. Mazzilli<sup>2</sup>, Paulo S. C. da Silva<sup>2</sup>, Juliana S. Azevedo<sup>3</sup>, Luciana A. Farias<sup>3</sup>, Leonardo S. Kuniyoshi<sup>1</sup>, Mitiko Saiki<sup>2</sup>, Carlos E. Stein<sup>1</sup>, Andrea L. Oliveira<sup>1</sup>, Glaucia B. B. Berbel<sup>1</sup>, Vitor G. Chiozzini<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

Praça do Oceanográfico, 191

05508-120 São Paulo – SP

edsbraga@usp.br

<sup>2</sup> Centro do Reator de Pesquisas – IPEN-CNEN/SP

Av. Professor Lineu Prestes, 2242

05508-000 São Paulo – SP

<sup>3</sup> Universidade Federal de São Paulo – *Campus Diadema*

Avenida Conceição, 515

09920-000 Diadema – SP

## RESUMO

Com o objetivo de colaborar com o registro de trabalhos em diferentes áreas do conhecimento prestado pelo reator IEA-R1 ao longo de anos, faz-se

aqui o relato de sua participação na área de Oceanografia, na qual as análises realizadas em parcerias com colegas do IPEN foram gratificantes em termos de produção científica e formação de discípulos junto ao conhecimento do ambiente costeiro e marinho. Entre 2006 e 2017 diferentes matrizes ambientais da região costeira como sedimentos, tecidos de peixes, plantas aquáticas e mesmo cabelos de crianças de cidades costeiras foram analisadas em pesquisas conduzidas por pesquisadores do IPEN e do IO-USP. Os resultados destes esforços conjuntos forneceram importantes dados para a avaliação ambiental, mostrando novas técnicas analíticas aos alunos e formando um banco de dados expressivo para a avaliação da evolução de cenários diante das mudanças globais. Durante essas parcerias, os horizontes de pesquisa se ampliaram contando com a disponibilidade analítica do reator IEA-R1 e dos especialistas do IPEN, fazendo toda a diferença na geração de vários trabalhos de formação além de diversas publicações, e ainda continuamos realizando outras pesquisas em conjunto. No decorrer destes anos, amostras vindas do litoral Sul de São Paulo (Complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape), sistemas estuarinos de Santos-São Vicente foram analisadas quanto aos elementos maiores, traços e terras raras. A coleta de amostras costeiras no âmbito de projetos de pesquisa já envolve muitas dificuldades de infraestrutura como embarcações, bases de apoio à pesquisa no litoral e infraestrutura analítica, pois uma vez coletadas as amostras, o sucesso do esforço passa pela competência analítica. Poder gerar dados de química analítica contemplando uma gama de elementos de forma não destrutiva e utilizando equipamento tão sofisticado como o reator IEA-R1 assegura a manutenção de uma excelente parceria em estudos ambientais na área de Oceanografia, sobretudo na vertente química que alimenta essa ciência multidisciplinar.

## 1. INTRODUÇÃO

A Oceanografia é uma área de estudo multidisciplinar que utiliza de várias ferramentas para obtenção de dados ambientais para serem incluídos em um conjunto de interpretações que permitem saber cada vez mais sobre o ecossistema marinho costeiro. No conjunto de ferramentas utilizado, características físicas, químicas, biológicas e geológicas são levantadas nas fases dissolvidas e também na fase particulada mineral e orgânica. Estas últimas então, podem ser constituídas por sedimentos superficiais, testemunhos sedimentares, tecidos de peixes, tecidos de plantas, até mesmo cabelos humanos, que em conjunto, tanto podem avaliar a condição ambiental, como também fazer o elo com os hábitos da sociedade e os

riscos a que estão expostos organismos vivos. Os dados de elementos traços podem caracterizar ambientes e mostrar processos de bioconcentração, bioacumulação e biomagnificação em diferentes matrizes, permitindo a contribuição científica com forte vertente ambiental e valor para a sociedade. Os dados podem ser utilizados na preservação ambiental, na análise de risco de contaminação, na caracterização de *backgrounds*. Enfim, a análise de diferentes matrizes ambientais de forma não destrutiva e com resultados simultâneos para muitos elementos utilizando o reator IEA-R1 constitui uma excelente ferramenta em estudos oceanográficos como tem sido desenvolvido em associação entre pesquisadores do IPEN-SP e IO-USP, sendo alguns deles apresentados adiante. O estado de São Paulo apresenta diferenças de ocupação em sua região costeira refletindo no grau de influência antrópica que gera impactos no sistema hídrico. A região dos estuários de Santos-São Vicente é conhecida como fortemente impactada devido a presença do maior porto da América Latina, um polo industrial com vertente petroquímica e de produção de aço, a eliminação de esgotos industriais e domésticos, inclusive fazendo uso de emissários submarinos. Este contexto faz desta área um foco para estudos das componentes abióticas e bióticas do sistema quanto aos elementos maiores, traços e terras raras. Normalmente, como contraponto aos estudos ambientais, regiões pouco impactadas pela ação do homem, servem de locais de estudo de sistemas naturais quanto aos teores dos grupos de elementos citados acima, assim a região de Cananeia integra o complexo estuarino-lagunar que está sob maior grau de preservação. O setor norte deste sistema, devido a abertura do Canal do Valo Grande apresenta um grau de exposição maior às ações antrópicas, recebendo aportes de materiais via transporte pelo Rio Ribeira de Iguape. Assim seu setor norte, embora não tão impactado quanto Santos, mostra sinais de alteração em seu conjunto de elementos e em sua ciclagem biogeoquímica. Considerando o foco de interesse em estudos ambientais costeiros, esses dois sistemas foram palco de estudos de elementos maiores, traços em organismos aninais como peixes e plantas, bem como na matriz “sedimento”, a qual interage com a água e a biota, fazendo parte de uma visão integrada de ciclagem biogeoquímica de elementos em sistemas mais e menos impactados pelas ações humanas. Este interesse gerou uma série de pesquisas em conjunto entre Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares que serão resumidas a seguir.

## 2. TRABALHOS DE OCEANOGRAFIA COSTEIRA SUBSIDIADOS PELOS DADOS DO IEA-R1

Entre 2008 e 2017, vários trabalhos ambientais com ênfase à Oceanografia foram subsidiados por dados obtidos no reator IEA-R1, tanto com orientação por membros do IPEN como do IO-USP, entre eles destacaremos alguns em parceria entre a Dra. Elisabete Braga junto aos colegas do IPEN, mais especificamente com a Dra. Deborah Inês Teixeira Fávaro, Dra. Bárbara Mazzilli, Dra. Mitiko Saiki, Dr. Paulo Sergio Cardoso da Silva e mais recentemente, estamos dando continuidade às parcerias de pesquisa também com o Dr. Edson Gonçalves Moreira voltados à área costeira. A Tabela 1 mostra alguns trabalhos.

**Tabela 1** – Tabela resumida de trabalhos realizados com subsídio do IEA-R1

<b>Categoria</b>	<b>Autor/orientador e co-orientador</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>
1. Iniciação científica	1.Andrea L. Oliveira <i>Orientadora: Dra. Elisabete S. Braga (IO-USP)</i> <i>Apoio: Dra. D. I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Avaliação da concentração de metais em tecidos de Ariides e sua ictiofauna acompanhante de maior relevância ao consumo humano em dois sistemas estuarinos no estado de São Paulo	2007
	2.Leonardo S. Kuniyoshi <i>Orientadora: Dra. Elisabete S. Braga (IO-USP)</i> <i>Apoio: Dra. D. I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Avaliação da concentração de Zn, Co, Cr e As em tecidos da ictiofauna de dois sistemas estuarinos no período de inverno (São Paulo, Brasil)	2008
2. Mestrado	1.Leonardo S. Kuniyoshi <i>Orientadora: Dra. Elisabete S. Braga (IO-USP)</i> <i>Apoio: Dra. D. I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Bioacumulação de elementos traços e expressão de micronúcleos em <i>Cathorops spixii</i> (bioindicador) como ferramenta de avaliação da influência antrópica em dois setores do complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape (SP)	2011
	2.Carlos Eduardo Stein <i>Orientadora: Dra. Elisabete S. Braga (IO-USP)</i> <i>Apoio: Dra. Mitiko Saiki e Dra. Deborah I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Estudo do papel da <i>Spartina alterniflora</i> como espécie bioindicadora de contaminação por elementos traço no Complexo Estuarino-Lagunar de Cananeia-Iguape (SP)	2011

3. Doutorado	1. Paulo Sergio Cardoso da Silva <i>Orientadora: Dra. Bárbara Pacci Mazzilli (IPEN)</i>	Avaliação do impacto ambiental das pilhas de fosfogesso de Cubatão em sedimentos das regiões de Santos, São Vicente e Cubatão	2004
	2. Juliana S. Azevedo <i>Orientadora: Dra. Elisabete S. Braga (IO-USP)</i> <i>Apoio: Dra. Deborah I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Biomarcadores de contaminação ambiental em <i>Cathorops spixii</i> nos estuários de Santos/São Vicente e Cananeia (São Paulo, Brasil)	2008
	3. Eduardo P. Amorim <i>Orientadora: Dra. D. I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Avaliação da concentração de metais e outros elementos de interesse em amostras de sedimentos dos estuários de Santos/São Vicente e Cananeia (estado de São Paulo, Brasil)	2012
	4. Vitor G. Chiozzini <i>Orientadora: Dra. Elisabete S. Braga (IO-USP)</i> <i>Co-orientadora: Dra. D. I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Estudo da abundância, proveniência e padrões de distribuição elementar em sedimentos de superfície e perfis sedimentares no complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape, São Paulo-Brasil com ênfase aos elementos Terras raras e seus significado ambiental.	2017
4. Pós-Doutorado	1. Luciana A. Farias <i>Supervisão Dra. Elisabete S. Braga (IO-USP)</i> <i>Apoio- Dra. D. I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Estudo comparativo dos impactos biogeoquímicos na região do complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape, com ênfase à influência do Valo Grande	2010
	2. Gláucia B. B. Berbel <i>Supervisão Dra. Elisabete S. Braga (IO-USP)</i> <i>Apoio- Dra. D. I. T. Fávaro (IPEN)</i>	Impact of harbour, industry and sewage on the phosphorus geochemistry of a subtropical estuary in Brazil	2015

## 2.1. Mais de Informações dos Trabalhos Realizados

### 2.1.1. Reator IEA-R1 – IPEN

A análise multielementar das matrizes ambientais como músculos, fígado, brânquias, plantas, sedimentos dos trabalhos realizados em parceria foram feitas no Laboratório de Análise por Ativação Neutrônica (LAN-CRPq) – IPEN/CNEN, com supervisão dos parceiros do IPEN já citados. O material de diferentes matrizes, uma vez seco e acondicionado em recipiente adequado foi levado para Laboratório. Após os diferentes tempos de exposição para cada material esperou-se o chamado tempo de decaimento, para a realização das medidas. As contagens, ou medidas da atividade gama induzida foram realizadas no espectrômetro de

raios gama, composto por um detector germânico hiperpuro GMX20190 da marca CANBERRA acoplado a um analisador multicanal S-100 e um microcomputador. As demais análises foram feitas em outros equipamentos. O material digerido para determinação de Pb e Cd foi analisado por espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica Forno de Grafite (Analyst 800 – Perkin-Elmer), enquanto a determinação do Hg foi realizada por espectrometria de Absorção Atômica com Geração de Vapor a Frio (equipamento de CV AAS – FIMS Perkin-Elmer, Flow Injection Mercury System) no Laboratório de Análise por Ativação Neutrônica (LAN-CRPq).

### 2.1.2. Avaliação da concentração de metais em tecidos de Ariides e sua ictiofauna acompanhante de maior relevância ao consumo humano em dois sistemas estuarinos no estado de São Paulo

O trabalho de iniciação realizado em 2007 por Oliveira [1] realizado no âmbito do Projeto “Matéria Orgânica na avaliação de impacto ambiental no meio marinho – bioquímica, bioacumulação e biotoxinas” – MOBIO (Fapesp 2005/50769-2) em Cananeia e Santos (SP) avaliou metais em 33 exemplares referentes a quatro espécies de peixes: *Genyatremus luteus*, *Menticirrhus americanus*, *Micropogonias furnieri* e *Chaetodipterus faber* que mantêm algum tipo de associação com o sedimento, devido a seus hábitos alimentares. As análises de Co, Zn e Cr nos tecidos dos peixes foram irradiadas quatro horas, sob um fluxo de nêutrons térmicos de  $10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , no Reator de Pesquisa IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP. Dorm-1 (músculo de peixe) e Dolt-1 (fígado de peixe) da NRCC – Canadá e Orchard Leaves (folhas) NBS 1571-NIST, foram utilizados para obtenção das concentrações dos metais nas amostras de músculos e brânquias. De um modo geral, os valores de metais foram maiores nos peixes encontrados em Santos, sendo os valores de Zn estiveram todos acima do recomendado pelo CONAMA, enquanto os valores de Cr, apenas poucos exemplares mostraram-se acima dos recomendados pela legislação.

### 2.1.3. Avaliação da concentração de zinco (Zn), cobalto (Co), cromo (Cr) e arsênio (As) em tecidos da ictiofauna do sistema estuarino de Santos e São Vicente (São Paulo, Brasil) no período de inverno

Kuniyoshi [2,3] estudou o efeito de bioacumulação de alguns metais, com função de micronutrientes e tóxicos em espécies da ictiofauna acompanhante na captura de *Cathorops spixii* (bagre) realizada no âmbito do Projeto MOBIO. As regiões do sistema estuarino de Santos/São Vicente e Baía de Santos e Cananeia foram amostradas considerando a diferença de impacto antrópico a

que são submetidas, sendo a primeira conhecida por intensa atividade antrópica pela presença do porto, área industrial e ocupação urbana. Os tecidos dos peixes foram analisados e as concentrações encontradas foram também associadas aos parâmetros ambientais, e medidas biométricas, sendo verificadas alterações nucleares eritrocitárias como presença de micronúcleos e aspectos anômalos no próprio núcleo celular. As alterações foram observadas com maior frequência nos peixes amostrados em Santos e São Vicente, associados aos maiores valores de metais (Zn, Co, Cr) e o semimetal As. A avaliação da contaminação de organismos marinhos por metais se faz necessária pelo fato de os metais representarem um risco à biodiversidade das áreas estudadas e porque muitos desses organismos são consumidos pelos seres humanos, o que os torna uma ameaça à saúde humana.

#### 2.1.4. Bioacumulação de elementos traços e expressão de micronúcleos em *Cathorops spixii* (bioindicador) como ferramenta de avaliação da influência antrópica em dois setores do complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape (SP)

Neste estudo os peixes estudados por Kuniyoshi [4,5] apresentaram níveis seguros para o consumo humano considerando os elementos analisados quando confrontados com a legislação nacional que controla a qualidade do pescado, exceção feita para o As sobretudo nos peixes coletados em Cananeia o que pode estar associado ao ambiente mais salino encontrado no sul do sistema. No caso dos teores de Pb e Hg, os maiores valores foram observados nos peixes vindo de Iguape durante os dois períodos sazonais (inverno e verão), enquanto em Cananeia os valores de As e Cr foram mais altos em ambos períodos sazonais. O Hg, Cd e Co apresentaram maiores valores no verão em ambas as estações sazonais, o que pode estar associado ao maior metabolismo portanto bioacumulação neste período. Associado aos valores de metais no peixe alvo, foi observada a presença de micronúcleos no sangue destes peixes fazendo associação com o local de origem e o teor de metais nos tecidos.

#### 2.1.5. Estudo do papel da *Spartina alterniflora* como espécie bioindicadora de contaminação por elementos traço no Complexo Estuarino-Lagunar de Cananeia-Iguape (SP)

Stein [6,7] estudou raízes e folhas de *Spartina alterniflora* uma gramínea que é encontrada ao longo do complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape (SP), porém, com mais dificuldade de ser encontrada onde a salinidade é muito baixa. Assim, no norte do sistema, devido ao aporte do Rio Ribeira no Mar Pequeno,

os campos de *Spartina* se tornaram mais escassos. Com o objetivo de avaliar a bioacumulação, os valores de Br, Ca, Fe K, Zn, Cr, Rb, Sb, La foram analisados nas partes aéreas e raízes da *Spartina* no âmbito do Projeto do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Transferência de Materiais Continente-Oceanos – CNPq-INCT – TMCOcean – CNPq nº 573.601/2008-9 e também do Projeto VAGRA, proc. CNPq 552437/2007. O setor de Iguape (norte) o mais alterado devido à entrada de água doce pelo Valo Grande atingindo o Mar Pequeno. Os valores no sistema radicular, com maior contato com o sedimento apresentou, de um modo geral maiores valores em elementos traços e metais.

#### 2.1.6. Avaliação do impacto ambiental das pilhas de fosfogesso de Cubatão em sedimentos das regiões de Santos, São Vicente e Cubatão

Silva [8] realizou uma avaliação da contaminação de sedimentos das regiões de Santos, São Vicente e Cubatão por meio de uma caracterização química e radiológica de amostras coletadas nos estuários de Santos e São Vicente e da Baía de Santos com a colaboração do Instituto Oceanográfico da USP. O trabalho permitiu a identificação dos pontos da região cujas concentrações são influenciadas por atividades antrópicas. Foi concluído que as pilhas de fosfogesso, geradas pelas indústrias de fertilizantes, e as atividades siderúrgicas são as principais fontes antrópicas para o aumento da concentração de atividade dos radionuclídeos e da concentração de elementos terras raras e metais traço. Outras atividades, como o descarte de material dragado do Porto de Santos e descarte de efluentes pelo emissário submarino, também contribuem para as alterações ambientais da região.

#### 2.1.7. Biomarcadores de contaminação ambiental em *Cathorops spixii* nos estuários de Santos/São Vicente e Cananeia, São Paulo, Brasil

Azevedo [9-12] estudou o uso de biomarcadores de contaminação ambiental em *Cathorops spixii* em dois estuarinos do estado de São Paulo, sob diferentes graus de influência antrópica, sendo eles o estuário de Santos/São Vicente e o complexo estuarino de Cananeia-Iguape. Embora o trabalho tenha avaliado biomarcadores, os estudos decorrentes da captura e análise de elementos nestes organismos justificam o uso desta espécie como bioindicador de contaminação por metais traço, uma vez que concentrações de metais essenciais (Zn, Fe, Cu) e não essenciais (Co, Hg, MeHg), foram superiores aos limites estabelecidos pela legislação brasileira (Anvisa, 1998) e internacional (EPA, 1999) encontrados no tecido muscular de indivíduos amostrados na Baía de Santos. Isto mostra a

capacidade de bioacumulação destes metais nos diferentes tecidos avaliados. A análise dos diferentes biomarcadores em *C. spixii* do estuário de Cananeia e do Sistema estuarino de Santos/São Vicente mostraram evidência de um estuário com baixa influência antropogênica e outro submetido à influência, principalmente de compostos oriundos da atividade industrial e descarte urbano;

#### 2.1.8. Avaliação da concentração de metais e outros elementos de interesse em amostras de sedimentos dos estuários de Santos/ São Vicente e Cananeia, estado de São Paulo, Brasil.

No estudo de Amorim [13] foram determinados vários elementos (As, Ba, Br, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, Na, Rb, Sb, Sc, Ta, Th, U, Zn), (Ce, Eu, La, Lu, Nd, Sm, Tb, Yb) e também Cu, Pb e Hg em e sedimentos provenientes de catorze pontos de coleta no sistema estuarino de Santos-São Vicente e baía de Santos (SP), Brasil. O período de coleta foi entre 2005 e 2006, observando pequena variação sazonal nos valores. Em geral, as concentrações totais de Zn e Cr estiveram mais altas que as recomendadas pela legislação ambiental nacional sobretudo no verão. O estudo mostrou, além de valores mais críticos de metais um enriquecimento em ETR e U indicando a atividade antrópica mas acentuada no Canal de Santos. A baía de Santos mostrou valor mais preocupante na área do emissário submarino de esgotos, enquanto o canal de São Vicente mostrou valores menores de concentração para a maior parte dos elementos avaliados na parte mais interna, onde os valores foram mais acentuados havendo associação com a maior concentração de sedimentos pelíticos.

#### 2.1.9. Estudo da abundância, proveniência e padrões de distribuição elementar em sedimentos de superfície e perfis sedimentares no complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape (São Paulo-Brasil) com ênfase aos elementos terras raras e seus significado ambiental

O trabalho de Chiozzini [14] mostra a distribuição dos elementos terras raras (ETR) nos sedimentos ao longo do complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape (SP), acompanhado de informações hidroquímicas, com o propósito de verificar as características da variabilidade natural e possíveis alterações de origem antrópica, sobretudo devido à influência do Valo Grande, que promoveu o desague do rio Ribeira de Iguape no interior do complexo. Considerando a distribuição dos elementos As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Fe, Hg, P, Rb, SP, Sc, Th, U, Zn, Zr e ETR, os pontos com sob menor ação hidrodinâmica e maior deposição de sedimentos finos foram os que apresentaram maiores concentrações, estando sobretudo na

região norte do complexo, onde a influência do Valor Grande é mais acentuada. Valores de Pb, P e Sb mais elevados que os naturais mostram provável input de origem antrópica de tais elementos através do Valo Grande, enquanto valores altos de metais como ETR, As e Cr, associados a também elevados valores de Zr e Hf, confirmam o enriquecimento natural em minerais pesados em direção à parte externa do sistema estudado. O conhecimento das concentrações e distribuição destes elementos podem ser usadas na avaliação e prevenção de riscos ambientais e na tomada de decisão pelo poder público.

#### 2.1.10. Estudo comparativo dos impactos biogeoquímicos na região do complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape, com ênfase à influência do Valo Grande

O objetivo geral do trabalho de Farias [15-21] foi contribuir à avaliação do impacto ambiental nos setores norte e sul do sistema estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape conhecendo os processos de bioacumulação de elementos tóxicos a que estão sujeitos os produtos da ictiofauna disponíveis à alimentação humana nos dois setores de estudo, norte sob maior influência antrópica e sul sob menor. Considerou-s também a origem dos peixes consumidos, origem local ou externa e o grau nutricional do alimento e de exposição da população humana aos possíveis riscos à saúde. O cabelo das crianças foram analisados quanto ao teor de mercúrio total e no músculo dos peixes foram determinados Ca, Fe, Na, K, Se e Zn por AAN (Análise de Ativação Neutrônica) sendo o Cd e Pb avaliado por GF-AAS. Os resultados mostraram que apesar da diferença no grau de influência antrópica entre os setores em relação à exposição ao Hg, a quantidade e a frequência na ingestão de peixe foi determinante para a bioacumulação do elemento nas crianças participantes do estudo, embora as localidades apresentarem os níveis abaixo do preconizado pela Organização Mundial da Saúde o valor de 50 mg kg<sup>-1</sup> de Hg encontrado em cabelos de grupos com alto consumo de peixe, já está associado a 5% de risco de danos neurológicos em adultos (WHO, 1991), não induziram a sintomas visíveis relacionados à intoxicação pelo elemento.

#### 2.1.11. Impact of harbor, industry and sewage on the phosphorus geochemistry of a subtropical estuary in Brazil

Este trabalho de Berbel [22] estudou diferentes especiações químicas de fósforo em sedimentos estuarinos considerando um estuário altamente impactado (Sistema Estuarino Santos-São Vicente). Além das cinco especiações, de fósforo, o ferro total foi determinado via ativação neutrônica utilizando o IEA-R1.

Os dados integrados foram usados para verificar a contribuição do fósforo ligado a oxi-hidróxido de ferro na composição dos sedimentos na região considerada. A influência do impacto antrópico no Canal do Porto e nas proximidades do emissário submarino de esgoto foi confirmada pelas maiores concentrações dos elementos estudados nestes locais. O trabalho terminou com uma publicação no *Marine Pollution Bulletin* [22].

### 3. CONCLUSÕES

A importância dos estudos ambientais realizados em parcerias que permitam a maior abrangência regional da pesquisa, com multiplicidade de enfoques e dispondo de excelentes ferramentas analíticas são fundamentais para contribuir às ações de preservação, proteção e gestão ambiental. A oportunidade de usar o IEA-R1 associado com a competência dos profissionais do IPEN aumentam a qualidade e abrangência dos trabalhos de Oceanografia, ciência multidisciplinar que nasceu com visão ampla e global para o estudo de sistemas costeiros e oceânicos integrados com temas muito atuais como as mudanças climáticas e mudanças globais. Esta parceria resultou até o momento na produção de pesquisa e recursos humanos com excelente qualidade.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as oportunidades de trabalho conjunto e pelo apoio oferecido pelos técnicos e tripulantes das embarcações Bp Velliger II, Bp Albacora do IO-USP e a estrutura de equipamentos disponibilizados pelo IPEN, bem como, agradecem o apoio do Projeto VAGRA (CNPq 552437/2007-7) e MOBIO (Fapesp 2005/50769-2), ambos sob a responsabilidade e coordenação da Dra. Elisabete Braga e Projeto INCT – Transferência de materiais continente-oceano – TMCOcean (CNPQ 573601/2008-9) subprojeto Nutrientes coordenado pela professora citada. Agradecemos também a colaboração do Dr. Edson Gonçalves Moreira nos trabalhos atuais.

### REFERÊNCIAS

1. AZEVEDO, J. S.; OLIVEIRA, A. L.; FÁVARO, D. I. T.; BRAGA, E. S. Trace elements and nuclear abnormalities in fish species of two brazilian estuarine regions: an attempt to increase the matrix for environmental monitoring. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, v. 6, p. 148, 2017.

2. KUNIYOSHI, L. S. *Avaliação da concentração de zinco (Zn), cobalto (Co), cromo (Cr) e arsênio (As) em tecidos da ictiofauna do sistema estuarino de Santos e São Vicente (São Paulo, Brasil) no período de inverno*. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico (IO), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2008.
3. L. S. Kuniyoshi; E. S. Braga. Cytogenetic disruption in fishes as bioindicator of the environmental quality in two estuarine systems under different exposition to anthropogenic influences. *In: X SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, 25-28 jul. 2010, São Paulo–SP. Proceedings [...]*, 2010. p. 93-96. Sigla do evento: Shewc. Tema: Converging Towards Sustainability.
4. KUNIYOSHI; L. S.; Braga, E. S.; Fávoro, D. I. T. Uso do arsênio na avaliação da qualidade do pescado: necessidade de adequação da legislação ambiental. *In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 10-20 abr. 2011, Santos–SP. Proceedings [...]*, 2011. p. 1-5. Sigla do evento: SBO. Tema: Oceanografia e Políticas Públicas.
5. KUNIYOSHI, L. S. *Bioacumulação de elementos traço e expressão de micronúcleos de Cathorops spixii (biomonitor) como ferramentas de avaliação da influência antrópica em dois setores do complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape, São Paulo-Brasil*. 2011. 127 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) – Instituto Oceanográfico (IO), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2011. DOI: 10.11606/D.21.2011.tde-20042012-143658.
6. STEIN, C. E.; Braga, E. S. Chlorophyl-a in macro-vegetable as an indicator of the enviromental impacts in the Cananeia-Iguape estuarine System. *In: X SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, 25-28 jul. 2010, São Paulo–SP. Proceedings [...]*, 2010. p. 84-87. Sigla do evento: Shewc. Tema: Converging Towards Sustainability.
7. STEIN, C. E. *Estudo do papel da Spartina alterniflora como espécie bioindicadora de contaminação por elementos traço no Complexo Estuarino-Lagunar de Cananeia-Iguape (SP)*. 2011. 137 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) – Instituto Oceanográfico (IO), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2011. DOI: 10.11606/D.21.2011.tde-19042012-151104.
8. SILVA, P. S. C. Caracterização química e radiológica dos sedimentos do estuário de Santos, São Vicente e Baía de Santos. 2004. 265 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2004.

9. AZEVEDO, J. S.; OLIVEIRA, A. L.; FÁVARO, D. I. T.; BRAGA, E. S. Trace elements and nuclear abnormalities in fish species of two brazilian estuarine regions: an attempt to increase the matrix for environmental monitoring. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, v. 6, p. 148, 2017.
10. AZEVEDO, J. S.; BRAGA, E. S.; RIBEIRO, C. A. O. Nuclear abnormalities in erythrocytes and morphometric indexes in the catfish *Cathorops spixii* (Ariidae) from different sites on the southeastern Brazilian coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 60, p. 323-330, 2012.
11. AZEVEDO, J. S.; FERNANDEZ, W. S.; FARIAS, L. A. *et al.* Use of *Cathorops spixii* (Agassiz, 1829) as bioindicator of pollution of trace metals in the Santos Bay, Brazil. *Ecotoxicology*, London, v. 18, p. 577-586, 2009.
12. AZEVEDO, J. S. *Biomarcadores de contaminação ambiental em Cathorops spixii nos estuários de Santos/São Vicente e Cananeia, São Paulo, Brasil*. 2008. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica) – Instituto Oceanográfico (IO), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2008. DOI: 10.11606/T.21.2008.tde-23092009-102246.
13. AMORIM, E. P.; FÁVARO, D. I. T.; BERBEL, G. B. B. *et al.* Assessment of metal and trace element concentrations in the Cananeia estuary, Brazil, by neutron activation and atomic absorption techniques. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 278, p. 485-489, 2008.
14. CHIOZZINI, V. G. *Estudo da abundância, proveniência e padrões de distribuição elementar em sedimentos de superfície e perfis sedimentares no Complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape, São Paulo, Brasil, com ênfase aos elementos terras raras e seu significado ambiental*. 2017. 353 p. Tese (Doutorado em Oceanografia Química) – Instituto Oceanográfico (IO), Universidade de São Paulo (USP) São Paulo, 2017. DOI: 10.11606/T.21.2018.tde-19032018-153950.
15. FARIAS, L. A.; FÁVARO, D. I. T.; BRAGA, E. S. O quociente de risco (qr) de exposição ao mercúrio na promoção de políticas públicas brasileiras. *In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA*, 10-20 abr. 2011, Santos–SP. *Proceedings* [...], 2011. p. 1-5.. Sigla do evento: SBO. Tema: Oceanografia e Políticas Públicas.
16. FARIAS, L. A.; SANTOS, N. R.; FÁVARO, D. I. T.; BRAGA, E. S. Mercúrio total em cabelo de crianças de uma população costeira, Cananeia, São Paulo, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 24, n. 10, p. 2249-2256, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2008001000006>.

17. FARIAS, L. A.; FÁVARO, D. I. T.; OLIVEIRA, P. T. M. M. S.; BRAGA, E. S. Mercury and Methylmercury in the children hair and fish mostly consumed in Cubatão, São Paulo State, Brazil. *Revista do Instituto Adolf Lutz*, v. 73, n. 2, p. 158-168, 2014.
18. NASCIMENTO, S. M.; Farias, L.; Curcho, M. *et al.* Estudo comparativo de constituintes nutricionais e do teor de mercúrio total em peixes comercializados na cidade de Cananeia, litoral de São Paulo. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 21-25 out. 2009, Rio de Janeiro–RJ. *Proceedings* [...], 2009. v. 1, p. 1-12. Sigla do evento: INAC.
19. FARIAS, L.; FÁVARO, D. I. T.; FONSECA, B. C. *et al.* Mercury and selenium accumulation assessment in fish most consumed by Cubatão community, São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 21-25 out. 2009, Rio de Janeiro–RJ. *Proceedings* [...], 2009. v. 1, p. 1-12. Sigla do evento: INAC.
20. CURCHO, M.; FARIAS, L.; FONSECA, B. C. *et al.* Micronutrients (Ca, Fe, K, Na, Se, Zn) assessment and fatty acids profile in fish most consumed by Cubatão community, São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 21-25 out. 2009, Rio de Janeiro–RJ. *Proceedings* [...], 2009. v. 1, p. 1-12. Sigla do evento: INAC.
21. FARIAS, L. A. Bioacumulação de mercúrio e metilmercúrio em peixes e crianças (cabelo) em dois sistemas estuarinos, Cubatão e Cananeia. Estudo da relação mercúrio e selênio em peixes (fígado e músculo). 2010. Instituto Oceanográfico da USP.
22. BERBEL, G. B. B.; FÁVARO, D. I. T.; BRAGA, E. S. Impacto of harbour, industry and sewage on the phosphorus geochemistry of a subtropical estuary in Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 93, n. 1-2, p. 44-52, 2015.