

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste trabalho será disponibilizado somente a partir de 17/02/2019.

BRUNO CESAR PRIOR ROCHA

**Distribuição e caracterização da labilidade relativa de cobre,
chumbo e mercúrio em amostras de sedimentos e substâncias
húmicas extraídas de sedimentos coletados em mananciais com
diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica**

**Tese apresentada ao Instituto de Química,
Universidade Estadual Paulista, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Doutor em Química.**

Orientador: Prof. Dr. André Henrique Rosa

**Araraquara-SP
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

Rocha, Bruno Cesar Prior

R672d Distribuição e caracterização da labilidade relativa de cobre, chumbo e mercúrio em amostras de sedimentos e substâncias húmicas extraídas de sedimentos coletados em mananciais com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica / Bruno Cesar Prior Rocha. – Araraquara : [s.n.], 2017

106 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química

Orientador: André Henrique Rosa

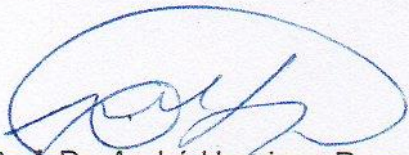
Elaboração: Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação Biblioteca do Instituto de Química, Unesp, câmpus de Araraquara

BRUNO CESAR PRIOR ROCHA

Tese apresentada ao Instituto de Química,
Universidade Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Doutor em
Química.

Araraquara, 17 de fevereiro de 2017.

BANCA EXAMINADORA



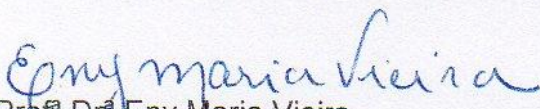
Prof. Dr. André Henrique Rosa (Orientador)
Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP, Sorocaba - SP



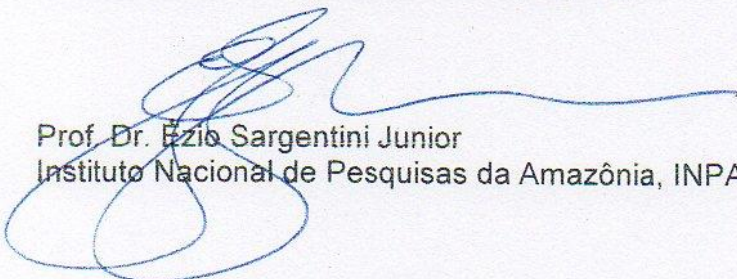
Prof. Dr. Clóvis Augusto Ribeiro
Instituto de Química – UNESP, Araraquara - SP



Prof. Dr. Leandro Cardoso de Moraes
Instituto de Ciências e Tecnologia – UNESP, Sorocaba - SP



Prof.ª Dr.ª Eny Maria Vieira
Instituto de Química, USP – São Carlos - SP



Prof. Dr. Ezio Sargentini Junior
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA – Manaus - AM

DADOS CURRICULARES

Dados Pessoais

Nome: Bruno Cesar Prior Rocha

Nacionalidade: Brasileiro

Naturalidade: Franca, São Paulo

E-mail: brunopriorrocha@yahoo.com.br

Formação Acadêmica

2010-2012: Mestrado em Química, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Campus de São José do Rio Preto, Brasil. Título: Relações entre acúmulo de metais em tecido muscular de peixes com diferentes hábitos alimentares coletados na Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande. Orientadora: Profa. Dra. Márcia Cristina Bisinoti.

2005-2008: Graduação em Química (com ênfase na área industrial), Bacharelado, Universidade de Franca, Estado de São Paulo, Brasil.

Produção Bibliográfica

Trabalhos publicados e/ou submetidos a periódicos indexados

Jorgetto, A.O.; Silva, R.I.V.; Longo, M.M.; Saeki, M.J.; Padilha, P.M.; Martines, M.A.U.; **Rocha, B. C. P.**; Castro, G.R. Incorporation of dithiooxamide as a complexing agent into cellulose for the removal and pre-concentration of Cu(II) and Cd(II) ions from natural water samples. **Applied Surface Science**, **264**, p. 368-374, 2013.

Pedroso, D. P.; Santos, F. A.; Jorgetto, A. O.; Queluz, J. G. T.; **Rocha, B. C. P.**; Jorge, S. M. A.; Martines, M. A. U.; Castro, G. R. Environmental implications of a stabilization pond effluent released in Paraná River at Ilha Solteira, Brazil: The quality of water and sediment. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, vol 7, nº4, 2015.

Participação em eventos científicos

Rocha, B. C. P.; Rosa, A. H. Estudo da labilidade de mercúrio em solos (alagáveis e não alagáveis) e sedimentos de rios da região Amazônica. **1º Workshop do Projeto de P&D intitulado “Biomarcadores de toxicidade do mercúrio aplicados ao setor Hidrelétrico na região Amazônica”**, período de 7 e 8 de maio de 2014 na Usina Hidrelétrica de Jirau (UHE Jirau) em Porto Velho – RO. (Apresentação Oral)

Rocha, B. C. P.; Rosa, A. H.; Silva, R. M.; Santos, A.; Zara, L. F.; Rocha, J. C. Investigação da labilidade de mercúrio em sedimento da região do rio Madeira / Rondônia-RO. **VII**

Encontro Nacional de Química Ambiental (ENQAmb), período de 6 a 9 de outubro de 2014 em Brasília – DF. (Pôster)

Silva, R. M.; **Rocha, B. C. P.**; Santos, A.; Zara, L. F.; Rocha, J. C. Metilação do mercúrio em amostras de águas da região amazônica enriquecidas com mercúrio metálico. **VII Encontro Nacional de Química Ambiental (ENQAmb)**, período de 6 a 9 de outubro de 2014 em Brasília – DF. (Pôster)

Rocha, B. C. P.; Rosa, A. H. Estudo da labilidade de mercúrio em solos (alagáveis e não alagáveis) e sedimentos de rios da região Amazônica. **II Workshop do Projeto de P&D intitulado “Biomarcadores de toxicidade do mercúrio aplicados ao setor Hidrelétrico na região Amazônica”**, realizado dia 9 de junho de 2015 no Instituto de Biociências de Botucatu, Botucatu – SP. (Apresentação Oral)

Rocha, B. C. P.; Rosa, A. H.; Silva, R. M.; Santos, F. A.; Castro, G. R.; Sargentini, É. J.; Zara, L. F. Distribuição de mercúrio total em matéria orgânica extraída de amostras de sedimentos de mananciais com diferentes tipos de água da bacia Amazônica. **XI Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas (EBSH)**, período de 19 a 23 de outubro de 2015 em São Carlos – SP. (Pôster)

Silva, R. M.; **Rocha, B. C. P.**; Rosa, A. H.; Santos, F. A.; Castro, G. R.; Sargentini, É. J.; Zara, L. F. Metilação de mercúrio em diferentes classes de águas da bacia Amazônica. **XI Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas (EBSH)**, período de 19 a 23 de outubro de 2015 em São Carlos – SP. (Pôster)

Rocha, B. C. P.; Rosa, A. H. Estudo da labilidade de mercúrio em solos (alagáveis e não alagáveis) e sedimentos de rios da região Amazônica. **III Workshop do Projeto de P&D intitulado “Biomarcadores de toxicidade do mercúrio aplicados ao setor Hidrelétrico na região Amazônica”**, realizado dia 3 de maio de 2016 no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) em Manaus – AM. (Apresentação Oral)

Rocha, B. C. P.; Rosa, A. H.; Zara, L. F.; da Silva, T. M.; Figueiredo, W. S. Total mercury distribution in organic matter extracted from sources of sediment samples with different types of water in the Amazon Basin. **18° International Conference on Heavy Metals in the Environment (ICHMET)**, período de 12 a 15 de setembro de 2016, Ghent, Bélgica. (Pôster)

AGRADECIMENTO FINANCEIRO

Projeto regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e desenvolvido no âmbito do Programa P&D da Energia Sustentável do Brasil S.A.

P&D: 6631-0001/2012

Contrato Jirau 004/13



Agradecimentos

Agradeço a Deus pela saúde para concluir mais uma etapa da vida e por ter feito meu caminho cruzar com tantas pessoas generosas e dispostas a ajudar ao próximo que me estenderam a mão em momentos difíceis.

A minha mãe, DONA MARIA, exemplo de dignidade, sinceridade, companheirismo e de coragem para enfrentar os obstáculos da vida sempre de cabeça erguida. Ao meu pai, Julio Rocha (Big Boss), agradeço como filho, amigo e aluno pelas lições e ensinamentos que, pacientemente sempre estive disposto a passar para frente dizendo: “Se o conhecimento não for compartilhado a informação perde o sentido e a sociedade para de evoluir”. Aí casal, tenho orgulho de ser filho de vocês. Ao meu irmão Caio, a Virginia, Marcelzinho, Marília e Clóvinho, pessoas que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado sempre que precisei.

A Ana Claudia (Claudinha), minha namorada, companheira e amiga que teve paciência e me apoiou incondicionalmente para que eu completasse mais essa fase da vida. Muito obrigado pelo carinho, respeito e consideração.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Henrique Rosa, pela confiança e paciência que aceitou me orientar mesmo morando em outra cidade e trabalhando a distância, muito obrigado por estar sempre disposto a ajudar com suas sugestões muito competentes e bem intencionadas, serei sempre grato.

Aos amigos da Venturo Análises Ambientais, que sempre estiveram dispostos a me ajudar na parte experimental muitas vezes colocando minhas análises como prioridade deixando os assuntos da empresa em segundo plano, muito obrigado.

Ao Prof. Dr. Gustavo Rocha de Castro, meu primo e ao Prof. Pedro Padilha da UNESP de Botucatu, os dois me apoiaram mesmo antes de ingressar no doutoramento no IQ, abrindo as portas de seus laboratórios sendo que não era aluno do programa.

Aos amigos Ademir, Zara e Wilson Jardim (Bonitinho) obrigado pelos conselhos e ensinamentos durante as campanhas ambientais que fizemos juntos. Muito obrigado a Tânia, pessoa que me ajudou muito na parte estatística do meu trabalho, muito obrigado Tânia.

Obrigado a todos Vocês.

Como Diria Dylan

Hei você que tem de 8 a 80 anos
Não fique aí perdido como ave sem destino
Pouco importa a ousadia dos seus planos
Eles podem vir da vivência de um ancião
ou da inocência de um menino
O importante é você crer
na juventude que existe dentro de você
Meu amigo meu compadre meu irmão
Escreva sua história pelas suas próprias mãos
Nunca deixe se levar por falsos líderes
Todos eles se intitulam porta vozes da razão
Pouco importa o seu tráfico de influências
Pois os compromissos assumidos quase sempre ganham
subdimensão
O importante é você ver o grande líder que existe dentro
de você
Meu amigo meu compadre meu irmão
Escreva sua história pelas suas próprias mãos
Não se deixe intimidar pela violência
O poder da sua mente é toda sua fortaleza
Pouco importa esse aparato bélico universal
Toda força bruta representa nada mais do que um sintoma
de fraqueza.
O importante é você crer nessa força incrível que existe
dentro de você
Meu amigo meu compadre meu irmão
Escreva sua história pelas suas próprias mãos.

Zé Geraldo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Classificação das águas amazônicas	21
1.2 Metais	23
1.2.1 Cobre	26
1.2.2 Chumbo	27
1.2.3 Mercúrio	28
1.3 Sedimentos	31
1.3.1 Mobilização	33
1.4 Extração sequencial / Especificação de espécies metálicas	34
1.5 Matéria orgânica	35
1.5.1 Importância da matéria orgânica (substâncias húmicas) no ambiente	36
1.7 Relevância e Objetivos	37
2 EXPERIMENTAL	39
2.1 Área de estudo	40
2.1.1 Região Hidrográfica Amazônica	40
2.1.2 Localização e descrição dos Rios Madeira, Negro e Tocantins	42
Bacia Hidrográfica do Rio Madeira	42
Formação do rio Madeira	43
Rio Madeira	44
Bacia Hidrográfica do Rio Negro	46
Rio Negro	47
Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia	48
Rio Tocantins	50
2.2 Amostragem	51
2.3 Equipamentos e acessórios	55
2.4 Purificação da água	55
2.5 Limpeza das vidrarias	55
2.6 Reagentes e soluções	56
2.7 Digestão ácida das amostras de sedimentos para quantificar Cu e Pb	57
2.8 Preparo das amostras de sedimentos para quantificação de Hg_{Total}	57
2.9 Extração das substâncias húmicas das amostras de sedimentos	58

2.10 Digestão ácida das substâncias húmicas extraídas das amostras de sedimentos para quantificar Cu e Pb	59
2.11 Preparo das amostras de substâncias húmicas extraídas das amostras de sedimentos para quantificar Hg total	60
2.12 Determinação de carbono orgânico total (COT)	60
2.13 Preparo das amostras de sedimentos para determinação das concentrações totais de cobre, chumbo, ferro e manganês	60
2.14 Extração sequencial das amostras de sedimentos	61
<i>Etapa 1 - Obtenção da primeira fração</i>	61
<i>Etapa 2 - Obtenção da segunda fração</i>	61
<i>Etapa 3 - Obtenção da terceira fração</i>	62
<i>Etapa 4 - Obtenção da quarta fração</i>	62
2.15 Determinações das espécies metálicas	62
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.1 Sedimentos	64
3.1.1 Cobre	64
3.1.2 Chumbo	66
3.1.3 Mercúrio	68
3.1.4 Matéria orgânica	71
3.2 Substâncias húmicas extraídas dos sedimentos	73
3.2.1 Cobre	73
3.2.2 Chumbo	75
3.2.3 Mercúrio	77
3.2.4 Extração sequencial das amostras de sedimentos	82
4. Conclusões	91
Referências	94

RESUMO

Neste trabalho caracterizou-se a distribuição e disponibilidade de cobre, chumbo e mercúrio totais em águas superficiais, substâncias húmicas e frações granulométricas de sedimentos coletados em mananciais dos três diferentes tipos de águas da bacia amazônica, ou seja, rios de água branca (barrenta), rios de água preta e rios de água clara. As amostras foram coletadas durante período de cheia e seca entre 2014 e 2015, nos reservatórios da Usina Hidretrétrica de Jirau (Rio Madeira – RO – água branca), da Usina Hidrelétrica de Cana Brava (Rio Tocantins – GO) e no baixo Rio Negro – AM. As concentrações das espécies analisadas estão de acordo com o disposto na Resolução CONAMA no 454/2012, a qual estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas, preconizando para Cu 35,7 e 197; para Pb 35 e 91,3; e para Hg 0,17 e 0,486 mg kg⁻¹ em referência aos níveis 1 e 2, respectivamente. Os maiores valores médios de concentração de cobre total foram no rio com tipo de água branca (rio Madeira) em seguida no rio com tipo de água clara (rio Tocantins) e rio com tipo de água preta (rio Negro). Podendo-se assim estabelecer a seguinte ordem decrescente de concentração média de Cu nos sedimentos: água branca > água clara > água preta. Para chumbo, os maiores valores médios de concentração foram no rio com tipo de água branca em seguida no rio com tipo de água clara e rio com tipo de água preta. Pode-se estabelecer a seguinte ordem decrescente de média de concentração de Pb nos sedimentos: água branca > água clara > água preta. Os maiores valores médios de concentração de Hg foram no rio com tipo de água preta em seguida no rio com tipo de água clara e rio com tipo de água branca. Pode-se estabelecer a seguinte ordem decrescente de média de concentração de Hg nos sedimentos: água preta > água clara > água branca. Caracterizou-se que, substâncias húmicas extraídas das frações de sedimentos coletados no rio de água preta têm maior concentração de carbono orgânico total e mercúrio total, em relação àquelas extraídas dos sedimentos coletados nos reservatórios de água branca e de água clara. As maiores concentrações de mercúrio total nas substâncias húmicas extraídas dos sedimentos foram determinadas nas frações granulométricas menores dos sedimentos do Rio Negro (água preta). Por outro lado, nos reservatórios de água branca (Rio Madeira) e água clara (Rio Tocantins), foram caracterizadas maiores concentrações de mercúrio total nas substâncias húmicas extraídas de frações com maiores granulometrias. O procedimento de extração sequencial (BCR) possibilitou a obtenção de informações importantes relacionadas à labilidade relativa das espécies metálicas nos sedimentos coletados, assim como uma avaliação do risco ambiental apresentado para cada espécie individual nos três rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. Embora a concentração total de mercúrio nas amostras de sedimentos coletadas no Rio Negro (águas pretas), ser maior que nos demais rios estudados, o menor valor do fator de contaminação global infere que a maior parte do mercúrio está associada a uma fração menos lábil. Ou seja, mercúrio no Rio Negro está menos disponível para participar de trocas na interface sedimento/coluna d'água e, conseqüentemente, para participar de reações, como por exemplo, metilação. Os resultados desse trabalho contribuem para o entendimento da influência da presença da matéria orgânica e outros parâmetros físico-químicos da água e sedimentos na complexação, disponibilidade, transporte e ciclagem e de espécies químicas, particularmente, cobre, chumbo e mercúrio em reservatórios da bacia da região amazônica.

Palavras-chave: Transporte de sedimentos. Substâncias húmicas. Espécies metálicas. Extração sequencial. Região Amazônica.

ABSTRACT

In this work, the distribution and availability of copper, lead and mercury in surface waters, humic substances and granulometric fractions of sediments collected from the three different types of waters of the Amazon basin, ie white water rivers (muddy) , Rivers of black water and rivers of clear water. The samples were collected during the flood and dry period between 2014 and 2015, in the reservoirs of the Jirau Hydroelectric Plant (Rio Madeira - RO - white water), the Cana Brava Hydroelectric Power Plant (Rio Tocantins - GO) and the lower Rio Negro - AM. The concentrations of the species analyzed are in accordance with CONAMA Resolution 454/2012, which establishes the general guidelines and minimum procedures for the evaluation of the material to be dredged in waters, recommending for Cu 35,7 and 197; For Pb 35 and 91.3; And for Hg 0.17 and 0.486 mg kg⁻¹ in reference to levels 1 and 2, respectively. The highest values of total copper concentration were in the river with a white water type (Madeira river), followed by a river with a clear water type (Tocantins river) and a river with a black water type (Rio Negro). It is possible to establish the following order of decreasing average concentration of Cu in the sediments: white water > clear water > black water. For lead, the highest values of concentration were in the river with white water type then in the river with clear water type and river with type of black water. The following order of average Pb concentration can be established in the sediments: white water > clear water > black water. The highest values of Hg concentration were in the river with black water type, then in the river with a clear water type and a white water type river. The following order of average Hg concentration can be established in the sediments: black water > clear water > white water. It was characterized that humic substances extracted from the sediment fractions collected in the black water river have a higher concentration of total organic carbon and total mercury in relation to those extracted from the sediments collected in the white water and clear water reservoirs. The highest concentrations of total mercury in the humic substances extracted from the sediments were determined in the smaller size fractions for the Rio Negro (black water). On the other hand, in white water reservoirs (Rio Madeira) and clear water (Tocantins River), higher concentrations of total mercury were characterized in the humic substances extracted from fractions with larger granulometry. The sequential extraction procedure (BCR) allowed to obtain important information related to the relative lability of the metallic species in the collected sediments, as well as an environmental risk assessment presented by each individual species in the three rivers with different types of water from the Amazon Basin. Although the total concentration of mercury in sediment samples collected in the Rio Negro (black waters) is higher than in the other rivers studied, the lower value of the global contamination factor infers that most of the mercury is associated with a less labile fraction. That is, mercury in the Rio Negro is less available to participate in exchanges at the sediment / water column interface and consequently to participate in reactions such as methylation. The results of this work contribute to the understanding of the influence of the presence of organic matter and other physical and chemical parameters of water and sediments on complexation, availability, transport and cycling and of chemical species, particularly copper, lead and mercury in Amazon region.

Keywords: Sediments. Humic substances. Metallic species. Sequential extraction. Amazon region.

Lista de figuras

Figura 01 – Possibilidades de fluxos de espécies metálicas no ambiente.	24
Figura 02 - Localização geográfica da Região Hidrográfica Amazônica.	40
Figura 03 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Madeira (região em vermelho) na Bacia Hidrográfica Amazônica.	43
Figura 04 - Mapa ilustrativo da localização do Rio Madeira.	45
Figura 05 - Mapa ilustrativo da localização do Rio Negro.	47
Figura 06 - Localização da Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia.	49
Figura 07 - Mapa ilustrativo da localização do Rio Tocantins.	51
Figura 08 - Amostra de sedimento fracionada.	53
Figura 09 - Esquema representativo dos ensaios laboratoriais feitos nas amostras e as técnicas analíticas utilizadas para as determinações das respectivas espécies metálicas de interesse neste trabalho.	54
Figura 10 - Sistema utilizado para limpeza de vidrarias em meio ácido nítrico.	56
Figura 11 - Extração de substâncias húmicas dos sedimentos.	59
Figura 12 - Agitador tipo “end-over-end” utilizado na extração sequencial das espécies metálicas.	61
Figura 13 - Médias de concentração de cobre em sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica.	64
Figura 14 - Concentração de cobre nas frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica.	65
Figura 15 - Médias de concentração de chumbo em sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica.	67
Figura 16 - Concentração de chumbo nas frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica.	68
Figura 17 - Médias de concentração de mercúrio em sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica.	69
Figura 18 - Concentração de mercúrio nas frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica.	70
Figura 19 – Médias de concentração de mercúrio em sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica.	71

- Figura 20** - Teor de carbono orgânico total nas frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 72
- Figura 21** - Médias de concentração de cobre em SH extraídas de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica. 74
- Figura 22** - Concentração de cobre nas substâncias húmicas extraídas das frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica. 74
- Figura 23** - Médias de concentração de chumbo em SH extraídas de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica. 76
- Figura 24** - Concentração de chumbo nas substâncias húmicas extraídas das frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 77
- Figura 25** - Médias de concentração de mercúrio em SH extraídas de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica. 78
- Figura 26** - Concentração de mercúrio nas substâncias húmicas extraídas das frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica. 79
- Figura 27** - Porcentagem de cobre, chumbo e mercúrio distribuídos nas frações (F1, F2, F3 e Residual) de amostras de sedimentos coletados no Rio Tocantins. 82
- Figura 28** - Porcentagem de cobre, chumbo e mercúrio distribuídos nas frações (F1, F2, F3 e Residual) das amostras de sedimentos coletados no Rio Negro. 83
- Figura 29** - Esquema de reação ilustrando o processo de adsorção de uma espécie metálica qualquer na superfície de um óxido hidratado. 85
- Figura 30** - Porcentagem de cobre, chumbo e mercúrio distribuídos nas frações (F1, F2, F3 e Residual) de amostras de sedimento de superfície coletadas no Rio Madeira. 86
- Figura 31** - Estrutura proposta para os ácidos húmicos. 87

Lista de quadros

- Quadro 01** - Mananciais amostrados, tipos de águas amazônicas e coordenadas UTM. Períodos de amostragens de cheia e de seca em 2014-2015. 52
- Quadro 02** - Ordem decrescente da distribuição de cobre nas frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 66
- Quadro 03** - Ordem decrescente da distribuição de chumbo nas frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 68
- Quadro 04** - Ordem decrescente da distribuição de mercúrio nas frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 70
- Quadro 05** - Ordem decrescente do teor de carbono orgânico nas frações de sedimentos coletados nos três rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 72
- Quadro 06** - Ordem decrescente da distribuição de cobre nas substâncias húmicas extraídas das frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 75
- Quadro 07** - Ordem decrescente da distribuição de chumbo nas substâncias húmicas extraídas das frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 81
- Quadro 08** - Ordem decrescente da distribuição de mercúrio nas substâncias húmicas extraídas das frações de sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 80
- Quadro 09** - Sumário dos principais resultados discutidos referentes à caracterização da distribuição de cobre, chumbo e mercúrio em frações de sedimentos de mananciais dos três diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica e em substâncias húmicas extraídas das frações desses sedimentos. 80
- Quadro 10** - Concentrações de cobre, chumbo e mercúrio totais determinadas em amostras de sedimentos coletadas em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 81
- Quadro 11** - Concentração de ferro, manganês e matéria orgânica na fração <63 µm nos sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 85
- Quadro 12** - Concentração de cobre, chumbo e mercúrio em cada etapa do procedimento de extração sequencial feito na fração <63 µm dos sedimentos coletados em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 88

Quadro 13 - Concentração de cobre, chumbo e mercúrio em cada etapa do procedimento de extração sequencial feito no material de referência. 89

Quadro 14 - Valores calculados para o fator de contaminação ambiental para cobre, chumbo e mercúrio nos rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. 89

LISTA DE ABREVIATURAS

AM	Amazonas
BCR	European community bureau of reference
CCME	Conselho canadense de ministros do meio ambiente
CNRH	Conselho nacional de recursos hídricos
COD	Carbono orgânico dissolvido
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente
CVAFS	Espectrometria de fluorescência atômica por geração de vapor frio
EPA	Agência de proteção ambiental
EPI	Equipamento de proteção individual
GO	Goiás
IBAMA	Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis
ICP/OES	Espectrômetro de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado
MO	Matéria orgânica
MON	Matéria orgânica natural
OMS	Organização mundial de saúde
PEL	Nível de efeito provável
PET	Polietileno tereftalato
RHTA	Região hidrográfica do Tocantins-Araguaia
RO	Rondônia
SH	Substâncias húmicas
SIN	Sistema interligado nacional
TEL	Nível de efeito limiar
UHE	Usina hidrelétrica
UTM	Universal transversa de mercados

O desenvolvimento deste projeto de pesquisa demandou esforços humanos relativamente grandes e custos financeiros muito altos. Logo no planejamento inicial esta realidade já foi constatada, principalmente devida às complexas logísticas de campo e de análises laboratoriais. Sendo um projeto de características puramente ambientais, o planejamento resultou em protocolos de amostragens e de análises a serem seguidos rigorosamente durante cada etapa do trabalho. Ou seja, cada descuido ou erro significaria altos custos financeiros e perdas de tempo.

Quanto à parte de campo, as principais despesas e dificuldades inerentes, previstas inicialmente e concretizadas posteriormente foram:

- várias campanhas sazonais com amostragens em três mananciais localizados em três estados da Região Amazônica: Rio Madeira-RO (águas brancas), Rio Negro-AM (águas pretas) e Rio Tocantins-GO;

- custos com passagens aéreas e terrestres, necessidade de muito material e equipamentos, excesso de peso de bagagens aéreas acompanhadas, taxi, preservação de amostras a baixas temperaturas e adequações das mesmas para transportes aéreos. No campo, a disponibilidade de gelo / *gelo*, freezers, caixas térmicas (locais com temperaturas geralmente acima de 27 °C), medicamentos para primeiros socorros, EPI, desconforto durante as amostragens quanto às dificuldades de comunicações via rádio, telefone e/ou internet, calor excessivo, insetos, chuvas intensas, ventos fortes durante navegações e amostragens, obrigatoriedade de legalização de documentação junto a órgãos estaduais e federais para transporte e despacho de amostras a cada campanha, etc.;

- despesas com hospedagens, alimentação/dessedentação, alugueis de veículos e barcos, combustíveis (caminhonetes, barcos e geradores), diárias de barqueiros e mateiros etc.;

Como de modo geral a Região Amazônica felizmente ainda não está diretamente muito impactada por poluentes industriais, as concentrações das espécies metálicas de interesse no projeto, a priori, deveriam estar nos níveis próximos aos basais, ou seja, nos níveis de traço. Isto implicou uma maior atenção nas amostragens em relação a contaminações em campo e nos laboratórios, número e quantidades de amostras relativamente grandes, conservação, transportes e ensaios laboratoriais adequados e com procedimentos visando minimizar erros que certamente causariam o comprometimento da confiabilidade na representatividade do universo amostral e, conseqüentemente nos resultados analíticos gerados.

Quanto à parte experimental do projeto, esta precisou ser desenvolvida no Estado de São Paulo e em dois municípios diferentes. Ou seja, nos laboratórios da Empresa Venturo Análises Ambientais, localizada em Araraquara-SP e do Instituto de Biociências de Botucatu – UNESP, localizado em Botucatu-SP. Conseqüentemente, esta necessária logística gerou mais custos e dificuldades por trabalhar em locais diferentes. Projetos como este, desenvolvidos no âmbito da Química Ambiental, por demandarem várias campanhas de campo com grande número de amostras, também geram grandes quantidades de dados, os quais necessariamente, após análise criteriosa do pesquisador, necessitam de tratamentos estatísticos adequados para se chegar a interpretações / conclusões mais confiáveis. Conseqüentemente os esforços e os custos financeiros aumentam.

Quando se trabalha com concentrações nos níveis de traço, os resultados gerados e as conclusões obtidas devem ser observados de maneira a interpretar partes de um ambiente bastante complexo e tentar relacioná-los com um universo maior. Entretanto, eventualmente, mesmo a despeito de todos os esforços, custos e tempo empregados, estes ainda não são tão suficientes quanto se deseja.

Esta análise crítica do trabalho desenvolvido não o desmerece quanto à fidedignidade dos resultados e conclusões obtidas e, muito menos intenciona não incentivar projetos do gênero. Pelo contrário, tem a intenção de alertar jovens estudantes e pesquisadores quanto a algumas das particularidades, principalmente custos financeiros e esforços humanos inerentes aos projetos de pesquisa em Química Ambiental. Diferentemente de projetos desenvolvidos no âmbito da “química das soluções puras e matrizes preparadas”, trabalhos como este proporcionam: - inestimável aprendizado acadêmico, como por exemplo, quanto a fazer interpretações considerando um universo maior e não somente dados individuais e pontuais. Além de bastante experiência de campo / laboratório oferece oportunidades para se desenvolver qualidades sociais importantíssimas a qualquer profissional como convivência em grupo, sentido participativo e colaborativo aos jovens, como eu, ingressantes na carreira de Pesquisador.

Finalizando, é bom lembrar que, quando se retira uma amostra de parte de qualquer que seja o compartimento ambiental (Litosfera, Hidrosfera ou Atmosfera), para interpretações dos resultados advindos, sempre é aconselhável lembrar-se de versos da letra musical escrita por Nelson Motta e Lulu Santos e imortalizada na voz de Tim Maia:

“Nada do que foi será

De novo do jeito que já foi um dia

Tudo passa, tudo sempre passará (...)

Tudo que se vê não é

Igual ao que a gente viu há um segundo

Tudo muda o tempo todo no mundo (...)”

Potencial hidroelétrico no Brasil: aspectos gerais sobre a geração de energia elétrica na Amazônia

O Brasil está no grupo de países em que a produção de eletricidade é maciçamente proveniente de usinas hidrelétricas, pois esta representa cerca de 75% da potência instalada no país e gerou 93% da energia requerida no Sistema Interligado Nacional (SIN) em 2005 (ONS, 2006). Entretanto, apenas cerca de 30% do potencial hidrelétrico nacional já foi explorado, percentual este bem menor que o observado nos países industrializados. O potencial de 261,4GW estimado pelo Plano 2015 elaborado pela Eletrobrás em 1994 cita que deste montante, cerca de 40% se encontra na região Norte (BRASIL – MME, 2007; TOLMASQUIM, 2011).

Nos últimos 30 anos a oferta primária de energia hidrelétrica no mundo evoluiu concentradamente em duas regiões: Ásia, com destaque para a China e América Latina com destaque para o Brasil. Segundo o *Key World Energy Statistics* (IEA, 2010), em 1973 essas duas regiões representavam cerca de 10% da produção mundial de hidreletricidade, proporção que se elevou para pouco mais de 30% em 2003. No Brasil, conforme dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2006), particularmente entre 1970 e 2003, a potência instalada em usinas hidrelétricas foi acrescida de 55.275 MW, evoluindo de 13.724 MW para quase 69.000 MW. Ou seja, cresceu mais de 2,5 vezes o crescimento médio mundial, atingindo taxa média anual de 6,4% no período (BRASIL – MME, 2007).

Entretanto, no final dos anos 90, embora nominalmente elevada a expansão hidrelétrica foi relativamente pequena quando comparada com a expansão da oferta interna de energia, refletindo as incertezas provocadas pelas alterações institucionais empreendidas na tentativa de enfrentar as dificuldades no financiamento dos investimentos. Uma consequência da expansão modesta nesses anos foi o racionamento ocorrido em 2001-2002 por grande parte do SIN.

De acordo com Tolmasquim, (2005), o desenvolvimento do potencial hidráulico de um país está relacionado com seu desenvolvimento econômico. De forma geral, países economicamente desenvolvidos apresentam taxa de aproveitamento de seu potencial hidráulico bastante superior à dos países em desenvolvimento. Entretanto, deve-se reconhecer que o impacto sócio-ambiental da hidreletricidade pode ser grande, especialmente no caso de aproveitamentos de maior porte e, não por acaso, as restrições ambientais tem sido crescentes. Contudo, se for considerada

ambientalmente relevante a questão de emissões atmosféricas, as vantagens da geração hidrelétrica podem ser significativas.

Impacto ou efeito ambiental pode ser definido como o resultado de uma ação sobre um ser, uma comunidade ou uma região. Refere-se às modificações observadas entre o processo dinâmico anterior e o novo estado criado pela ação introduzida. O princípio de custo-benefício, que deve incluir tanto os valores quantitativos como os qualitativos, é um dos adotados para avaliar o balanço entre os efeitos positivos e os negativos de uma ação proposta e serve para orientar a decisão quanto a implementá-la ou não (MÜLLER, 1995).

Como no Brasil o potencial hídrico remanescente concentra-se na Região Amazônica, o processo de decisão torna-se extremamente complexo, devendo ocorrer de forma cuidadosa embasada em critérios ambientais, técnicos e econômicos. Neste contexto é preciso destacar que a expansão hídrica na Região Norte do país terá implicações diretas sobre o *modus operandi* do sistema elétrico. Estes condicionantes devem-se ao fato da configuração geográfica da região ser essencialmente plana. Assim, em respeito à legislação em vigor é necessário minimizar os impactos ambientais das usinas que venham a ser construídas nesta região, sendo que a principal restrição é a construção de UHE com grandes reservatórios associados.

Esta mudança no paradigma operativo do sistema elétrico brasileiro irá exigir diversificação da matriz de forma a permitir a complementação da geração hídrica ao longo do período seco do ano. Cabe destacar que a necessidade de contratação de projetos de fontes complementares torna-se ainda maior diante ao lento ritmo de implementação das hidrelétricas na Região Norte em função da complexidade das variáveis sócio-ambientais do bioma amazônico.

Embora o potencial hídrico brasileiro remanescente esteja concentrado no bioma amazônico, região bastante sensível as variáveis sócio-ambientais, é possível o estabelecimento de um planejamento para que a exploração desse potencial seja condizente com os preceitos do desenvolvimento sustentável a partir de uma atuação conjunta das esferas energética e ambiental com vistas ao estabelecimento de uma política de desenvolvimento para a região (CASTRO et al., 2012).

A análise da competitividade relativa das fontes energéticas indica que a hidrelétrica deve ser priorizada, especialmente quando se tratam de projetos de

grande porte denominados projetos estruturantes como as UHE de Jirau e Santo Antônio em Rondônia e Belo Monte no Pará.

Devido a seu grande potencial hidráulico e ao notável crescimento econômico brasileiro em âmbito internacional, que tem gerado grandes pressões no sistema energético do país (SOUZA, 2008), o governo lançou em 2011 o Programa Decenal de Expansão de Energia, o qual prevê a construção de 30 novas barragens na Amazônia legal até 2020 (BRASIL, MME, 2011), com prorrogação de barragens menores para depois de 2021 (BRASIL, MME, 2012). Duas das grandes barragens previstas neste Programa para a região Amazônica veem sendo construídas no Rio Madeira, grande afluente da Bacia Amazônica, as Usinas Hidrelétricas Santo Antônio e Jirau, que atualmente se encontram em fase de operação, gerando energia desde dezembro de 2011 na UHE Santo Antônio, e Setembro de 2013 na UHE Jirau (FEARNSIDE, 2014).

CONCLUSÕES

- Para a matéria orgânica foi estabelecida a seguinte ordem decrescente nos sedimentos: águas pretas> águas claras> águas brancas.

- O cobre, no Rio Madeira, distribuiu de maneira uniforme entre as frações de sedimentos de diferentes granulometrias e, nas substâncias húmicas, as maiores concentrações foram determinadas naquelas extraídas das frações de maiores granulometrias. No Rio Tocantins, concentrou-se nas frações de maiores e menores granulometrias e, nas substâncias húmicas (SH), as maiores concentrações de cobre foram determinadas naquelas extraídas das menores frações. No Rio Negro as maiores concentrações de cobre foram determinadas tanto nas frações de sedimentos de menores granulometrias, quanto nas SH extraídas destas frações.

- O chumbo, no Rio Madeira, teve comportamento semelhante ao cobre. Ou seja, distribuiu de maneira relativamente uniforme entre as frações de sedimentos de diferentes granulometrias e, nas substâncias húmicas (SH), as maiores concentrações foram determinadas naquelas extraídas das frações de maiores granulometrias. Nos Rios Negro e Tocantins, as maiores médias de concentração de chumbo nos sedimentos foram determinadas nas frações de menores e maiores granulometrias, com baixas concentrações nas frações intermediárias.

- O mercúrio, no Rio Negro, teve as maiores concentrações nas frações de sedimentos de menores granulometrias, assim como nas SH extraídas destas frações. Situação inversa ocorreu nos Rios Madeira e Tocantins, quanto às SH, nos quais as maiores concentrações médias de Hg foram determinadas nas SH extraídas das frações de sedimentos de maior granulometria. Entretanto, nos sedimentos, mercúrio distribuiu-se de maneira relativamente uniforme entre as frações.

- Os valores de concentração de cobre, chumbo e mercúrio nos sedimentos dos três rios atendem aqueles preconizados pela Resolução CONAMA nº 454/2012.

O procedimento de extração sequencial (BCR) possibilitou a obtenção de informações importantes relacionadas à labilidade relativa das espécies metálicas nos sedimentos coletados, assim como uma avaliação do risco ambiental apresentado por cada espécie individual nos três rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica. Embora a concentração total de mercúrio nas amostras de sedimento coletadas no Rio Negro (águas pretas), ser maior que nos demais rios estudados, o menor valor do fator de contaminação global infere que a maior parte do mercúrio está associada a uma fração menos lábil. Ou seja, mercúrio no Rio Negro está menos

disponível para participar de trocas na interface sedimento/coluna d'água e, conseqüentemente, para participar de reações, como por exemplo, metilação.

Assim, a caracterização da distribuição e da labilidade relativa de espécies metálicas nos sedimentos e substâncias húmicas extraídas de frações granulométricas de sedimentos coletados em sistemas aquáticos com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica, é importante para avaliar a disponibilização de metais para a coluna d'água

O conhecimento ainda limitado sobre a dinâmica de espécies metálicas nas bacias tropicais aumenta a incerteza das análises quantitativas sobre o destino dessas espécies devido a expansão da atividade humana. Ou seja, independentemente da fonte de contaminação, estudos relacionados à elucidação da dinâmica/distribuição de metais potencialmente tóxicos em rios e reservatórios artificiais da Bacia Amazônica, são de fundamental importância, por exemplo, para o desenvolvimento do setor hidrelétrico com responsabilidade sócio-ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Recursos hídricos - disponibilidades e demandas: Bacia Hidrográfica do Rio Madeira e Interbacia Madeira – Purus. In: _____. **Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do Rio Amazonas**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://margemdireita.ana.gov.br/default.asp>> Acesso em: 06 dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Região hidrográfica Amazônica**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em: 05 dez. 2016a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Região hidrográfica do Tocantins - Araguaia**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/TocantinsAraguaia.aspx>>. Acesso em: 07 dez. 2016b.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2nd ed. New York: Chapman & Hall, 1995. 368 p.

ARAIN, M. B.; KAZI, T. G.; JAMALI, M. K.; AFRIDI, H. I.; JALBANI, N.; SARFAZ, R. A.; BAIG, J. A.; KANDHRO, G. A.; MEMON, M. A. Time saving modified BCR sequential extraction procedure for the fraction of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in sediment samples of polluted lake. **J. Hazard. Mater.**, v. 160, p. 235-239, 2009.

BAIRD, C.; CANN, M. Metais pesados tóxicos. In: _____. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. Cap. 15, p. 685-734.

BARBOSA, A. C. JARDIM, W. F.; DOREA, J. G.; FORSBERG, B.; SOUZA, J. Hair mercury speciation as a function of gender, age and body mass index in inhabitants of the Negro River basin, Amazon, Brazil. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 40, p. 439-444, 2001.

BARBOSA, A. C.; SOUZA, J. de.; DOREA, J. G.; JARDIM, W. F.; FADINI, P. S. Mercury biomagnification in a tropical black water, Rio Negro, Brazil. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 45, p. 235-246, 2003.

BARCELÓ, D. Occurrence, handling and chromatographic determination of pesticides in the aquatic environment. **Analyst**, v. 116, p. 681-689, 1991.

BARONA, A.; ARANGUIZ, I.; ELÍAS, A. Assessment of metal extraction, distribution and contamination by a 3-step sequential extraction procedure. **Chemosphere**, v. 39, n. 11, p. 1911-1922, 1999.

BASTOS, W. R.; ALMEIDA, R.; DÓREA, J. D.; BARBOSA, A. C. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). **Ecotoxicology**, v. 16, p. 341-346, 2007.

BERNHARD, M.; BRINCKMAN, F. E.; SADLER, P. J. (Ed). **The importance of chemical "speciation" in environmental process**. Berlim: Springer-Verlang, 1986. 761 p.

BISINOTI, M. C. **Biogeoquímica aquática do mercúrio orgânico na Bacia do Rio Negro, Amazônia**. 2005. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

BISINOTI, M. C. **Produção de Hg orgânico em sedimentos tropicais a partir de Hg⁰: experimentos em microcosmos**. 2002. 133 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

BLOOM, P. R.; McBRIDE, M. B.; WEAVER, R. M. Aluminum organic matter in acid soils: buffering and solution aluminum activity. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, v. 43, n. 3, p. 488-493, Feb. 1979.

BOTERO, W. G.; OLIVEIRA, L. C.; CUNHA, B. B.; OLIVEIRA, L. K.; GOUVEIA, D.; ROCHA, J. C.; FRACETO, L. F.; ROSA, A. H. Characterization of the interactions between endocrine disruptors and aquatic humic substances from tropical rivers. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 22, n. 6, p. 1103-1110, 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano nacional de energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007. 95 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_10.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2020**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/20120302_1.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2021**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/20130326_1.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017.

BUFFLE, J. **Complexation reactions in aquatic systems: an analytical approach**. New York: Ellis Horwood, 1990. 692 p.

BURBA, P. Labile/inert metal species in aquatic humic substances: an ion-exchange study. **Fresenius Environ. Bull.** v. 348, n. 4. p. 301-311, 1994.

BYCZKOWSKI, J. Z.; LIPSCOMB, J. C. Physiologically based pharmacokinetic modeling of the lactational transfer of methylmercury. **Risk Analysis**, v. 21, n. 5, p. 869-882, 2001.

CAMPANHA, M. B. **Biogeoquímica de metais em sedimentos dos rios da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2012.

CANCÈS, B. Changes in arsenic speciation through a contaminated soil profile: a XAS based study. **Sci. Total Environ.**, v. 397, p. 178-189, 2008.

CASTRO, N. J.; BARA NETO, P.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. A. **Expansão do sistema elétrico brasileiro e o potencial hidroelétrico da Região Amazônica**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. (Texto de discussão do setor elétrico, n. 50).

CHOUDHARY, P.; ROUTH, J.; CHAKRAPANI, G. J. An environmental record of changes in sedimentary organic matter from Lake Sattal in Kumaun Himalayas, India. **Sci. Total Environ.**, v. 407, p. 2783-2795, 2009.

CHRISTOPHORIDIS, C.; DEDEPSIDIS, D.; FYTIANOS, K. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. **J. Hazard. Mater.**, n. 168, p. 1082-1091, 2009.

CLAPP, C. E.; HAYNES, M. H. B.; SWIFT, R. S. Isolation fractionation, functionalities, and concepts of structure of water: natural constituents and their influences on contaminant behavior. In: BECK, A. J.; JONES, K. C.; HAYNES, M. H. B.; MINGELGRIN, U. (Ed.). **Organic substances in soil and water: natural constituents and their influences on contaminant behavior**. Cambridge: Royal Chemistry Society, 1993. p. 31-69.

COCKER, J. Biomonitoring for chromium and arsenic in timber treatment plant workers exposed to CCA wood preservatives. **Ann. Occup. Hyg.**, v. 50, n. 5, p. 517-527, 2006.

COMMITTEE ON THE TOXICOLOGICAL EFFECTS OF METHYLMERCURY; BOARD ON ENVIRONMENTAL STUDIES AND TOXICOLOGY; NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Toxicological effects of methylmercury**. Washington, DC: National Academy Press, 2000. 32 p.

CORTECCI, G.; BOSCHETTI, T.; DINELLI, E.; CIDU, R.; PODDAM, F.; DOVERI, M. Geochemistry of trace elements in surface waters of the Arno River Basin, northern Tuscany, Italy. **Appl. Geochem.**, n. 24, p. 1005-1022, 2009.

DEMIRAK, A. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. **Chemosphere**, v. 63, p. 1451-1458, 2006.

DESSAI, D. V. G.; NAYAK, G. N.; BASAVAIHAH, N. Grain size, geochemistry, magnetic susceptibility: proxies in identifying sources and factors controlling distribution of metals in a tropical estuary, India. **Estuarine, Coastal Shelf Sci.**, v. 85, p. 307-318, 2009.

DI LEONARDO, R.; VIZZINI, S.; BELLANCA, A.; MAZZOLA, A. Sedimentary record of anthropogenic contaminants (trace metals and PAHs) and organic matter in a Mediterranean coastal area (Gulf of Palermo, Italy). **J. Mar. Syst.**, n. 78, p. 136-145, 2009.

DOLBEC, J.; MERGLER, D.; LARRIBE, F.; ROULET, M.; LEBEL, J.; LUCOTTE, M. Sequential analysis of hair mercury levels in relation to fish diet of Amazonian population, Brazil. **Sci. Total Environ.**, v. 271, n. 113, p. 87-97, 2001.

DOUAY, F. Contamination of urban soils in an area of northern France polluted by dust emissions of two smelters. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 188, p. 247-260, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Geração hidrelétrica**: caracterização técnico-econômica. Rio de Janeiro: EPE, 2006. Nota técnica. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_3.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2016.

ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O.; RIETZLER, A. C. Caracterização limnológica do reservatório de Salto Grande (Americana, SP): uma análise espacial e temporal. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; LEITE, M. A.; DORNFELD, C. B. (Ed.). **Reservatório Salto Grande (Americana, SP)**: caracterização, impactos e propostas de manejo. São Carlos: RiMa, 2004. p. 37-54.

EUROPEAN SEDIMENT RESEARCH NETWORK. **The opinion of SedNet on environmentally, socially and economically viable sediment management**.

[S.l.:s.n.], 2004. Disponível em:

<http://www.sednet.org/download/SedNet_strategic_paper_2004.pdf> Acesso em: 10 set. 2015.

FADINI, P. S. **Comportamento do ciclo biogeoquímico do mercúrio na Bacia do Rio Negro (AM)**. 1999. 152 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

FADINI, P. S.; JARDIM, W. F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? **Sci. Total Environ.**, v. 275, n. 1/3, p. 71-82, July 2001.

FADINI, P. S.; JARDIM, W. F. Storage of natural water samples for total and reactive mercury analysis in PET bottles. **Analyst**, v. 125, p. 549-551, 2000.

FARAG, A. M.; NIMICK, D. A.; KIMBALL, B. A.; CHURCH, S. E.; HARPER, D. D.; BRUMBAUGH, W. G. Concentrations of metals in water, sediment, biofilm, benthic macroinvertebrates, and fish in the Boulder River Watershed, Montana, and the role of colloids in metal uptake. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 52, n. 3, p. 397-409, 2007.

FEARNSIDE, P. M. Impacts of Brazil's Madeira River Dams: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environ. Sci. Policy**, v. 38, p. 164-172, 2014.

FERREIRA, L. V. Effects of the duration of flooding on espécies richness and floristic composition in three hectares in the Jaú National Park in floodplain forests in central Amazonia. **Biodiversity Conserv.**, v. 6, p. 1353-1363, Oct. 1997.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIRA, S. S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estud. Av.**, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

FORSTNER, U.; WITTMANN, G. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2nd ed. rev. New York: Springer-Verlag, 1981. 486 p.

FRALICK, P. W.; KRONBERG, B. I. Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. **Sediment. Geol.**, v. 113, n. 112, p. 111-124, 1997.

FRIMMEL, F. H. Aquatic humic substances. In: HOFRICHTER, M.; STEINBUHEL, A. (Ed.). **Lignin, humic substances and coal**. Weinheim: Wiley-VCH, c2004. Chap. 10, p. 301-310. (Biopolymers, v. 1). Disponível em: <https://application.wiley-vch.de/books/biopoly/pdf/v01_kap10.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2016.

GALVÃO, R. C. F.; BERNARDI, J. V. E.; DÓREA, J. G.; BARBOSA, A. C.; BASTOS, W. R.; MANZATTO, A. G.; LANDIM, P. M. B. Uso de krigagem indicativa para verificação da distribuição de mercúrio total em sedimentos de fundo no Alto Rio Madeira. In: CONFERÊNCIA DO SUBPROGRAMA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA. 2008, Belém. **Anais...** Brasília: CNPq, 2009. p. 154-158. Fase II/PPG7. Disponível em: <<http://centrodememoria.cnpq.br/Anais-SPCT.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

GOLDSTEIN, S. J.; JACOBSEN, S. B. Nd and Sr isotopic systematic of river water suspended material: implications for crustal evolution. **Earth Planet. Sci. Lett.**, v. 87, p. 249-265, 1988.

GONDAL, M. A.; HUSSAIN, T. Determination of poisonous metals in wastewater collected from paint manufacturing plant using laser-induced breakdown spectroscopy. **Talanta**, v. 71, p. 73-80, 2007.

GOWD, S. S.; GOVIL, P. K. Distribution of heavy metals in surface water of Ranipet industrial area in Tamil Nadu, India. **Environ. Monit. Assess.**, v. 136, p. 197-207, 2008.

GRANER, C. A. F.; ZUCCARI, M. L.; PINHO, S. Z. Chemical oxygen demand(COD) determination in waters by simultaneous spectrophotometry of chromium(III) and dichromate ions. **Eclética Quím.**, v. 23, p. 31-44, 1998.

GRIEPINK, B. Some considerations with regard to the quality of results of analysis of trace element extractable contents in soil and sediment. **Int. J. Environ. Anal. Chem.**, v. 51, p. 123-128, 1993.

GROOT, A. J. Metals and sediments: a global perspective. In: ALLEN, H. E. (Ed.). **Metal contaminated aquatic sediments**. Michigan: Ann Airboe Press, 1995. p. 1-20.

HALBACH, S. Toxicity of detrimental metal ions. In: BERTHON, G. (Ed.). **Handbook of metal-ligand interactions in biological fluids-bioinorganic medicine**. Basel: Marcel Decker, 1995. v. 2, p. 749-754.

HART, B. Trace metal complexing capacity of natural waters: a review. **Environ. Technol. Lett.**, v. 2, p. 95-110, 1981.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook 2010**. Paris: OECD/IEA, 2010. 731 p. Disponível em: <<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo2010.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2015.

KANG, J.-H.; LEE, Y. S.; KI, S. J.; LEE, Y. G.; CHA, S. M.; CHO, K. H.; KIM, J. H. Characteristics of wet and dry weather heavy metal discharges in the Yeongsan Watershed, Korea. **Sci. Total Environ.**, v. 407, n. 11, p. 3482-3493, 2009.

- KAUSHIK, A.; KANSAL, A.; SANTOS, A.; MEENA; KUMARI, S.; KAUSHIK C. P. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: assessment by metal enrichment factor of the sediments. **J. Hazard. Mat.**, v. 164, p. 265-270, 2009.
- KAZI, T. G.; JAMALI, M. K.; KAZI, G. H.; ARAIN, M. B.; AFRIDI, H. I.; SIDDIQUI, A. Evaluating the mobility of toxic metals in untreated industrial wastewater sludge using a BCR sequential extraction procedure and a leaching test. **Anal. Bioanal. Chem.**, v. 383, p. 297-304, 2005.
- KERSTEN, M.; FORSTNER, U. Chemical fractionation of heavy metals in anoxic estuarine and coastal sediments. **Wat. Sci. Tech.**, v. 18, p. 121-130, 1986.
- KRABBENHOFT, D. P.; SUNDERLAND, E. M. Global change and mercury. **Science**, v. 341, p. 1457-1458, Sept. 2013.
- LÃ, O. R.; BARRA, C. M.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; VELLOSO, A. C. X. Avaliação dos métodos de extração seqüencial de Tessier, Keller e Miller na determinação de ferro nativo em três tipos de solos: orgânico, brunizem e latossolo. **Quím. Nova**, v. 26, n. 3, p. 323-330, 2003.
- LACERDA, D. L.; SOLOMONS, W. **Mercury from gold and silver mining: a chemical time bomb?** Berlim: Springer, 1998. 146 p.
- LACORTE, S.; BARCELÓ, D. Rapid degradation of fenitrothion in estuarine waters. **Environ. Sci. Technol.**, v. 28, p. 1159-1163, 1994.
- LAM, K. F.; YEUNG, K. L.; MCKAY, G.; Efficient approach for Cd²⁺ and Ni²⁺ removal and recovery using mesoporous adsorbent with tunable selectivity. **Environ. Sci. Technol.**, v. 41, p. 3329-3334, 2007.
- LECHLER, P.; MILLER, J.; LACERDA, L. D.; LAYONS, W. D.; BONSONGO, J. Mercury concentration in water, soils, sediments and fish in the Maderia River region, Amazon: effects of high natural concentration? **Sci. Total Environ.**, v. 260, p. 173-181, 2000.
- LEE, J. D. **Química inorgnica no to concisa**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 426 p.
- LIDE, D. R. (Ed.). **CRC handbook of chemistry and physics**. 89th ed. Boca Raton: CRC, 2008.
- LONG, Y.-Y.; HU, L.-F.; FANG, C.-R.; WU, Y.-Y.; SHEN, D.-S. An evaluation of the modified BCR sequential extraction procedure to assess the potential mobility of copper and zinc in MSW. **Microchem. J.**, v. 91, p. 1-5, 2009.
- MacDONALD, B. C. T. Discharge of weathering products from acid sulfate soils after a rainfall event, Tweed River, eastern Australia. **Appl. Geochem.**, v. 22, p. 2695-2705, 2007.

MACEDA-VEIGA, A.; MONROY, M.; SOSTOA, A. Metal bioaccumulation in the Mediterranean barbell (*Barbus meridionalis*). In a Mediterranean River receiving effluents from urban and industrial wastewater treatment plants. **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, v. 76, p. 93-101, 2011.

MANAHAN, S. E. **Water pollution fundamentals of environmental chemistry**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 1205 p.

MASUR, L. C. A review of the use of mercury in historic and current ritualistic and spiritual practices. **Altern. Med. Rev.**, v. 16, n. 4, p. 314-320, 2011.

MICARONI, R. C. C. M.; BUENO, M. I. M. S.; JARDIM, W. F. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. **Quím. Nova**, n. 23, v. 4, p. 487-495, 2000.

MIL-HOMENS, M.; BRANCO, V.; LOPES, C.; VALE, C.; ABRANTES, F.; BOER, W.; VICENTE, M. Using factor analysis to characterise historical trends of trace metal contamination in a sediment core from the tagus prodelta, Portugal. **Water, Air, Soil Poll.**, v. 197, n. 1, p. 277-287, 2009.

MINELLO, M. C. S.; PACO, A. L.; CASTRO, R. S. D.; CAETANO, L. C.; PADILHA, P. M.; FERREIRA, G.; MARTINES, M. A. U.; CASTRO, G. R. Evaluation of heavy metal availability in contaminated sediments from the Ilha Solteira hydroelectric dam on the Paraná river at Ilha Solteira, SP, Brazil. **Fresenius Environ. Bull.**, v. 19, n. 10, p. 2210-2224, 2010.

MIRANDA, J. C.; MAZZONI, R. Estrutura e persistência temporal da comunidade de peixes de três riachos do Alto Rio Tocantins, GO. **Biota Neotrop.**, v. 9, n. 4, p. 71-78, out./dez. 2009.

MIRANDA, M. R.; COELHO-SOUZA, S. A.; GUIMARÃES, J. R. D.; CORREIA, R. R. S.; OLIVEIRA, D. Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores ambientais que afetam a metilação. **Oecol. Bras.**, v. 11, n. 2, p. 240-251, 2007.

MOON, T. W.; MOMMSEN, T. P. (Ed.). **Environmental toxicology**. Amsterdam: Elsevier Science, 2005. 562 p. (Biochemistry and molecular biology of fishes, v. 6).

MOORE, J. W.; RAMAMOORTHY, S. **Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment**. New York: Springer-Verlag, c1984. 268 p.

MORENO, T. Recreational atmospheric pollution episodes: inhalable metalliferous particles from firework displays. **Atmos. Environ.**, v. 41, p. 913-922, 2007.

MORRISON, G. M. P.; BATLEY, G. E.; FLORENCE, T. M. Metal speciation and toxicity. **Chem. Brit.**, v. 25, n. 8, p. 791-796, 1989.

MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. **Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce**. São Carlos: Cubo Multimídia & Propaganda, 2006. 222 p.

MUDROCK, A.; MacNIGHT, S. D. **Handbook of techniques for sediments sampling**. Boca Raton: CRC Press, 1991. 255 p.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995. 412 p.

OLIVEIRA, L. C. **Substâncias húmicas aquáticas do rio Negro-AM**: influência da sazonalidade nas características estruturais, distribuição de carbono e capacidade de complexação por íons Hg(II) em função do tamanho molecular. 2007. 98 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2007.

OLIVEIRA, L. C.; BOTERO, W. G.; SANTOS, A.; CORDOVIL, M. C. O.; ROCHA, J. C.; SILVA, H. C. Influência das características físico químicas do solo no ciclo hidrobiogeoquímico do mercúrio na região do Rio Aracá – AM. **Quím. Nova**, v. 34, n. 8, p. 1303-1308, 2011.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Atuação do ONS**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/atuacao/index.aspx>>. Acesso em: 10 jan 2017.

OSTRANDER, G. K. **Thechniques in aquatic toxicology**. Boca Raton: CRC Press, 2005. v. 2, 788 p.

PEARSON, R. G. Hard and soft acids and bases. **J. Anal. Chem. Soc.**, v. 85, n. 22, p. 3533-3539, 1963.

PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 627-638, 2009.

PRANCE, G. T. Notes on vegetation of Amazonia III. The terminology of Amazonian forest types subject to inundation. **Brittonia**, v. 31, p. 26-38, 1987.

PTISTISEK, N.; MILACIC, R.; VEBER, M. Use of the BCR three-step sequential extraction procedure for the study of the partitioning of Cd, Pb and Zn in various soils. **J. Soils Sediments**, v. 1, p. 25-29, 2001.

RAYNER-CANHAM, G. The group 12 elements. In:_____. **Descriptive inorganic chemistry**. 2nd ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2000. p. 504-517.

RENZONI, A.; ZINO, F.; FRANCHI, E. Mercury levels along the food chain and fish for exposed populations. **Environ. Res.**, v. 77, n. 2, p. 68-72, 1998.

RIO Madeira. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Madeira>. Acesso em: 06 dez. 2016.

RIO Negro (Amazonas). In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Negro_\(Amazonas\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Negro_(Amazonas))>. Acesso em: 06 dez. 2016.

RIO Tocantins. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: <<http://www.zonu.com/fullsize/2009-09-17-1963/Fluviales-y-Canales-Cuenca-de-los-Rios-TocantinsAraguaia.html>> Acesso em: 08 dez. 2016.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. **Substância húmicas aquáticas: interações com espécies metálicas**. São Paulo: Ed. Unesp, 2003. 120 p.

ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, S. C.; SANTOS, A. dos. Noções sobre o desenvolvimento do saneamento básico. **Saneam. Ambient.**, n. 39, p. 36-43, 1996.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 256 p.

ROCHA, J. C.; TOSCANO, I. A. S.; BURBA, P. Lability of heavy metal species in aquatic humic substances chracterized by ion exchange with cellulose phosphate. **Talanta**, v. 44, p. 69-74, 1997.

ROCHA, J. C.; TOSCANO, I. A. S.; CARDOSO, A. A. Relative lability of trace metals complexed in aquatic humic substances using ion-exchanger cellulose-hyphan. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 8, p. 239-243, 1997.

ROCHA, J. C.; SENE, J. J. de; BURBA, P.; KLOCKOW, D. Interaction of mercury II with humic substances from the Rio Negro (Amazonas State, Brazil) by means of ion exchange procedure. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 9, n. 1, p. 79-84, 1998.

ROCHA, J. C.; SENE, J. J. de; SANTOS, A.; TOSCANO, I. A. S.; ZARA, L. F. Aquatic humus from an unpolluted Brazilian dark-brown stream: general characterization and size fractionation on bound heavy metals. **J. Envir. Monit.**, v. 2, p. 39-44, 2000.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAINT-AUBIN, A.; TRAN, S.; RHEAULT, I.; FARELLA, N.; SILVA, E. de J. da; DEZENCOURT, J.; PASSOS, C. J. S.; SOARES, G. S.; GUIMARÃES, J. R. D.; MERGLER, D.; AMORIM, M. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chao formation of the lower Tapajos River Valley, Para state, Brazil. **Sci. Total Environ.**, v. 223, n. 1, p. 1-24, 1998.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; FARELLA, N.; SERIQUE, G.; COELHO, H.; PASSOS, C. J. S.; SILVA, E. J. da; ANDRADE, P. S.; MERGLER, D.; GUIMARÃES, J. R. D.; AMORIM, M. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian Ecosystems. **Water, Air, Soil Poll.**, v. 112, n. 3/4, p. 297-313, June 1999.

SANTORO, A.; BLO, G.; MASTROLITTI, S.; FAGIOLI, F. Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macroinvertebrates along the Basento River in the south of Italy. **Water, Air, Soil Poll.**, v. 201, p. 19-31, 2009.

SANTOS, A. dos. **Interação entre espécies metálicas e substâncias húmicas extraídas de solo da micro bacia de drenagem do reservatório de captação de água Anhumas – Araraquara-SP**. 2003. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SANTOS, A. dos; ROCHA, J. C.; REZENDE, M. O. O.; ROSA, A. H.; SARGENTINI JUNIOR, É. Distribution profile and availability of Cr, Ni, Cu, Cd and Pb in different sediments from Anhumas surface water collection reservoir, Araraquara - São Paulo, Brazil. **Fresenius Environ. Bull.**, v. 11, n. 11, p. 979-984, 2002.

SANTOS, R. I. dos. **Metais pesados em sedimentos de fundo no alto Rio Madeira, Amazônia ocidental**. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual do Amazonas, Manaus, 2014.

SANTOS, S.; OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, A.; ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. Poluição aquática. In: ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (Org.). **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012. Cap. 1, p. 17-46.

SANTOS, T. C. R.; ROCHA, J. C.; BARCELÓ, D. Multiresidue analysis of pesticides in water from rice cultures by on-line solid phase extraction followed by LC-DAD. **Intern. J. Environ. Anal. Chem.**, v. 70, p. 19-28, 1998.

SILVA, G. S. **A dinâmica biogeoquímica do mercúrio na Bacia do Rio Negro (AM) e seus fluxos na interface água/atmosfera**. 2004. 102 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SILVA, G. S. da; JARDIM, W. F.; FADINI, P. S. Elemental gaseous mercury flux at the water/air interface over the Negro River basin, Amazon, Brazil. **Sci. Total Environ.**, v. 368, n. 1, p. 189-198, Sept. 2006.

SILVA, L. A.; SCARIOT, A. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, Bacia do Rio Paranã). **Acta Bot. Bras.**, v. 17, n. 2, p. 305-313, abr./jun. 2003.

SILVA-FORSBERG, M. C.; FORSBERG, B. R.; ZEIDEMANN, V. K. Mercury contamination in humans linked to river chemistry in the Amazon Basin. **Ambio**, v. 28, p. 519-521, 1999.

SIOLI, H. **Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Petrópolis: Vozes, 1985. 72 p.

SOUZA, A. C. C. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. **Renewable Sustainable Energy Rev.**, v. 12, p. 1843-1863, 2008.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reaction**. New York: John Wiley & Sons, 1982. 443 p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reaction**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 512 p.

TESSIER, A.; CAMBELL, P. G. C. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Anal. Chem.**, v. 51, n. 7, p. 844-851, 1979.

THOMAS, F.; MASON, A.; BOTTERO, J. Y.; ROUILLER, J.; MONTIGNY, F.; GENÉVRIER, F. Aluminium(III) speciation with hydroxy carboxylic acids ²⁷Al NMR study. **Environ. Sci. Technol.**, v. 27, p. 2511-2516, 1993.

TOLMASQUIM, M. T. **Geração de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005. 198 p.

TOMAZELLI, A. C. Biomonitoring of Pb and Cd in two impacted watersheds in southeast Brazil, using the freshwater mussel *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Mycetopodidae) as a biological monitor. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, v. 46, p. 673-684, 2003.

TUNA, A. L. Sources and distribution of trace metals in the Saricay stream basin of southwestern Turkey. **Environ. Monit. Assess.**, v. 125, p. 47-57, 2007.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Ed.). **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FUNBIO/FAPESP, 1999. p. 19-38.

URE, A. M.; QUEVAUVILLER, Ph.; MUNTAU, H.; GRIEPINK, B. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. **Int. J. Environ. Anal. Chem.**, v. 51, p. 135-151, 1993.

VICENTE-MARTORELL, J. J.; GALINDO-RIANO, M. D.; GARCIA-VARGAS, M.; GRANADO-CASTRO, M. D. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. **J. Hazard. Mater.**, v. 162, p. 823-836, 2009.

WASSERMAN, J. C.; HACON, S. S.; WASSERMAN, M. A. O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico. **Mundo Vida**, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.

WERSHAW, R. L. Model for humus in soils and sediments. **Environ. Sci. Technol.**, v. 27, p. 814-816, 1993.

YAYMTAS, O. T. Determination of heavy metal pollution with environmental physicochemical parameters in waste water of Kocabas Stream (Biga, Canakkale, Turkey) by ICP-AES. **Environ. Monit. Assess.**, v. 127, p. 389-397, 2007.

YI, Y. Sediment pollution and its effect on fish through food chain in the Yangtze River. **Int. J. Sediment Res.**, v. 23, p. 338-347, 2008.