

Universidade do Estado do Pará
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado



Caio Renan Goes Serrão

Pescado como bioindicador da exposição a elementos metálicos: Determinação de Cr, Zn e Fe em músculo e brânquias de peixes da microbacia do Rio Piraíba – Distrito de Icoaraci, Belém Pará.

Belém
2013



Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado
Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Belém-PA, CEP: 66.095-100
<http://www.uepa.br/paginas/pcambientais>

Caio Renan Goes Serrão

Pescado como bioindicador da exposição a elementos metálicos: Determinação de Cr, Zn e Fe em músculo e brânquias de peixes da microbacia do Rio Piraíba – Distrito de Icoaraci, Belém, Pará

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado do Pará.
Orientador(a): Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes.
Co-orientadora: Profa. Dra. Kelly das Graças Fernandes Dantas.

Belém
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP),
Biblioteca do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, UEPA, Belém - PA.

S487p Serrão, Caio Renan Goes

Pescado como bioindicador da exposição a elementos metálicos: determinação de Cr, Zn e Fe em músculo e brânquias de peixes da microbacia do Rio Piraíba – Distrito de Icoaraci, Belém, Pará. / Caio Renan Goes Serrão; Orientação Altem Nascimento Pontes; Co-orientação Kelly das Graças Fernandes Dantas. -- Belém, 2013.

49 f. : il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, 2013.

1. Peixe. 2. Peixe – efeito dos metais pesados. 3. Cromo. I. Pontes, Altem Nascimento. II. Dantas, Kelly das Graças Fernandes. III. Título.

CDD 597.0981

Caio Renan Goes Serrão

Pescado como bioindicador da exposição a elementos metálicos: Determinação de Cr, Zn e Fe em músculo e brânquias de peixes da microbacia do Rio Piraíba – Distrito de Icoaraci, Belém, Pará

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado do Pará.

Data da aprovação: 01/04/2013

Banca Examinadora

Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes - Orientador
Doutor em Física
Universidade do Estado do Pará

Prof. Dr. Heronides Adonias Dantas Filho - Membro
Doutor em Química
Universidade Federal do Pará

Profª. Dra. Dulcidéia da Conceição Palheta - Membro
Doutora em Ciências Biológicas
Universidade Federal Rural da Amazônia

Aos meus pais Ronaldo e Iolanda pelo apoio e dedicação durante toda a minha vida, em especial, durante o período de construção deste trabalho.

À minha irmã Izabelle pela compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais que são o alicerce da minha vida, Iolanda e Ronaldo Serrão.

À minha querida irmã Izabelle pelo apoio, carinho, amizade e compreensão.

Às primas Lorena e Isis pela grande amizade, consideração, apoio e incentivo.

Ao meu avô Hugo Pinheiro Gurgel (*in memoriam*) que sempre se orgulhou e sempre acreditou em meu sucesso e foi fonte de sabedoria, respeito e carinho durante minha formação como pessoa.

Ao meu avô Waldivino Coelho Serrão (*in memoriam*) pelo respeito, consideração, sabedoria e exemplo de homem que sempre foi.

Às minhas avós Irene Amorim Serrão e Rosa de Amorim Goes pelas palavras de conforto e incentivo nas horas mais difíceis.

Às queridas amigas Patrícia Aido, Rafaela Lima Gleicy Quemel, Letícia Miquilini e Yasmin Monteiro pelas palavras de sabedoria e pela grande amizade e consideração.

À querida amiga Profa. Dulcimar Brito pela grande consideração, respeito e amizade.

À amiga Daniele Moysés pelo grande apoio durante a construção deste trabalho.

A todos os meus colegas do curso de pós-graduação em Ciências Ambientais.

Aos amigos: Alex Silva, Patrícia Homobono e Alba Rocio Aguilar.

Aos amigos do Laboratório de Espectrometria Analítica e Aplicada, em especial à Patrícia Nunes, Junior Pereira, Fábio Carvalho, Allan Cruz e Bianca Alves.

Aos professores Heronides Adonias Dantas Filho e Dulcidéia da Conceição Palheta.

À minha co-orientadora, Profa. Dra. Kelly das Graças Fernandes Dantas pelo acolhimento, apoio, respeito, aprendizado e competência durante a construção deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes pelos conselhos, apoio, amizade e, principalmente, por acreditar no sucesso deste trabalho.

Aos professores do curso de pós-graduação em Ciências Ambientais, em especial à Hebe Morganne, Flávia Lucas e Lucieta Martorano pela grande contribuição acadêmica.

Às secretárias do curso de pós-graduação Lionete Castanho e Adriana Brito.

À UEPA.

À Deus pelo dom da vida, pelas conquistas e pelos sonhos realizados.

RESUMO

A biota aquática apresenta um forte potencial para bioacumular elevados níveis de elementos metálicos a partir do ambiente. O monitoramento de ambientes aquáticos por meio do uso de bioindicadores tem sido objeto de estudo em vários trabalhos recentes, principalmente, devido a preocupação com os efeitos prejudiciais que os níveis de elementos metálicos podem apresentar para os organismos aquáticos e também por criar riscos relacionados ao consumo humano de alimentos contaminados. Foram quantificados os teores de Cr, Fe e Zn em músculos e brânquias de peixes de sete espécies da região amazônica, coletados no rio Piraíba localizado no distrito administrativo de Icoaraci, na cidade de Belém – Pará. Para a quantificação do elemento metálico Cr foi utilizada espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite e para a determinação de Fe e Zn, foi utilizada espectrometria de absorção atômica com chama. A validação do método foi desenvolvida através de experimento de adição e recuperação. Os teores de Cr obtidos foram ($< 0,19 - 4,93 \mu\text{g g}^{-1}$) em músculo, para brânquias ($0,20 - 206,50 \mu\text{g g}^{-1}$), para o elemento Fe no músculo ($< 8,00 - 27,00 \mu\text{g g}^{-1}$), em brânquias ($< 8,00 - 2130,33 \mu\text{g g}^{-1}$), para Zn foram obtidos em músculo ($8,93 - 42,39 \mu\text{g g}^{-1}$) e em brânquias ($31,30 - 282,36 \mu\text{g g}^{-1}$). Na análise dos dados foi calculado o índice de ingestão semanal tolerável para os três componentes minerais e foi aplicada análise de componentes principais (PCA) e análise hierárquica de agrupamentos (HCA). Os resultados obtidos para Cr excederam os limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde para consumo humano tanto em músculo quanto em brânquias. Os teores de Zn não ultrapassaram os valores da legislação para músculo e excederam para brânquias e para o Fe foram obtidas altas concentrações nas brânquias.

Palavras-chave: Peixe. Bioindicadores. Cromo. Ferro. Zinco.

ABSTRACT

The aquatic biota has a great potential to bioaccumulate high levels of the metallic elements from the environment. The monitoring of aquatic environments through use of biomarkers has been studied in several recent papers, mainly due to the concern about the harmful effects that the levels of metallic elements may present to aquatic organisms and also by creating risks for human consumption of contaminated food. It was quantified the levels of Cr, Fe and Zn in fish muscle and gills of seven species found in Amazon, collected in River Piraíba located at the administrative district Icoaraci (DAICO), at the city of Belém – PA. To quantify the metal element Cr it was used atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization in graphite furnace (GFAAS), and for the determination of Fe and Zn, was used spectrometry flame atomic absorption (FAAS). The method validation was developed through addition and recovery experiment. The levels of Cr obtained were ($<0,19 - 4,93 \mu\text{g g}^{-1}$) in muscle, for gills ($0,20 - 206,50 \mu\text{g g}^{-1}$), for the element Fe in the muscle tissue ($<8,00 - 27,00 \mu\text{g g}^{-1}$), in fish gills ($<8,00 - 2130,33 \mu\text{g g}^{-1}$), for Zn were obtained in muscle ($8,93 - 42,39 \mu\text{g g}^{-1}$) for gills ($31,30 - 282,36 \mu\text{g g}^{-1}$). In the data analysis it was calculated the index tolerable weekly intake levels for the three mineral components for main component analysis (PCA) was applied and hierarchical cluster analysis (HCA). The results obtained for Cr exceeded the limits set by the Ministry of Health for human consumption both in muscle and in fish gills. Zn levels did not exceed the established values of legislation for muscle and exceeded for fish gills for Fe high concentrations in the gills were obtained.

Keywords: Fish. Bioindicators. Chromium. Iron. Zinc.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Identificação taxonômica e biometria dos peixes	23
Tabela 2	Programa de aquecimento do forno de micro-ondas	24
Tabela 3	Parâmetros instrumentais para determinação de Fe, Zn e Cr	25
Tabela 4	Programa de aquecimento do forno de grafite	25
Tabela 5	Resultados obtidos na determinação de Cr, Zn e Fe	29
Tabela 6	Estimativa de ingestão semanal e porcentagem do PTWI	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da Área de Estudo	20
Figura 2	<i>Scores e Loadings</i> para amostras de Peixe	34
Figura 3	Dendograma apresentando a análise hierárquica de agrupamentos	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAICO	Distrito Administrativo de Icoaraci
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
RMB	Região Metropolitana de Belém
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
UFRA	Universidade Federal Rural da Amazônia
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
UFPA	Universidade Federal do Pará
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
PCA	Análise de Componentes Principais
HCA	Análise hierárquica de agrupamento
GFAAS	Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite
FAAS	Espectrometria de Absorção Atômica com Chama
PTWI	<i>Provisional Tolerable Weekly Intake</i>
JECFA	<i>Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives</i>
LOD	Limite de Detecção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL	12
2	ARTIGO	15
	TÍTULO DO ARTIGO: Biomonitoramento de Elementos Metálicos em peixes de água doce da Região Amazônica utilizando Análise Multivariada	
	ABSTRACT	16
2.1	INTRODUÇÃO	17
2.2	PARTE EXPERIMENTAL	19
2.2.1	Área de Estudo	19
2.2.2	Equipamentos	21
2.2.3	Reagentes e soluções	21
2.2.4	Amostras	22
2.2.5	Procedimento analítico	24
2.2.5.1	Digestão das amostras	24
2.2.5.2	Análise elementar	24
2.2.6	Tratamento estatístico dos dados	26
2.2.6.1	Estatística descritiva	26
2.2.6.2	Análise de componentes principais	26
2.2.6.3	Análise hierárquica de agrupamentos	26
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
2.3.1	Determinação de Cr, Fe e Zn em tecidos de peixes	27
2.3.2.	Cálculo de estimativa de ingestão semanal	30
2.3.3	Parâmetros de desempenho analítico na determinação de Cr, Fe e Zn	32
2.3.4	Estudo Quimiométrico	33
2.4	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39
	ANEXOS	41

1 – INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso natural que apresenta fundamental importância para o mundo. A região amazônica possui importantes recursos hídricos representados pela bacia amazônica e seus afluentes. Segundo Correa *et al.* (2007), a bacia amazônica é a maior rede fluvial do planeta e corresponde a aproximadamente 20% do total de água doce despejada nos oceanos. Além disso, abriga uma fauna de peixes rica e abundante que vem servindo como fonte de alimento e renda há bastante tempo para as comunidades locais.

A qualidade da água em qualquer ponto de um rio/tributário reflete a influência da geologia, vegetação, solo, clima e, sobretudo, do homem (MOURA *et al.*, 2010).

A contaminação dos recursos hídricos, causada por diferentes atividades humanas, gera impactos que alteram a qualidade da água disponível, podendo causar sérios danos para a saúde humana e até mesmo interferir em atividades econômicas que dependam do bom estado dos rios e mananciais, como por exemplo a indústria pesqueira (BUSS *et al.*, 2003).

O pescado é, historicamente, a base alimentar da população amazônica, sendo que a média de consumo de pescado brasileiro é de 6,8 kg/habitante/ano. Na Amazônia consome-se cerca de 50 kg/habitante/ano (IBGE, 2010).

Estimativas indicam que o potencial pesqueiro da região amazônica gira entre 270 e 920 mil toneladas ao ano. Os negócios no setor podem gerar cerca de 600 mil empregos diretos e indiretos (72% dos quais no âmbito da pesca de sobrevivência), além de uma renda de US\$ 200 milhões anuais (SANTOS & SANTOS, 2005).

O consumo de peixe em más condições pode causar infecções e intoxicações que podem estar relacionadas à contaminação por componentes inorgânicos e substâncias orgânicas. A biota aquática está constantemente exposta a um grande número de substâncias tóxicas lançadas no ambiente provenientes de diversas fontes de emissão (FONSECA *et al.*, 2005).

Bioindicadores são definidos como qualquer resposta a um contaminante ambiental medidos no organismo ou matriz biológica, indicando um desvio do *status* normal, ou seja, são medidas de fluidos corporais, células, tecidos ou medidas realizadas sobre o organismo completo, que indicam, em termos bioquímicos, celulares, fisiológicos, químicos, compartimentais ou energéticos, a presença de substâncias contaminantes ou a magnitude da resposta do organismo alvo (ARIAS

et al., 2007). Assim, O despejo de lixos tóxicos, efluentes industriais, resíduos de processos de drenagem agrícola, derrames acidentais de lixos químicos e os esgotos domésticos lançados em rios contribuem para a contaminação dos ecossistemas aquáticos que apresentam um forte potencial bioindicador.

Os bioindicadores permitem identificar as interações que ocorrem entre os contaminantes e os organismos vivos, além de possibilitar a mensuração de efeitos sub-letais, permitindo que sejam colocadas em prática ações remediadoras e ações de prevenção (GOULART E CALLISTO, 2003).

Poucos estudos têm sido desenvolvidos com espécies de peixes da região amazônica e os que têm sido feitos, envolvem poucas espécies, análises superficiais e pouco conclusivas. Portanto, torna-se bastante importante a incorporação de estudos com bioindicadores em programas de monitoramento e avaliação da qualidade ambiental.

O objetivo deste estudo foi analisar o potencial bioindicador de peixes de sete espécies amazônicas e mensurar a extensão da contaminação ambiental causada por influência de um pólo industrial localizado na cidade de Belém, Pará.

1.1 – REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

ARIAS, A. R. L. *et al.* Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. *Ciência e saúde coletiva*, Rio de Janeiro, vol.12, n.1, p. 61-72, 2007.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, vol.19, n.2, p. 465-473, 2003.

CORREIA, F. W. ; CANDIDO, L. A.; MANZI, A. O. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. *Ciência e Cultura (SBPC) jcr*, v. 59, p. 39-43, 2007.

FONSECA, B. C.; FARIAS, L. A.; CURCHO, M. R. M.; BRAGA, E. S.; Fávaro, D. I. T. Avaliação da concentração de elementos traço e de mercúrio total em pescados comercializados na cidade de Cubatão, estado de São Paulo. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 10., 2009, Rio de Janeiro, 2009. p. 01-09.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de Qualidade de Água como Ferramenta em Estudos de Impacto Ambiental. *Revista da FAPAM*, ano 2, n. 1, 2003.

MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A Qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama - DF. *Química Nova*, v. 33, p. 97-103, 2010.

SANTOS, G. M.; SANTOS, A. C. M. Sustentabilidade da Pesca na Amazônia. *Estudos Avançados*, v.19, n. 54, p. 165-182, 2005.

2 – ARTIGO*:**BIOMONITORAMENTO DE ELEMENTOS METÁLICOS EM PEIXES
DE ÁGUA DOCE DA REGIÃO AMAZÔNICA UTILIZANDO ANÁLISE
MULTIVARIADA.**

*Este artigo será submetido à publicação na revista Química Nova.

BIOMONITORAMENTO DE ELEMENTOS METÁLICOS EM PEIXES DE ÁGUA DOCE DA REGIÃO AMAZÔNICA UTILIZANDO ANÁLISE MULTIVARIADA.

Caio R. G. Serrão, Altem N. Pontes

Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade do Estado do Pará,
Travessa Enéas Pinheiro, 2626, 66095-100, Belém – PA, Brasil

João B. Pereira Júnior, Patrícia O. Nunes, Fábio I. M. Carvalho, Heronides A. Dantas Filho, Kelly das G. Fernandes*

Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, 66075-110 Belém – PA, Brasil.

BIOMONITORAMENTO DE ELEMENTOS METÁLICOS EM PEIXES DE ÁGUA DOCE DA REGIÃO AMAZÔNICA UTILIZANDO ANÁLISE MULTIVARIADA.

ABSTRACT

BIOMONITORING OF METALLIC ELEMENTS IN FRESHWATER FISH AMAZON USING MULTIVARIATE ANALYSIS. It was quantified the levels of Cr, Fe and Zn in fish muscle and gills of seven species found in Amazon, collected in River Piraíba located in Belém – PA and to the proximities of an industrial complex. For quantification of metal elements it was used GFAAS and FAAS. In the data analysis it was used main component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA). The results obtained for Cr exceeded the limits set by the Ministry of Health for human consumption both in muscle and in fish gills. The Zn levels did not exceed the values of legislation for muscle and were obtained high concentrations in the gills for Fe.

Keywords: Metallic elements; Fish; Bioindicators.

2.1 – INTRODUÇÃO

A cidade de Belém, Pará, está situada sobre a península sedimentar do estuário Guajarino e vem sofrendo um crescimento populacional bastante acelerado nos últimos anos, passando de 900.000 habitantes na década de 1980 para cerca 1,4 milhões em 2010.¹

Este grande crescimento populacional tem acarretado uma série de problemas, dentre eles destaca-se a produção de carga elevada de efluentes domésticos, lançados diretamente no sistema hidrográfico através de cerca de 30 km de canais naturais, formados por rios, baías, igarapés e furos. Estes corpos hídricos deságuam no Rio Guamá e na Baía do Guajará que constituem os principais recursos hídricos receptores da carga de poluentes produzidos pelas atividades industriais e pelo lançamento de efluentes domésticos sem tratamento.²

O Furo do Maguari faz parte do estuário Guajarino e contempla um importante ecossistema situado às proximidades da área urbana da cidade de Belém e está sujeito ao acúmulo de vários tipos de resíduos industriais. Apresenta intenso tráfego de embarcações e recebe descargas de vários cursos secundários (igarapés, rios, canais), dentre eles o Rio Piraíba.³ As principais indústrias instaladas na região são as alimentícias, siderúrgicas, metalúrgicas, químicas, madeireiras e de beneficiamento de couro que geram resíduos líquidos e sólidos através de seus processos industriais.

As águas residuárias provenientes de indústrias de processamento de couro e de madeireiras vêm sendo lançadas indiscriminadamente nos recursos hídricos e ocasionando problemas de contaminação de mananciais, eutrofização de corpos d'água, mortandade de peixes e o comprometimento de atividades econômicas

ligadas aos setores de turismo e pesca, em decorrência principalmente da permanência de contaminantes na água.⁴

A biota aquática apresenta um forte potencial para bioacumular elevados níveis de elementos metálicos a partir do ambiente. O monitoramento de ambientes aquáticos por meio do uso de bioindicadores tem sido objeto de estudo em vários trabalhos recentes, principalmente, devido a preocupação com os efeitos prejudiciais que os níveis desses elementos podem apresentar para os organismos aquáticos e também por criar riscos relacionados ao consumo humano de alimentos contaminados.⁵⁻⁷

Os riscos à saúde associados à ingestão de pescado cotaminado chegam a ser de 20 a 40 vezes mais elevados do que o resultado da ingestão de água contaminada, pois os organismos aquáticos são capazes de acumular elementos metálicos em até 105 vezes as concentrações desses elementos no ambiente.⁸

Os bioindicadores permitem a identificação de possíveis interações que podem ocorrer entre os constituintes minerais sejam eles tóxicos ou essenciais, e os organismos vivos, além de favorecerem a previsão de efeitos de bioacumulação, permitindo que sejam colocadas em prática ações de remediação e prevenção.⁹

Alguns estudos têm sido desenvolvidos com espécies de peixes da região amazônica, porém ainda envolvendo poucas espécies e apresentando análises pouco conclusivas. Vale ressaltar que há a necessidade de se levar em consideração alguns fatores ambientais e biológicos destes organismos para que se possa analisar com mais exatidão a bioacumulação de elementos metálicos em seus tecidos.

Colino *et. al*¹⁰ em um estudo desenvolvido com a espécie *Brachyplatystoma vailantii* (Piramatuba) observaram que peixes carnívoros apresentam um maior

potencial de bioacumulação de mercúrio em comparação com outras espécies onívoras, além disso, a idade, comprimento, massa e o tempo de exposição a algum elemento metálico devem ser levados em consideração para a análise de acumulação metálica em diferentes espécies.

Nesse sentido, o presente estudo objetivou analisar o potencial bioindicador de sete espécies de peixes amazônicos e mensurar a extensão da contaminação ambiental causada por influência de um pólo industrial localizado na cidade de Belém, capital do estado do Pará.

2.2 – PARTE EXPERIMENTAL

2.2.1 – Área de estudo

O Rio Piraíba está localizado no distrito administrativo de Icoaraci (DAICO) sob as coordenadas 01° 17' 22,2 S e 048° 26' 19,8 W. Este rio faz parte da região metropolitana de Belém (RMB), distante cerca de 20 km do centro da cidade e o DAICO possui uma área de 204,11 ha (Figura 1). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o DAICO apresenta uma população de aproximadamente 170.000 habitantes.¹ O Piraíba faz parte do estuário Guajará, localizado a noroeste da cidade de Belém, integra a confluência Amazonas-Atlântico e é composto por baías, rios, igarapés, canais, furos e ilhas no entorno da capital.¹¹

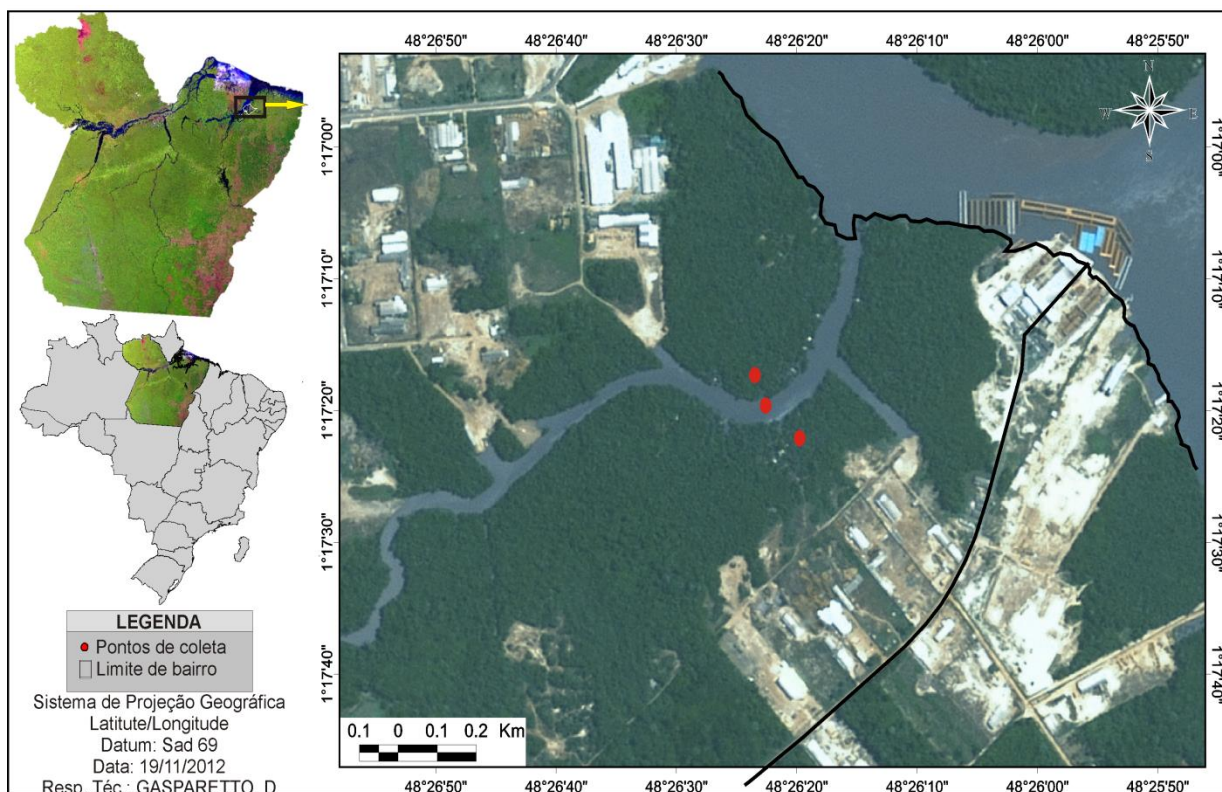


Figura 1. Localização da área de estudo

A RMB apresenta um clima quente e úmido e pluviosidade elevada com precipitação média anual de 2500 a 3000 mm, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).¹² Geomorfologicamente, a área apresenta um relevo plano, relativamente uniforme e com pouquíssimas oscilações altimétricas.² A vegetação ciliar encontra-se parcialmente preservada e a principal espécie encontrada é o açazeiro (*Euterpe oleracea*), fonte de renda para as comunidades locais. As principais atividades econômicas são o extrativismo vegetal, principalmente frutos de açaí, palmito, exploração madeireira e pesca.³

As principais espécies de peixes encontrados em regiões estuarinas são a Pescada Branca (*Plagioscion squamosissimus*), Bacu (*Lithodoras dorsalis*), Piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*), Tralhoto (*Anableps anableps*), Filhote

(*Brachyplatystoma filamentosum*), Mandubé (*Ageneiosus sp*), Mapará (*Hypophthalmus marginatus*) e a Sardinha (*Anchoa spinifer*).¹³

A área apresenta um sensível ecossistema impactado pelo lançamento indiscriminado de resíduos de empresas como madeireiras, cervejarias, estaleiros, indústrias alimentícias e, principalmente, por indústrias de beneficiamento de couro.¹⁴

2.2.2 – Equipamentos

Um liofilizador modelo L 101 (Liotop, São Carlos, SP, Brasil) foi utilizado para a liofilização das amostras.

Um forno de microondas com cavidade Start E (Milestone, Sorisole, Itália) foi utilizado no processo de digestão das amostras.

Um espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite (Varian, AA240Z), equipado com amostrador automático, com corretor de fundo por efeito Zeeman transversal, tubo de grafite com aquecimento longitudinal (HGA Varian) e sistema de aquisição de dados em plataforma Windows foi usado na determinação de cromo. Gás argônio (99,999%) foi usado em todas as etapas do programa de aquecimento do forno de grafite, exceto na etapa de atomização.

Ferro e zinco foi determinado usando um espectrômetro de absorção atômica com chama da marca Thermo Ice 3300 (Reino Unido, Cambridge). A mistura de ar/acetileno foi utilizada como gás oxidante e combustível, respectivamente.

2.2.3 – Reagentes e soluções

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico. Todas as diluições foram realizadas utilizando água destilada-desionizada. As soluções de referência

de Cr, Fe e Zn) foram preparadas a partir da solução estoque de 1000 mg L⁻¹ Cr, Fe e Zn (SPECSOL, Sigma, São Paulo, Brasil). O ácido nítrico (HNO₃) (Quimex, São Paulo, Brasil) sub-destilado e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (Impex, Brasil) foram usados na digestão das amostras.

2.2.4 – Amostras

As amostras de pescado foram coletadas por membros da comunidade que residem no entorno do rio em pontos aleatórios e no período de cheia (montante). Para a coleta foram utilizadas redes de pesca de náilon. Os peixes coletados foram colocados em sacos de polietileno, identificados por seus nomes populares e armazenados em caixa térmica sob refrigeração.

As amostras foram transportadas até o Laboratório de Toxicologia Animal da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), onde foram medidas, pesadas e dissecadas. As porções de músculo e brânquias foram separadas e transferidas para serem congeladas em um *freezer*.

No total, foram coletados 24 exemplares de peixes de sete espécies diferentes. As espécies foram *Plagioscion squamosissimus* (Pescada Branca – 10 exemplares), *Lithodoras dorsalis* (Bacu – 02 exemplares), *Geophagus proximus* (Acarátinga – 03 exemplares), *Curimata inornata* (Branquinha – 02 exemplares), *Anchoa spinifer* (Sardinha – 02 exemplares), *Cathorops agassizii* (Uricica – 03 exemplares) e *Brachyplatystoma vaillantii* (Piramutaba – 02 exemplares). As identificações taxonômicas (Tabela 1) foram desenvolvidas no Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), onde foram utilizados parâmetros chaves de identificação e o apoio de manuais.¹⁵

Tabela 1. Identificação taxonômica e biometria dos peixes.

Amostra	Nome Científico	Massa (g)	Comp. (cm)
P1	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	153	29
P2	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	221,5	41
A1	<i>Geophagus proximus</i>	109,7	17
A2	<i>Geophagus proximus</i>	84,6	16,5
A3	<i>Geophagus proximus</i>	70,5	15
PB1	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	111,5	21,5
PB2	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	32,6	13,5
PB3	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	57,9	15
PB4	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	35,7	13,5
PB5	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	23,5	11
PB6	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	95	21
PB7	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	90	20,5
PB8	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	69	16,5
PB9	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	150	23,5
PB10	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	44,9	16
BC1	<i>Lithodoras dorsalis</i>	296,5	30
BC2	<i>Lithodoras dorsalis</i>	171	23,5
U1	<i>Cathorops agassizii</i>	24,6	14
U2	<i>Cathorops agassizii</i>	35,2	14,5
U3	<i>Cathorops agassizii</i>	26,8	15
S1	<i>Anchoa spinifer</i>	49,5	18
S2	<i>Anchoa spinifer</i>	35,8	16
BQ1	<i>Curimata inornata</i>	62,4	14,5
BQ2	<i>Curimata inornata</i>	50,9	15

Piramutabas: P; Acaratingas: A; Pescadas Brancas: PB; Bacus: BC; Uricicas: UC; Sardinhas: S; Branquinhas: BQ.

2.2.5 – Procedimento analítico

2.2.5.1 – Digestão das amostras

As amostras de músculo e brânquias foram liofilizadas e pulverizadas no Laboratório do Grupo de Espectrometria Analítica Aplicada da Faculdade de Química da Universidade Federal do Pará (UFPA). Uma massa de aproximadamente 0,2 g de músculo ou 0,05 g de brânquias dos peixes pulverizados foi pesada no frasco de digestão ($n = 3$) e adicionados 4 mL de HNO_3 (25% v/v) e 4 mL de H_2O_2 (30% m/m).¹⁶ O programa de digestão para as amostras usando forno de microondas com cavidade está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Programa de aquecimento do forno de micro-ondas para a digestão de tecidos de peixe.

Etapas	Tempo (min.)	Potência (W)	Temperatura (°C)
1	10,0	800	200
2	15,0	800	200
3	50,0*	0	Ambiente

*Ventilação

Após a digestão, os frascos com os digeridos foram retirados do forno de micro-ondas, transferidos para os frascos volumétricos e diluídos com água destilada-desionizada.

2.2.5.2 – Análise elementar

A determinação de cromo foi realizada através de espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite (GFAAS). Os digeridos foram diluídos para se obter uma acidez final de 0,3% (v/v).

Ferro e zinco foram determinados nos digeridos por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS). A acidez final dos digeridos foi de 5% (v/v). A Tabela 3 apresenta os parâmetros para a determinação de cromo, ferro e zinco.

Tabela 3. Parâmetros instrumentais para determinação de ferro e zinco por FAAS e cromo por GFAAS.

Parâmetros	Cromo (Cr)	Ferro (Fe)	Zinco (Zn)
Resolução espectral (nm)	0,2	0,2	0,2
Corrente da lâmpada (mA)	6	6	5
Comprimento de onda (nm)	357,9	248,3	213,9
Coeficiente de correlação	0,9986	0,9968	0,9995

A exatidão do método proposto foi avaliada usando o experimento de adição e recuperação. Aos digeridos foram adicionados 5, 7 e 9 $\mu\text{g/L}$ de Cr, 1, 2 e 3 mg/L de Zn e 3, 5 e 7 mg/L de Fe.

O programa de aquecimento do tubo de grafite para determinação de Cr por GF AAS está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Programa de aquecimento do forno de grafite. Volume da amostra introduzido de 20 μL .

Etapas	Temperatura (°C)	Tempo (s) Rampa	Tempo (s) Patamar	Fluxo de gás (L/min.)	Leitura
Secagem 1	95	5	10	3	Não
	95	5	10	3	
Secagem 2	120	15	20	3	Não
	120	15	20	3	
Pirólise	1200	5	5	3	Não
	1200	5	5	3	
Atomização*	2600	0,7	2	0	Sim
	2600	0,7	2	0	
Limpeza	2700	1	2	3	Não
	2700	1	2	3	

*Leitura do sinal

2.2.6 – Tratamento estatístico dos dados

2.2.6.1 – Estatística descritiva

Para a análise dos dados univariados utilizou-se ferramentas de estatística descritiva (média e desvio padrão) com nível de significância $p < 0,05$ e foi utilizado o software *Excel for Windows* (Microsoft, USA).

2.2.6.2 – Análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma das técnicas quimiométricas mais empregadas para analisar conjuntos de dados contendo muitas variáveis. Além disso, oferece, em geral, representações gráficas com razoável precisão e de baixa dimensão para dados multivariados.¹⁷

Na interpretação dos dados obtidos a partir das análises nos peixes, as variáveis foram divididas em massa da amostra, comprimento dos peixes e concentrações de cromo, ferro e zinco em músculo e brânquias, totalizando oito variáveis. O autoescalamento e normalização foram aplicados aos dados para que todas as variáveis pudessem inicialmente exercer influências de igual importância nos resultados e os tornar adimensionais. Para a obtenção dos dados multivariados foi utilizado o software *Statistica 8.0* (Statsoft, USA).

2.2.6.3 – Análise hierárquica de agrupamentos

A análise hierárquica de agrupamentos (HCA) foi utilizada com o objetivo de verificar as semelhanças entre as amostras. Com base nos teores de íons metálicos, determinados nos tecidos dos peixes foi observado a similaridade a partir da distância Euclidiana entre as amostras. O resultado da HCA foi representado na

forma de um gráfico bidimensional chamado dendograma. Para a obtenção dos dados multivariados foi utilizado o *software Statistica 8.0* (Statsoft, USA).

2.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 – Determinação de Cr, Fe e Zn em tecidos de peixes

A bioacumulação de elementos metálicos em peixes representa um risco à saúde dos indivíduos que os consomem e apresenta uma resposta ambiental do que tem sido lançado de efluentes nos corpos hídricos.

Os resultados obtidos para todos os elementos estudados mostraram que as brânquias apresentaram uma acumulação maior em comparação à musculatura dos peixes, como também observado por Demirak *et al.*¹⁸ e Dural¹⁹.

Em geral, os metais são encontrados em maior quantidade em tecidos como brânquias, vísceras, fígado e rins, como também observado por Palaniappan *et al.*²⁰ e Turkmen *et al.*²¹ Estes órgãos têm, relativamente, um maior potencial de acumulação metálica, portanto, em alguns casos, elevadas concentrações de íons metálicos em musculatura de peixes são detectadas quando há contaminação elevada em órgãos acumuladores, evidenciando a presença de contaminantes em ambientes aquáticos.²²

Além disso, a determinação de elementos metálicos nestes tecidos pode apresentar resultados da exposição mais recente dos peixes aos constituintes minerais, sendo eles tóxicos ou essenciais.²³

No Brasil, os limites máximos permitidos por lei para alimentos são regulamentados por meio do Decreto Lei 55.871-65. Esses limites foram atualizados

e alguns mantidos pelo Mercosul (Resoluções GMC 102-94, 103/94 e 35/96) e pelo Ministério da Saúde através da Portaria 685-980.²⁴

Em relação ao cromo, foi verificado que todas as amostras estudadas apresentaram teores acima do limite permitido pela legislação brasileira, que é de 0,10 µg/g. Para o zinco, o limite de concentração é de até 50 µg/g. Os peixes estudados apresentaram concentrações dentro do limite estabelecido por lei, levando em consideração a parte que é consumida (músculo). Por outro lado, as brânquias apresentaram concentrações de zinco acima do estabelecido. Para o ferro, não existem valores de referência estabelecidos para o Brasil.

No presente estudo, uma significativa parcela de amostras de músculo apresentaram valores de concentração abaixo do limite de detecção para o elemento ferro, diferentemente das brânquias que apresentaram valores bastante elevados de concentração do elemento e maiores do que os encontrados por Dural *et al.*¹⁸ A Tabela 5 apresenta as concentrações de Cr, Fe e Zn em brânquias e músculos de peixe e os seus respectivos desvios padrão.

Tabela 5. Resultados obtidos na determinação de Cr empregando GFAAS, Zn e Fe por FAAS em músculo e brânquias de peixe. As concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$) dos analitos são expressas como a média \pm desvio padrão.

Amostra	Cr – Músculo	Cr – Brânquias	Zn – Músculo	Zn – Brânquias	Fe – Músculo	Fe – Brânquias
P1	1,25 \pm 0,01	3,27 \pm 0,09	10,95 \pm 0,14	59,51 \pm 0,62	<8,00*	94,71 \pm 0,95
P2	1,66 \pm 0,28	3,45 \pm 0,73	9,97 \pm 0,17	61,94 \pm 1,35	<8,00*	<8,00*
A1	0,74 \pm 0,32	2,11 \pm 0,11	21,00 \pm 0,49	54,28 \pm 0,35	<8,00*	341,40 \pm 31,33
A2	2,08 \pm 0,48	0,20 \pm 0,09	19,47 \pm 1,75	49,74 \pm 1,53	<8,00*	<8,00*
A3	3,53 \pm 0,51	2,51 \pm 0,20	32,55 \pm 0,77	74,45 \pm 2,59	<8,00*	232,32 \pm 19,68
PB1	<0,19*	8,39 \pm 0,74	8,93 \pm 0,15	65,49 \pm 1,17	<8,00*	50,00 \pm 8,84
PB2	0,76 \pm 0,03	0,91 \pm 0,01	18,94 \pm 0,16	63,97 \pm 1,15	<8,00*	25,18 \pm 9,11
PB3	2,24 \pm 0,95	7,32 \pm 0,25	20,34 \pm 0,09	63,28 \pm 0,01	<8,00*	237,32 \pm 19,68
PB4	0,70 \pm 0,18	2,57 \pm 0,91	20,40 \pm 0,09	57,59 \pm 0,75	<8,00*	441,85 \pm 13,11
PB5	1,30 \pm 0,35	100,19 \pm 1,68	14,96 \pm 0,85	47,68 \pm 1,30	27,00 \pm 0,91	2088,72 \pm 8,22
PB6	0,30 \pm 0,01	6,61 \pm 0,84	11,03 \pm 0,01	77,32 \pm 1,73	<8,00*	65,36 \pm 1,64
PB7	0,32 \pm 0,03	17,41 \pm 1,25	11,70 \pm 0,52	77,27 \pm 2,11	<8,00*	235,17 \pm 3,12
PB8	0,60 \pm 0,05	57,43 \pm 1,37	9,24 \pm 0,25	83,55 \pm 5,27	<8,00*	457,35 \pm 25,68
PB9	0,32 \pm 0,03	206,50 \pm 1,53	11,45 \pm 0,28	91,54 \pm 0,51	<8,00*	2130,33 \pm 43,06
PB10	4,93 \pm 0,82	1,32 \pm 0,27	28,34 \pm 0,04	65,90 \pm 0,39	19,38 \pm 5,54	470,35 \pm 1,48
BC1	1,10 \pm 0,18	4,62 \pm 0,18	15,54 \pm 0,54	33,25 \pm 0,37	<8,00*	394,46 \pm 2,63
BC2	2,06 \pm 0,05	0,39 \pm 0,17	21,40 \pm 0,40	54,90 \pm 0,36	12,57 \pm 1,58	163,69 \pm 8,95
U1	1,02 \pm 0,06	2,68 \pm 0,75	31,40 \pm 4,08	282,36 \pm 0,31	<8,00*	163,60 \pm 2,91
U2	0,71 \pm 0,14	12,37 \pm 0,61	24,77 \pm 0,23	97,04 \pm 5,44	<8,00*	256,96 \pm 3,83
U3	1,00 \pm 0,25	0,20 \pm 0,01	42,34 \pm 1,07	213,92 \pm 0,71	<8,00*	78,18 \pm 10,34
S1	1,01 \pm 0,03	2,53 \pm 1,08	26,54 \pm 1,61	95,03 \pm 20,80	<8,00*	43,88 \pm 7,22
S2	1,12 \pm 0,09	11,06 \pm 0,23	30,48 \pm 0,25	105,08 \pm 4,60	<8,00*	108,74 \pm 1,19
BQ1	1,56 \pm 0,13	8,44 \pm 0,45	18,16 \pm 0,23	31,30 \pm 3,23	13,55 \pm 0,62	295,00 \pm 0,66
BQ2	0,93 \pm 0,06	2,87 \pm 0,19	21,23 \pm 0,88	36,80 \pm 3,01	<8,00*	107,79 \pm 0,57

Piramutabas: P; Acaratingas: A; Pescadas brancas: PB; Bacus: BC; Uricicas: UC; Sardinhas: S; Branquinhas: BQ; M: Músculo; B: Brânquias;

*LOD: Limite de detecção

2.3.2 – Cálculo de estimativa de ingestão semanal

Com o objetivo de analisar o risco que a acumulação de componentes minerais pode causar à saúde humana, foram estimados os valores de ingestão tolerável semanal provisória PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake), estabelecidos pelo comitê de aditivos em alimentos JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives).²⁵ Esses parâmetros representam a quantidade do elemento presente no alimento e/ou água que pode ser ingerida diariamente ao longo da vida sem que ocorram efeitos adversos à saúde.²⁶ O valor foi padronizado com base em um consumo diário de 50 g de peixe, peso corpóreo de 60 kg para adultos e os valores médios de concentração de cada elemento metálico encontrado nas amostras de uma mesma espécie, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Concentração média de Cr, Fe e Zn, estimativa de ingestão semanal e porcentagem do PTWI para o consumo de 50 g de peixe.

Espécie	[Cr]	[Fe]	[Zn]	Cr – PTWI	Fe – PTWI	Zn – PTWI	%PTWI	%PTWI	%PTWI
	($\mu\text{g g}^{-1}$) ^a	($\mu\text{g g}^{-1}$) ^b	($\mu\text{g g}^{-1}$) ^c	($\mu\text{g kg}^{-1}$ peso corpóreo) ^d	($\mu\text{g kg}^{-1}$ peso corpóreo) ^d	($\mu\text{g kg}^{-1}$ peso corpóreo) ^d	Cr	Fe	Zn
<i>B. vaillantii</i>	1,45	–	10,46	8,46	–	61,01	36,31	–	6,10
<i>G. proximus</i>	1,88	–	24,34	10,97	–	141,98	47,08	–	4,71
<i>P. squasissimus</i>	2,09	4,64	15,53	12,19	27,06	90,59	52,31	3,38	9,06
<i>L. dorsalis</i>	1,58	6,28	18,47	9,22	36,63	107,74	39,57	4,58	10,77
<i>C. agassizii</i>	0,91	–	29,33	5,30	–	171,09	22,74	–	17,11
<i>A. spinifer</i>	1,06	–	28,51	6,18	–	166,30	26,52	–	16,63
<i>C. inornata</i>	1,24	6,77	19,70	7,23	39,49	114,91	31,03	4,93	11,50

^a Concentração média de Cr, ^b Concentração média de Fe, ^c Concentração média de Zn, ^d Pesos adultos: 60 kg. PTWI para Cr = 23,3 $\mu\text{g kg}^{-1}$; Fe = 800 $\mu\text{g kg}^{-1}$; Zn = 300 – 1000 $\mu\text{g kg}^{-1}$.

Na Tabela 6 pode ser observado que o componente mineral que mais chegou próximo ao valor estabelecido de PTWI foi o Cr nas espécies *Plagioscion squasissimus* (pescada branca), com 53,31%, e *Geophagus proximus* (acaratinga), com 47,08%. Ou seja, as estimativas para Cr, Zn e Fe não excederam os valores de referência para a PTWI.

2.3.3 – Parâmetros de desempenho analítico na determinação de Cr, Fe e Zn

As equações das curvas analíticas obtidas para Cr, Fe e Zn foram $Q_{Cr} = 0,0219 x + 0,0043$ ($r = 0,9986$), $Q_{Fe} = 0,0631 x + 0,0189$ ($r = 0,9968$) e $Q_{Zn} = 0,3074 x + 0,0109$ ($r = 0,9995$), onde Q é a absorvância e c a concentração do analito.

Os coeficientes de correlação demonstraram uma forte linearidade das curvas de calibração e estão de acordo com as normativas do Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO)²⁷ e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).²⁸

Os limites de detecção (LOD) foram calculados seguindo a relação $3 \times s/b$ (s = estimativa do desvio padrão do branco analítico e b = coeficiente angular do gráfico de calibração).²⁹ Foi obtido o limite de detecção de 0,19 $\mu\text{g/g}$ para o metal cromo, 0,97 $\mu\text{g/g}$ para o zinco e de 8 $\mu\text{g/g}$ para o ferro.

A concentração característica para Fe e Zn foram 0,07 e 0,01 mg L^{-1} , respectivamente. A massa característica para Cr foi 4,87 μg .

As recuperações obtidas para Cr, Fe e Zn foram 95 a 101%, 100 a 110% e 101 a 109%, respectivamente.

2.3.4 – Estudo Quimiométrico

A análise de componentes principais foi aplicada aos resultados obtidos a partir da quantificação dos elementos metálicos em tecidos de peixes de diferentes espécies.

Para a análise dos dados multivariados, foram aplicadas a análise de componentes principais a uma matriz 24 x 8 (24 amostras de peixes e 8 variáveis). Foram escolhidas as primeiras componentes (PC1 e PC2), pois representam a combinação linear de maior variância e explicam mais de 60% da variação dos dados. A Figura 2 ilustra as similaridades entre as amostras (*Scores*) [Figura 2a] e a similaridade entre as variáveis (*Loadings*) [Figura 2b].

Além disso, para a confirmação das tendências observadas na PCA, foi aplicada a análise hierárquica de agrupamentos (HCA) que demonstra a separação dos grupos utilizando como base a máxima dissimilaridade com distância euclidiana normalizada.

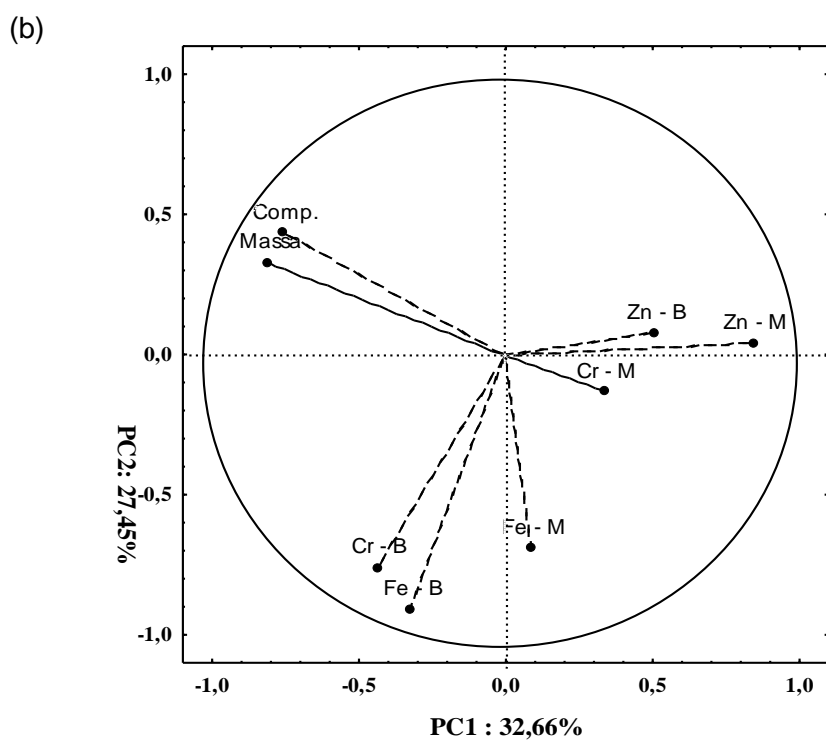
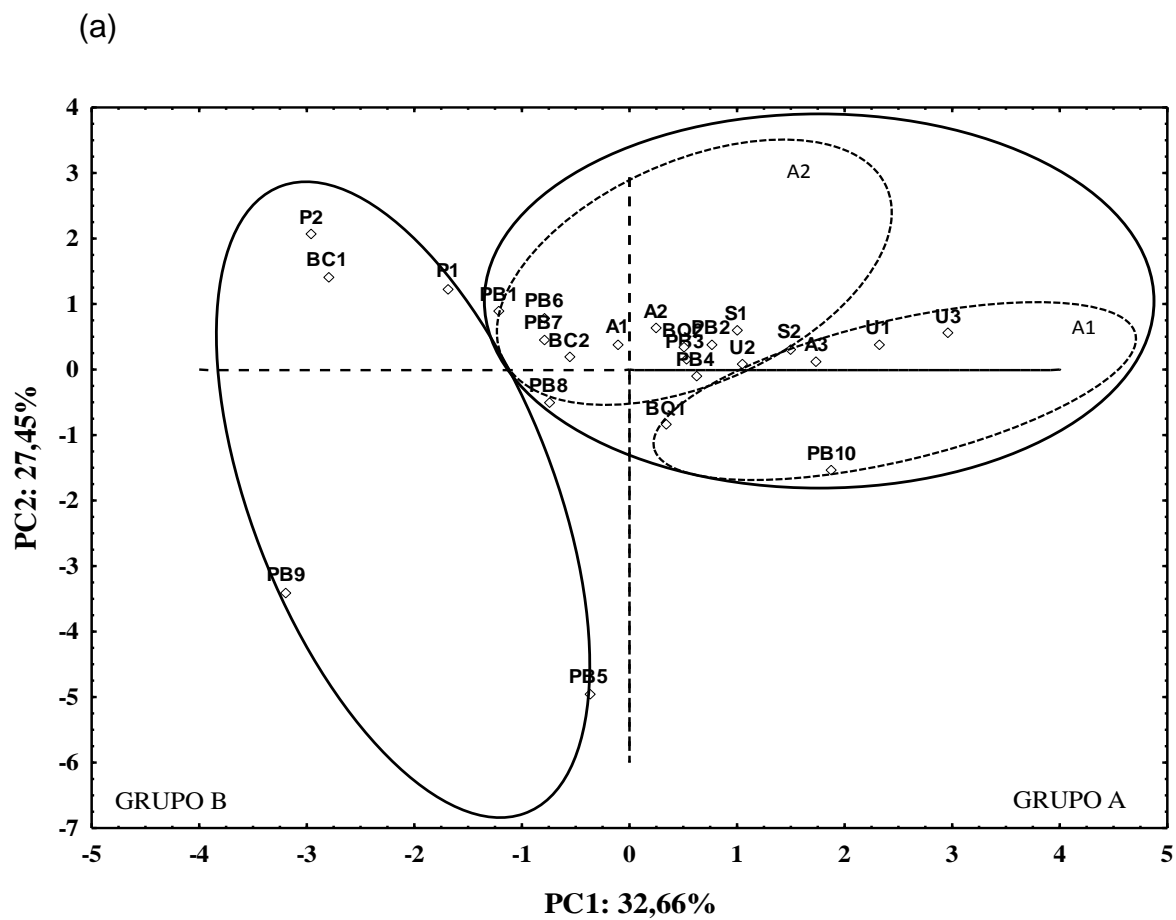


Figura 2. Scores (2a) e Loadings (2b) para amostras de peixe

A análise dos scores PC1 x PC2 (Figura 2) mostra a separação das amostras em 2 grupos distintos (A e B). Esta separação ocorreu pela influência das variáveis estudadas, as quais estão apresentadas nos *loadings* (Figura 2b).

Na Figura 2 observa-se que as amostras U1, U3, A3, contidas no grupo A estão situadas positivamente na PC1 por apresentarem correlações altamente positivas com as variáveis Zn – M e Zn – B, devido apresentarem os maiores teores nos tecidos, como também encontrado por Anan *et al.*³⁰

Vale destacar que a amostra PB10, integrante do grupo A, posicionada positivamente na PC1 apresenta correlações positivas com as variáveis Zn – B, Zn – M e Cr – M. Contudo, está fortemente associada ao Cr – M, o que pode ser confirmado com os valores médios de teores do elemento. A amostra BQ1, também localizada positivamente na PC1, mostrou correlações positivas com as variáveis Zn – M, Zn – B, Cr – M e Fe – M.

Além disso, as amostras PB10 e BQ1 apresentaram um dos valores mais baixos de comprimento, o que confirma a baixa correlação com esta variável, de acordo com os dados de medidas biométricas apresentados na Tabela 1.

Em geral, peixes com menores comprimentos conseguem bioacumular uma maior quantidade de metais por conta da velocidade de sequestro e eliminação desses elementos.³¹

De acordo com Liang *et al.*³², a acumulação de elementos metálicos em peixes de diferentes espécies depende de alguns fatores como tamanho e comprimento, hábitos alimentares e metabolismo de absorção dos componentes minerais o que explica as diferentes relações de acumulação dos componentes minerais nas espécies estudadas.

As amostras A2, U2, PB2, PB3, PB4, S1, S2 e BQ2 são integrantes do grupo A e estão localizadas positivamente na PC1 por apresentarem correlações com as variáveis Zn – M, Zn – B.

Entre as amostras estudadas, destacam-se também A1, PB1, PB6, PB7 e BC2 que estão situadas positivamente na PC2, integram o grupo A e apresentam forte correlação com as variáveis massa e comprimento. Porém, a amostra PB8, contida no mesmo grupo apresentou forte correlação com as variáveis Fe – B e Cr – B o que pode ser comprovado através dos valores das variáveis destacados na Tabela 5.

As amostras P1, P2, BC1, contidas no grupo B estão situadas positivamente na PC2 e apresentam alta correlação com as variáveis massa e comprimento, conforme mostra a Figura 2b. Isto pode ser confirmado na Tabela 5, pois estas amostras apresentaram os maiores valores de massa e comprimento.

A amostra PB9, contida no grupo B e posicionadas negativamente na PC2 da Figura 2a, apresentou correlação positiva com as variáveis Cr – B e Fe – B como pode ser observado na Figura 2b. Enquanto que PB5 apresentou correlação altamente positiva com as variáveis Fe – M, Fe – B e Cr – B, porém uma maior correlação com Fe – M, o que pode ser confirmado ao compararmos os teores deste elemento na PB5, devido apresentar teor de Fe – M acima do limite de detecção (8 µg/g).

As tendências de correlações observadas por meio das PCs foram confirmadas a partir do dendograma obtido pela análise hierárquica de agrupamentos (HCA) (Figura 4). A partir da análise do dendograma, é possível observar a formação de dois grandes grupos (A e B), sendo que o grupo A apresentou dois subgrupos, devido às diferenças encontradas na composição de

elementos metálicos em diferentes espécies e partes das amostras de pescado e à diferença de massa e comprimento dos peixes.

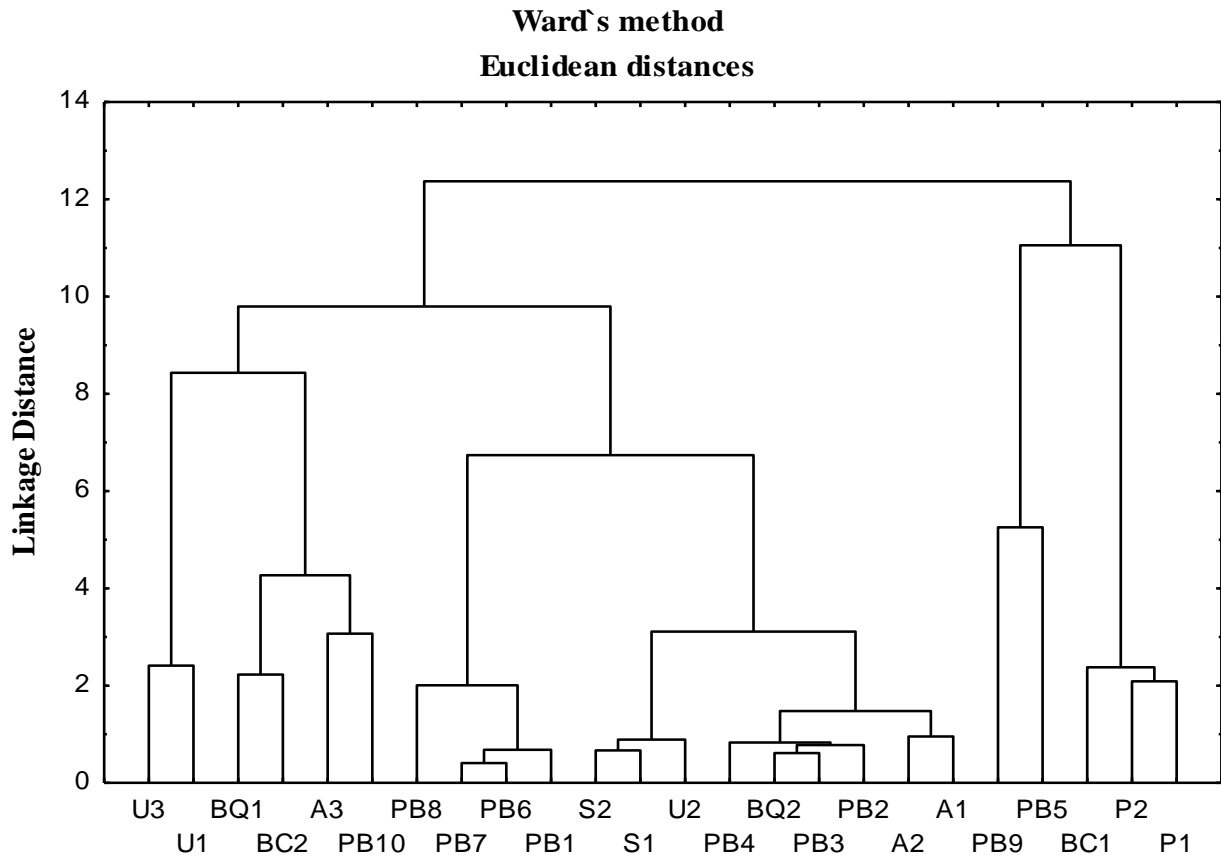


Figura 3. Dendrograma representando a análise hierárquica de agrupamentos

2.4 – CONCLUSÃO

O estudo fornece informações sobre a bioacumulação de elementos metálicos em sete espécies de água doce da região amazônica que apresentam potencial bioacumulativo e que podem servir de biomonitores da poluição de recursos hídricos por indústrias.

Ao comparar o potencial de bioacumulação dos tecidos estudados constatou-se que as brânquias apresentaram um maior potencial para serem empregadas no monitoramento da poluição das águas.

Em relação ao PTWI, as espécies Pescada Branca e Acarátinga foram as que mais contribuíram para alcançar os valores de ingestão tolerável semanal de cromo para o consumo de peixe.

Os teores de cromo nos peixes excederam os valores estabelecidos pelo Ministério da Saúde para consumo, o que sugere uma provável contaminação do rio por resíduos de indústrias de beneficiamento de couro.

As informações obtidas a partir da aplicação dos métodos multivariados às amostras de pescado permitiram a visualização de alta correlação entre as variáveis massa e comprimento, bem como Zn – M e Zn – B e Cr – B e Fe – B.

Para os peixes estudados, os elementos metálicos se bioacumularam em maior quantidade nos exemplares de menor comprimento.

A análise de componentes principais a partir da combinação da PC1XPC2 separou as amostras em 2 grupos distintos e as variáveis que mais influenciaram na separação dos grupos foram massa e comprimento, Cr – B, Fe - B e Zn – M e Zn – B. As informações obtidas pela combinação das PCs foram confirmadas através da aplicação da HCA.

REFERÊNCIAS

1. http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2010/2_01_Demografiar.pdf, acessada em Novembro 2012.
2. Nascimento, S. F.; Kurzweil, H.; Wruss, W.; Fenzl, N. *Environmental Pollution*. 2006, 140, 29.
3. Moura, E. M. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Pará, Brasil, 2007.
4. Viana, A. P. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Pará, Brasil, 2006.
5. Altındağ, A.; Yiğit, S. *Chemosphere*. 2005, 60,552.
6. Meche, M.; Martins, M. C.; Lofrano, B. E. N.; Hardaway, C. J.; Merchant, M.; Verdade, L. *Microchemical Journal*. 2012, 94, 171.
7. Liao, C. M.; Chen, B. C.; Singh, S.; Lin, M. C.; Liu, C. W.; Han, B. C. *Environmental Toxicology*. 2003, 18, 252.
8. Barros, B. C.; Pereira, S. F. P.; Palheta, D. C.; Silva, C. S. *Holos Environment*. 2010, 10, 196.
9. Goulart, M. D. C.; Callisto, M. *Revista da FAPAM*. 2003, 2, 153.
10. Colino, E. C. V.; Palheta, D. C.; Saraiva, A. F.; Cardoso, E. C. *Resumos do 35º Congresso Brasileiro de Medicina Veterinária*, Gramado, Brasil, 2008.
11. IDESP, Belém: estudo ambiental do Estuário Guajarinó. Belém. *Relatórios de Pesquisa* n. 17, 1990.
12. <http://www.inmet.gov.br/portal/>, acessada em Novembro 2012.
13. Camargo, M.; Isaac, V. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. 2001, 17,133.
14. Nunes, L. P. M.; Luiz, J. G. *Revista Brasileira de Geofísica*. 2006, 24, 467.
15. Santos, G. M.; Ferreira, E. J. G.; Zuanon, J. A. S. *Peixes comerciais de Manaus*. Manaus: Ibama - AM, ProVárzea, 2006.
16. Cruz, A. S.; Alves, B. S. F.; Carvalho, F. I. M.; Nunes, P. O.; Junior, J. B. P.; Dantas, K. G. F. *Resumos do 16º Encontro Nacional de Química Analítica*, Campos do Jordão, Brasil, 2011.

17. Silva, J. B. P.; Malvestiti, I.; Hallwass, F.; Ramos, M. N.; Leite, L. F. C.; Barreiro, E. J. *Química Nova*. 2005, 28, 492.
18. Demirak, A.; Yilmaz, F.; Tuna, A. L.; Ozdemir, N. *Chemosphere*. 2006, 63, 1451.
19. Dural, M.; Göksu, L.; Özak, A. A. *Food Chemistry*. 2007, 102, 415.
20. Palaniappan, PL. RM.; Karthikeyan, S. *Journal of Environmental Sciences*. 2009, 21, 229.
21. Türkmen, M.; Türkmen, A.; Tepe, Y. *Journal of Chilean Chemical Society*. 2008, 53, 1435.
22. Deb, S. C.; Fukushima, T.; *International Journal of Environmental Studies*. 1999, 56, 385.
23. Junior, R. G. S. L.; Araújo, F. G.; Maia, M. F.; Pinto, A. S. S. B. *Environmental Research Section*. 2002, 89, 171.
24. http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.htm, acessada em Novembro 2012.
25. <http://apps.who.int/ipsc/database/evaluations/search.aspx?fcc=2>, acessada em Novembro 2012.
26. Jardim, A. N.; Caldas, E. D. *Química Nova*. 2009, 32, 1898.
27. Instituto Nacional de Metrologia. Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO); *Orientações sobre Validação de Métodos de Ensaio Químicos*; DOQ-CGCRE-008, Revisão: 01 de março de 2003.
28. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA); Resolução 899 de 29 de maio de 2003 – *Guia para Validação de Métodos Analíticos e Bioanalíticos*.
29. Ribeiro, F. A. L.; Ferreira, M. M. C.; Morano, S. C.; Silva, L. R.; Schneider, R. P. *Química Nova*. 2008, 31, 164.
30. Anan, Y.; Kunito, T.; Tanabe, S.; Mitrofanov, I.; Aubrey, D. G. *Marine Pollution Bulletin*. 2005, 51, 882.
31. Repula, C. M. M.; Campos, B. K.; Ganzarolli, E. M.; Lopes, M. C.; Quinária, S. P. *Química Nova*. 2012, 35, 905.
32. Liang, Y.; Chewng, R. Y. H.; Wrong, M. H. *Water Research*. 1999, 22, 2290.

ANEXOS: NORMAS PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA QUÍMICA NOVA

GERAL

Serão considerados para publicação na Revista Química Nova manuscritos que cubram as áreas tradicionais da Química bem como artigos sobre Ensino de Química, História da Química, Política Científica, etc, além de artigos de áreas afins, desde que tenham acentuado conteúdo químico. Os trabalhos devem se encaixar dentro de uma das modalidades abaixo:

Artigos Originais (em português, inglês ou espanhol): refere-se a trabalhos inéditos de pesquisa. Devem seguir a forma usual de apresentação, contendo Introdução, Resultados e Discussão, Parte Experimental etc, de acordo com as peculiaridades de cada trabalho. Deverão ter no máximo 25 páginas, incluindo figuras, tabelas, esquemas, etc e todas as páginas deverão ser numeradas.

Artigos de Revisão (em português, inglês ou espanhol): destinados à apresentação do progresso em uma área específica de Química, com o objetivo de dar uma visão crítica do estado da arte do ponto de vista do especialista altamente qualificado e experiente. Deverão ter no máximo 40 páginas, incluindo figuras, tabelas, esquemas, etc e todas as páginas deverão ser numeradas.

É imprescindível que, na referida área, o autor tenha publicações que comprovem a sua experiência e qualificação. Antes do envio do manuscrito, o autor deverá submeter à editoria, por e-mail, um resumo da revisão pretendida, acompanhado de uma carta explicativa da pertinência do trabalho. O material será analisado pelos Editores e, uma vez aprovado, será solicitado ao autor o envio do manuscrito completo, dentro das normas de QN, e só então será dado início ao processo de avaliação pelos assessores.

O Corpo Editorial de QN poderá, eventualmente, convidar pesquisadores qualificados para submeter artigo de revisão.

Artigos sobre Educação (em português ou espanhol): trabalhos de pesquisas relacionadas ao ensino de Química e divulgação de experiências inovadoras no ensino de graduação e pós-graduação. Deverão ter no máximo 25 páginas, incluindo figuras, tabelas, esquemas, etc e todas as páginas deverão ser numeradas.

Notas Técnicas (em português, inglês ou espanhol): trabalhos de comunicação de métodos, validação de métodos, técnicas, aparelhagens ou acessórios desenvolvidos no laboratório de origem do autor do manuscrito. Deverão ter no máximo 25 páginas, incluindo figuras, tabelas, esquemas, etc e todas as páginas deverão ser numeradas.

Assuntos Gerais (em português, inglês ou espanhol): abordagem de assuntos de interesse geral dos químicos, tais como política científica, programas de graduação e pós-graduação, história da química, etc. Deverão ter no máximo 40 páginas, incluindo figuras, tabelas, esquemas etc. e todas as páginas deverão ser numeradas.

PREPARAÇÃO DE MANUSCRITOS

Todos os trabalhos deverão ser digitados em espaço duplo, utilizando somente Microsoft Word. A seguir, deve ser gerado um único arquivo no formato *.pdf*, do trabalho todo, para ser submetido através do sistema *on line de QN*. A revista não aceita mais a submissão de trabalhos por outra forma.

A primeira página deverá conter o título do trabalho, nome e endereço dos autores. Havendo autores com diferentes endereços, estes deverão vir imediatamente após o nome de cada autor. Os autores deverão ser agrupados por endereço. O autor para correspondência, que deverá ser o mesmo que submete o artigo *on line*, deverá ser indicado com asterisco (*) e seu e-mail colocado no rodapé da página (um só e-mail).

A segunda página deverá conter o título e o resumo do trabalho em inglês (abstract), com no máximo 100 (cem) palavras, e a indicação de 3 palavras-chave (keywords), também em inglês.

As figuras (incluindo gráficos, esquemas, etc) deverão ser em número máximo de 7 figuras simples e ter qualidade gráfica adequada (usar somente fundo branco). Para número maior ver o item Material Suplementar. As figuras, tabelas, esquemas, etc deverão ser colocadas após as referências e devidamente identificadas pelo respectivo número. Se escaneadas, deverão ser em alta resolução (*800 dpi/bitmap para traços*). No caso particular de esquemas contendo estruturas químicas, estas deverão ter sempre a mesma dimensão, para que possam ser reduzidas uniformemente, além de boa qualidade gráfica. Considerar que as figuras deverão ter largura máxima de uma coluna (8,5 cm).

Figuras coloridas terão custo de publicação repassado aos autores, quando da publicação. Esse valor só poderá ser informado aos autores quando o trabalho estiver previsto para ser publicado, ocasião em que a gráfica fornece o orçamento.

Para figuras, gráficos, esquemas, tabelas, etc idênticos aos já publicados anteriormente na literatura, os autores deverão pedir permissão para publicação junto à empresa/sociedade científica que detenha os direitos autorais e enviá-la à editoria de *QN* junto com a versão final do manuscrito.

As referências deverão ser numeradas consecutivamente no texto, na forma de expoentes, após a pontuação (se houver). A lista de referências deverá ser colocada no final do texto. As legendas das figuras, gráficos e esquemas deverão ser colocadas em uma única folha à parte, separadas das figuras. A seguir, deverão ser colocadas as figuras, os gráficos, os esquemas, as tabelas e os quadros. Colocar os títulos acima de cada tabela. No texto, deverá ser indicada apenas a inserção de cada um(a).

REFERÊNCIAS

Revistas:

Será utilizada a abreviatura da revista como definida no Chemical Abstracts Service Source Index (<http://www.cas.org/sent.html>). Caso a abreviatura autorizada de uma determinada revista não puder ser localizada e não for óbvio como o título deve ser abreviado, deve-se citar o título completo.

1. Varma, R. S.; Singh, A. P.; *J. Indian Chem. Soc.* **1990**, 67, 518.

2. No caso especial da revista citada não ser de fácil acesso, é recomendado citar o seu número de Chemical Abstract, como segue:

Provstyanoi, M. V.; Logachev, E. V.; Kochergin, P. M.; Beilis, Y. I.; *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved.; Khim. Khim. Tekhnol.* **1976**, 19, 708. (CA 85:78051s).

3. Caso o trabalho tenha doi, mas não a referência completa, citar doi da seguinte maneira:

Vidotti, M.; Silva, M. R.; Salvador, R. P.; de Torresi, S. I. C.; Dall'Antonia, L. H.; *Electrochimica Acta* (2007), doi:10.1016/j.electacta.2007.11.029.

É recomendado o uso de referências compostas na medida do possível, em lugar de uma lista de referências individuais. O estilo das referências compostas é o seguinte:

4. Varela, H.; Torresi, R. M.; *J. Electrochem. Soc.* **2000**, 147, 665; Lemos, T. L. G.; Andrade, C. H. S.; Guimarães, A. M.; Wolter-Filho, W.; Braz-Filho, R.; *J. Braz. Chem. Soc.* **1996**, 7, 123; Ângelo, A. C. D.; de Souza, A.; Morgon, N. H.; Sambrano, J. R.; *Quim. Nova* **2001**, 24, 473.

Patentes:

Devem ser identificadas da seguinte forma (na medida do possível o número do Chemical Abstracts deve ser informado entre parênteses).

5. Hashiba, I.; Ando, Y.; Kawakami, I.; Sakota, R.; Nagano, K.; Mori, T.; *Jpn. Kokai Tokkyo Koho 79 73,771* **1979**. (CA 91:P193174v)

6. Kadin, S.B.; *US pat. 4,730,004* **1988**. (CA 110:P23729y)

7. Eberlin, M. N.; Mendes, M. A.; Sparrapan, R.; Kotiaho, T. *Br PI 9.604.468-3*, **1999**.

Livros:

Com editor(es):

8. Regitz, M. Em *Multiple Bonds and Low Coordination in Phosphorus Chemistry*; Regitz, M.; Scherer, O. J., eds.; Georg Thieme Verlag: Stuttgart, 1990, cap. 2.

Sem editor(es):

9. Cotton, F.A.; Wilkinson, G.; *Advanced Inorganic Chemistry*, 5th ed., Wiley: New York, 1988.

Programas de computação (Softwares):

10. Sheldrick, G. M.; *SHELXL-93; Program for Crystal Structure Refinement*; Universidade de Göttingen, Alemanha, 1993.

Teses:

11. Velandia, J. R.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

Material apresentado em Congressos:

12. Ferreira, A. B; Brito, S. L.; *Resumos da 20^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, Poços de Caldas, Brasil, 1998.

Páginas Internet:

<http://www.s bq.org.br/jbcs>, acessada em Junho 2001.

Material não publicado:

Para material aceito para publicação: Magalhães, U. H.; *J. Braz. Chem. Soc.*, no prelo. Para material submetido mas ainda não aceito: Magalhães, U. H.; *J. Braz. Chem. Soc.*, submetido. Para trabalho não publicado ou comunicação pessoal: Magalhães, U. H.; trabalho não publicado ou Magalhães, U. H., comunicação pessoal. Os resultados não publicados só poderão ser citados com a permissão explícita das pessoas envolvidas na sua obtenção.

Os autores devem procurar seguir, naquilo que for possível, as normas recomendadas pela IUPAC, inclusive o Sistema Internacional de Unidades. Sobre a nomenclatura de compostos (orgânicos e inorgânicos) já há traduções para a língua portuguesa publicadas em QN. Quanto aos Símbolos e Terminologias, onde não há tradução, espera-se que adaptação seja feita pelos autores, criando então, paulatinamente, um conjunto de normas em português.

SUBMISSÃO DOS ARTIGOS

A QN oferece aos autores a submissão *on line*, que pode ser acessada através do registro de Login e Senha. É possível registrar-se em nossa home page (<http://quimicanova.sbq.org.br>) usando a opção Novo Usuário. Usuários da plataforma do JBCS, já estão cadastrados na base (pois ela é comum às duas revistas), devendo utilizar o mesmo Login e Senha. Após estar cadastrado no sistema, o autor pode facilmente seguir as instruções fornecidas na tela. Será solicitada a submissão de um único arquivo do manuscrito completo, em formato *.pdf*.

Está disponível uma ferramenta para gerar o arquivo *.pdf*, a partir de arquivo *.doc* ou *.rtf*, com envio automático para o e-mail do autor. Tão logo seja completada a submissão, o sistema informará automaticamente, por e-mail, o código temporário de referência do manuscrito, até que este seja verificado pela editoria. Então será enviado e-mail com o número de referência do trabalho.

Se não for recebido o e-mail com código de submissão temporária, por algum motivo, a submissão não foi completada e o autor terá prazo máximo de 5 (cinco) dias para completá-la. Depois desse prazo, o sistema não permite o envio, devendo ser feita nova submissão.

O autor poderá acompanhar, diretamente através do sistema, a situação de seu manuscrito.

Ao fazer a submissão, solicita-se uma carta de apresentação, que deverá ser digitada no local indicado, sendo obrigatória a apresentação dos e-mails de todos os autores. Além disso, devem ser enviados também os nomes, instituições a que pertencem e e-mails de três ou quatro possíveis assessores, que não podem pertencer à(s) mesma(s) instituição(ões) dos autores.

Material Suplementar

Esta modalidade foi criada para que na versão impressa da revista apareça o número estritamente necessário de figuras e tabelas (6 a 7 figuras simples). Ressalta-se que, como este material ficará disponível apenas na versão *on line*, figuras, tabelas e ilustrações coloridas apresentadas na forma de material suplementar não terão custo repassado aos autores, nem limite de páginas. Porém, devem ter boa qualidade gráfica.

O material suplementar deverá ser colocado no final do trabalho, com indicação clara. Deverá ser submetido um único documento *.pdf*, incluindo o material suplementar.

Os Editores poderão solicitar aos autores, em qualquer fase da tramitação, a separação de Material Suplementar.

MANUSCRITOS REVISADOS

Manuscritos enviados aos autores para revisão deverão retornar à Editoria dentro de prazo máximo de trinta dias ou serão considerados retirados, sendo que o sistema encerra o processo, não permitindo que seja reaberto. Vencido o prazo, deverá ser feita nova submissão, dando início a um novo processo.

A submissão do manuscrito revisado deverá ser feita pelo mesmo autor, usando o Login e a Senha registrados anteriormente. O autor deve seguir as instruções fornecidas na tela, para envio do documento *.pdf* completo da versão revisada e das respostas aos assessores, detalhando as alterações feitas na nova versão e justificando as alterações sugeridas nos pareceres e que não foram aceitas pelos autores. Esses dois arquivos devem ser enviados através da seção Envio de Nova Versão, na Página do Autor, no sistema de submissão *on line* de QN.

Tão logo seja completada a submissão o sistema informará automaticamente, por e-mail, o código temporário de referência do manuscrito, até que ele seja verificado pela editoria. Então será enviado e-mail contendo o número de referência do trabalho.

Se não receber o e-mail com código de submissão temporária, por algum motivo, a submissão não foi completada e o autor terá prazo máximo de 5 (cinco) dias para completá-la. Depois desse prazo, o sistema não permite o envio, devendo ser feita nova submissão.

O autor poderá acompanhar, diretamente através do sistema, o status de seu manuscrito.

VERSÃO FINAL

Quando for solicitada a versão final, o autor receberá instruções específicas quanto a programas para envio de arquivos (texto, figuras, tabelas, etc) . Arquivos em formato *.pdf* não são mais solicitados nessa fase.

Se as Figuras forem escaneadas, deverão ser em alta resolução (800 *dpi/bitmap para traços*) com extensão *tif* ou *jpg*, desde que nas dimensões especificadas pelos Editores. As fotos ou desenhos com cor (300 *dpi/grayscale*) deverão ser enviadas com extensão *tif/jpg*, com largura máxima total de 8,5 cm para não haver problemas ao aplicá-las no padrão da Revista. Outras extensões possíveis: *cdr, eps, cdx ou opj*. No caso particular de esquemas contendo estruturas químicas, estas deverão ter sempre a mesma dimensão, para que possam ser reduzidas uniformemente.

A Editoria de QN reserva-se o direito de efetuar, quando necessário, pequenas alterações nos manuscritos, de modo a adequá-los às normas da revista ou tornar seu estilo mais claro, respeitando, naturalmente, o conteúdo do trabalho. Qualquer que seja a natureza do manuscrito submetido, ele deve ser original em nível de metodologia, informação, interpretação ou crítica. A qualificação do trabalho será atestada por dois consultores, indicados pela Editoria.

Para publicação, requer-se que os manuscritos submetidos a esta revista não tenham sido publicados anteriormente e não sejam submetidos ou publicados simultaneamente em outro periódico. Ao submeter o manuscrito, os autores concordam que o copyright de seu artigo seja transferido à Sociedade Brasileira de Química (SBQ), se e quando o artigo for aceito para publicação. O copyright abrange direitos exclusivos de reprodução e distribuição dos artigos, inclusive separatas, reproduções fotográficas, microfilmes ou quaisquer outras reproduções de natureza similar, inclusive traduções.

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em bancos de dados ou transmitida sob qualquer forma ou meio, seja eletrônico, eletrostático, mecânico, por fotocópia, gravação, mídia magnética ou algum outro modo, sem permissão por escrito da detentora do copyright. Embora todo esforço seja feito pela SBQ, Editores e Conselho Editorial para garantir que nenhum dado, opinião ou afirmativa errada ou enganosa apareçam nesta revista, deixa-se claro que o conteúdo dos artigos e propagandas aqui publicados são de responsabilidade, única e exclusiva, dos respectivos autores e anunciantes envolvidos.

Conseqüentemente, a SBQ, o Conselho Editorial, os Editores e respectivos funcionários, diretores e agentes isentam-se, totalmente, de qualquer responsabilidade pelas conseqüências de quaisquer tais dados, opiniões ou afirmativas erradas ou enganosas

Copyright ©2012 Sociedade Brasileira de Química