

LUANA THAMIRES RAPÔSO DA SILVA

**PESQUISA DE METAIS PESADOS EM AVES SILVESTRES NO
ESTADO DE PERNAMBUCO**

RECIFE

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA VETERINÁRIA

LUANA THAMIRES RAPÔSO DA SILVA

PESQUISA DE METAIS PESADOS EM AVES SILVESTRES NO
ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência Veterinária do Departamento de Medicina Veterinária da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência Veterinária.

Orientadora:

Prof^a Dr^a Andréa Alice da Fonseca Oliveira

Coorientadores:

Prof^o Dr^o Rinaldo Aparecido Mota

Prof^o Dr^o Pierre Castro Soares

RECIFE

2016

Ficha catalográfica

S586p Silva, Luana Thamires Rapôso da
Pesquisa de metais pesados em aves silvestres no Estado
de Pernambuco / Luana Thamires Rapôso da Silva. – Recife,
2016.
100 f. : il.

Orientadora: Andréa Alice da Fonseca Oliveira.
Dissertação (Mestrado em Ciência Veterinária) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Medicina Veterinária, Recife, 2016.
Inclui referências e anexo(s).

1. Ave de rapina 2. Bioindicadores ambientais 3.
Espectrometria
4. Intoxicação por metais I. Oliveira, Andréa Alice da Fonseca,
orientadora II. Título

CDD 636.089

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO PRÓ-REITORIA DE
PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA VETERINÁRIA**

**PESQUISA DE METAIS PESADOS EM AVES SILVESTRES NO ESTADO DE
PERNAMBUCO**

Dissertação de Mestrado elaborada por

LUANA THAMIRES RAPÔSO DA SILVA

Aprovada em 24/02/2016

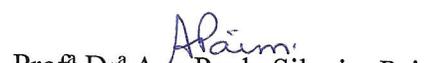
BANCA EXAMINADORA


Profª Drª Andréa Alice da Fonseca Oliveira

Orientadora – Departamento de Medicina Veterinária / UFRPE


Profª Drª Mércia Rodrigues Barros

Departamento de Medicina Veterinária / UFRPE


Profª Drª Ana Paula Silveira Paim

Departamento de Química Fundamental / UFPE

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação a todas as aves utilizadas nessa pesquisa, que me lembram sempre o motivo de eu ter me tornado uma médica veterinária.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me proporcionado sempre boas oportunidades na minha vida, as quais não posso de forma alguma reclamar.

À minha família, que sempre me deu todo apoio necessário para meus estudos e devido a eles pude fazer o meu trabalho com tranquilidade. Amo vocês.

Ao meu namorado Vitor, por sempre me apoiar e reclamar comigo quando é necessário. Seus mimos e carinho foram essenciais pra eu consegui terminar meu trabalho, além de toda ajuda nas coletas. Te amo.

À minha orientadora, Andréa Alice, que só tenho que agradecer pela confiança, amizade e oportunidade que me deu. Amo muito você.

A meu coorientador prof^o Rinaldo, pelo apoio nos momentos difíceis.

A meu coorientador prof^o Pierre, por toda assistência nas análises dos meus dados.

À prof^a Ana Paula por ter disponibilizado o equipamento para pesquisa com tanta boa vontade.

As minhas amigas: Dayanne, Katllen, Erika, Anna, Fanny, Tayra e Bianca que sempre me ouviram quando estava estressada demais pra fazer qualquer coisa e tornaram esses dois anos mais leves e divertidos.

A Yuri Valença e José Sérgio por me auxiliarem nas coletas e com conhecimento nas suas devidas áreas. Muito obrigada.

A Emanuel Felipe, que me auxiliou em todas análises e se tornou um grande amigo, obrigada.

À Taciana Kunst, por ter me ajudado com as análises com tanta boa vontade.

A Augusto, por ter lutado tanto pra conseguirmos analisar nossas amostras.

Aos meus amigos do laboratório que sempre me ajudaram de alguma forma, obrigada.

Às minhas companheiras de mestrado: Renata e Lidiana por sempre compartilharem o desespero do mestrado comigo.

Aos meus amigos da universidade: Mayara, Juliane, Stefani, Raoul, Glycia e Tatyane, mesmo longe sempre me ajudaram conversando comigo e me distraindo dos meus problemas.

A todos os outros amigos que não foram citados, porém foram tão importantes quanto para eu ter terminado essa dissertação.

RESUMO

Objetivou-se com essa pesquisa identificar e quantificar a presença de Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Cádmio (Cd), Cromo (Cr) e Cobre (Cu) em penas de aves silvestres de várias espécies e fígado de carcarás (*Caracara plancus*), pela técnica de Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA) e Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES). Foram coletadas 130 amostras de penas de aves oriundas de apreensões dos órgãos ambientais em Pernambuco e de vida livre e 21 amostras de fígados de aves de vida livre. As penas foram lavadas e secas por 48 horas em estufa a 60°C e após isso fragmentadas e pesadas. Os fígados foram fragmentados e secos em estufa por 24 horas a 60°C. As amostras secas de penas e fígados foram colocadas em forno micro-ondas, juntamente com 4mL de HNO₃(65%) e 4 mL de H₂O₂(30%) . As amostras digeridas foram analisadas em ICP OES para Cd, Cu, Cr e Pb, e em EAA para Hg. Para aves traficadas não houve variação da concentração de Cd ($p= 0,0001$), Cr ($p = 0,0252$) e Cu ($p = 0,0001$) assim como para Pb ($p = 0,2162$) e Hg ($p = 0,7546$). Em penas de carcarás vivos e mortos não houve variação da concentração dos metais: Pb ($p = 0,3576$), Cd ($p = 0,0792$), Cr ($p = 0,5475$), Cu ($p = 0,3603$), porém variação significativa foi observada para Hg ($p = 0,0459$) em penas de carcarás mortos. Foram encontradas maiores concentrações de Pb ($p = 0,0001$) e Cr ($p = 0,0001$) em penas do que no fígado de carcarás mortos. Diante do exposto, ressalta-se que a presença de metais pesados detectados em aves silvestres oriundas de apreensão e de vida livre no estado de Pernambuco gera preocupações quanto à sanidade dos animais e os impactos acarretados por esses compostos ao meio ambiente.

Palavras-chave: avifauna, bioindicadores ambientais, espectrometria, intoxicação por metais.

ABSTRACT

The aim of this study was to identify and quantify the presence of lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd), chromium (Cr) and copper (Cu) in wild bird feathers of various species and caracaras liver (*Caracara plancus*) by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) technique and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICPOES). Were collected 130 samples of bird feathers originating from seizures of environmental agencies in Pernambuco and free living, also 21 samples of free-living birds livers. The feathers were washed and dried for 48 hours in oven at 60 ° C and after this fragmented and weighed. The livers were fragmented and dried in an oven for 24 hours at 60 °C. Dried samples of feathers and livers were placed in a microwave oven, with 4 ml of HNO₃ (65%) and 4 mL of H₂O₂ (30%). Digested samples were analyzed by ICP OES to Cd, Cu, Cr and Pb, and Hg to ASS. For trafficked birds there was no variation in the concentration of Cd ($p < 0,0001$), Cr ($p = 0,0252$) and Cu ($p < 0,0001$) as well as Pb ($p = 0,2162$) and Hg ($p = 0,7546$). In feathers of living caracaras and dead caracaras there was not variation in concentration of metals: Pb ($p = 0.3576$), Cd ($p = 0,0792$), Cr ($p = 0,5475$), Cu ($p = 0,3603$), but significant variation was observed for Hg ($p = 0.0459$) in dead caracaras feathers. Higher Pb concentrations ($p < 0,0001$) and Cr ($p < 0,0001$) were found in feathers than liver of dead caracaras. In this way, it is noteworthy that the presence of heavy metals detected in trafficked wild birds and free-living birds in the state of Pernambuco raises concerns about the health of animals and the impacts caused by these compounds in environment.

Keywords: birdlife, environmental biomarkers, metal poisoning, spectrometry.

LISTA DE TABELAS

Dissertação

Tabela 1 – Concentrações de Hg em diversas espécies de aves em diversos países....	22
Tabela 2 – Concentrações de Cd no fígado e rins em diversas espécies de aves em diferentes países.....	26

Artigo Científico 1

Tabela 1 – Disposição do número de aves silvestres coletadas de acordo com o nome vulgar, espécie e ordem.....	44
Tabela 2 – Valores médios, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da concentração de Pb, Hg, Cd, Cu e Cr em penas de diferentes ordens de aves silvestres.....	46
Tabela 3 – Concentrações de Cr, Cu, Cd, Pb e Hg de aves das ordens Psittaciformes e Piciformes.....	47
Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão ($n=65$), no estado de Pernambuco....	48
Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Accipitriformes, no estado de Pernambuco.....	49
Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Falconiformes.....	50
Tabela 7 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Passeriformes.....	51
Tabela 8 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Strigiformes.....	52

Artigo Científico 2

Tabela 1 – Valores médios, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da concentração em $\mu\text{g/g}$ de Pb, Hg, Cd, Cu e Cr em penas de carcarás vivos e mortos na Região Metropolitana do Recife.....	66
Tabela 2 – valores médios, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da	

concentração em $\mu\text{g/g}$ de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg em penas e fígado de carcarás mortos na Região Metropolitana do Recife.....	67
Tabela 3 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de carcarás vivos na Região Metropolitana do Recife.....	68
Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em pena de carcará mortos na Região Metropolitana do Recife.....	69
Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em fígado de carcarás mortos na Região Metropolitana do Recife.....	69
Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas e fígado de carcarás mortos na Região Metropolitana do Recife.....	69

LISTA DE FIGURAS

Artigo Científico 1

Figura 1– Concentração de Pb, Hg, Cd, Cu e Cr em penas de diferentes ordens de aves silvestres.....	47
Figura 2 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão, no estado de Pernambuco.....	48
Figura 3 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Accipitriformes, no estado de Pernambuco.....	49
Figura 4 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Falconiformes.....	50
Figura 5 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Passeriformes.....	51
Figura 6 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Strigiformes.....	52
Artigo Científico 2	
Figura 1 – Concentração de Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de carcarás vivos e mortos na Região Metropolitana do Recife.....	67
Figura 2 – Concentração ($\mu\text{g/g}$) de Pb, Cd e Cu ($\mu\text{g/g}$) em penas e fígado de carcarás mortos na Região Metropolitana do Recife.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS

CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CDT	Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Cd	Cádmio
CINDACTA III	Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo
Cr	Cromo
Cu	Cobre
EAA	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Hg	Mercúrio
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICP	Plasma Indutivamente Acoplado
ICPOES	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado
PAMA	Parque de Material Aeronáutico
Pb	Chumbo
SISBIO	Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo geral.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. Avifauna Brasileira e o tráfico.....	16
3.2. Contaminação ambiental em Pernambuco.....	18
3.3. Metais Pesados em Aves.....	19
3.3.1. Mercúrio (Hg).....	21
3.3.2. Chumbo (Pb).....	23
3.3.3. Cádmio (Cd).....	25
3.3.4. Cobre (Cu).....	27
3.3.5. Cromo (Cr).....	29
3.4. Detecção de metais pesados.....	30
3.4.1. Espectrometria de Absorção Atômica.....	31
3.4.2. Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (<i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer- ICP OES</i>).....	32
4. REFERÊNCIAS.....	34
5. ARTIGOS CIENTÍFICOS.....	40
Capítulo I- Identificação de metais pesados em penas de aves silvestres traficadas em Pernambuco, Brasil.....	41
Capítulo II- Pesquisa de metais pesados em penas e fígado de Carcarás (<i>Caracara plancus</i>) capturados na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil.....	60
7. ANEXOS.....	75
Anexo A – Parecer da Comissão de Ética no Uso de Animais/UFRPE.....	75
Anexo B- Autorização para atividades de pesquisa SISBIO/ICMBio.....	76
Anexo C- Autorização de Manejo de Fauna- IBAMA.....	77
Anexo D- Normas do periódico <i>Science of the Total Environment</i>	78
Anexo E – Normas do periódico Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.....	95

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das mais ricas faunas de aves sendo sua biodiversidade reconhecida mundialmente (PIACENTINI et al., 2015). No entanto, o país é considerado um dos líderes mundiais de extinção de pássaros (DUARTE, 2006), os principais motivos consistem na perda de *habitat* (ALVES et al., 2013) e no tráfico de aves silvestres (ALVES et al., 2013; DUARTE, 2006; REGUEIRA; BERNARD, 2012; VANSTREELS et al., 2010).

No Brasil, as aves procedentes de apreensões são direcionadas a centros específicos para tratamento de animais silvestres, a fim de serem reabilitadas e devolvidas à natureza, porém, boa parte dessas aves apresenta comprometimento da saúde, sendo comum também a presença de doenças bacterianas e parasitárias (DUARTE et al., 2006).

Além do tráfico e a perda do *habitat* dessas aves, destaca-se a poluição ambiental por metais pesados, considerada como fator determinante que interfere na saúde dos indivíduos (KOIVULA et al., 2011). O acúmulo de metais em aves tem recebido atenção especial, pela capacidade destas em serem biomonitores, servindo de diagnóstico para o ecossistema que está sendo analisado (HOFER; GALLAGHER; HOLZAPFEL, 2010).

A análise de metais pesados pode ser baseada no estudo das penas (COSTA et al., 2011; HOFER; GALLAGHER; HOLZAPFEL, 2010; KOIVULA; EEVA, 2010), devido à característica de crescimento da mesma, que possibilita que os metais presentes no sangue se acumulem na pena durante toda sua formação (HOFER; GALLAGHER; HOLZAPFEL, 2010). Existem poucos estudos sobre o depósito de metais em penas os quais geralmente estão relacionados a pequenos passeriformes, como o papa-moscas-preto (*Ficedula hypoleuca*) (BERGLUND et al., 2007) e baseiam-se geralmente em apenas um metal (BERGLUND et al., 2007; KOIVULA; EEVA, 2010).

No Brasil, Vieira (1996) pesquisou a presença de mercúrio em biguá (*Phalacrocorax brasilianus*), no pantanal. Outros estudos foram feitos por Barbieri et al. (2010) e identificaram a presença de metais pesados em gaivotão (*Larus dominicanus*) em Santa Catarina; no Rio de Janeiro em garça-branca-pequena (*Egretta thula*) (FERREIRA et al. 2011); em pombos domésticos (*Columba livea*) no estado de Goiás (BRAIT; FILHO, 2011).

A pesquisa de metais pesados em aves silvestres é de extrema importância para o desenvolvimento de ferramentas e monitoramento dos ecossistemas e seus componentes, principalmente em relação aos danos causados pelos humanos no ambiente (BURGER; GOCHFELD, 1997).

Diante da escassez de pesquisas no Brasil objetivou-se com este trabalho pesquisar a presença de metais pesados em penas e fígado de aves silvestres procedentes de tráfico apreendidas por órgãos ambientais e de aves silvestres de vida livre em Pernambuco.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Identificar e quantificar a presença de metais pesados em aves silvestres de vida livre e procedentes de tráfico animais selvagens no estado de Pernambuco.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar e quantificar a presença de Mercúrio (Hg), em penas e fígado de aves silvestres, pela técnica de Espectrometria de Absorção Atômica;
- Identificar e quantificar a presença de Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Cromo (Cr) e Cobre (Cu) em penas e fígado de aves silvestres, pela técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES);

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Avifauna Brasileira e o Tráfico

O Brasil é conhecido por ser o país com a mais rica avifauna da América do Sul com 1919 espécies e com o maior número de novas espécies descritas na última década (sendo 31 espécies no total) (PIACENTINI et al., 2015). Devido a sua grande diversidade não só de aves, mas também de mamíferos, répteis, anfíbios, insetos e plantas, o Brasil torna-se um importante território para investimentos em conservação (ALVES et al., 2013). No entanto, também é o país com o maior número de espécies de aves globalmente ameaçadas de extinção totalizando 164 espécies (PIACENTINI et al., 2015). O principal fator que colabora para elevação desse número é a perda de *habitat* dessas aves devido à influência antrópica seja pela poluição do ambiente, introdução de espécies exóticas e tráfico de aves, mas também por desastres naturais (ALVES et al., 2013; FERNANDES-FERREIRA et al., 2012).

A exploração dos espécimes silvestres começou no século XVI, época da exploração europeia. Em 1500, pelo menos duas araras e alguns papagaios foram enviados ao rei de Portugal, o que fez o Brasil ser posteriormente conhecido como Terra dos Papagaios. Em 1511, foram transportados 22 periquitos tuins e 15 papagaios e em 1530 foram enviadas 70 aves de penas coloridas para Portugal, esses foram os primeiros registros de exploração de aves brasileiras para a Europa. A comercialização dessas aves como objeto de poder e *status*, se sistematizou no século XIX na Europa, com viajantes especializados para tal tarefa (RENTAS, 2001).

Entre o fim do século XIX e começo do século XX ocorreu um enorme comércio de penas, que segundo os dados de exportações legais, foram vendidas entre 1901 e 1905 cerca de 600 kg de penas pra Alemanha, Inglaterra, França e Estados Unidos e entre 1910 e 1914 a exportação totalizou 20.000 kg. O comércio do couro também transcorria com a prática de preços baixos e o produto era leiloadado em Londres (DUARTE, 2006).

Beija-flores eram capturados e embalsamados para ornamentação de salas. No ano de 1932, 25.000 espécimes foram mortos para enfeitar caixas de bombons na Itália (DUARTE, 2006; RENTAS, 2001), penas de garças e guarás eram utilizadas como adornos em chapéus na Europa e América do Norte. Em 1964, cerca de 60.000 marrecas foram mortas com um canhão francês importado em uma fazenda no Amapá. Na década de 60, era rara a cidade que não possuísse uma feira para venda de animais silvestres. A partir de 1967 passou-se a ter uma

legislação que proibiu as atividades de caça, comércio, captura de espécimes: a Lei Federal nº 5.197, Lei de Proteção a Fauna, a partir daí o comércio clandestino da fauna silvestre iniciou-se (RENCTAS, 2001).

A Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, chamada também de “Lei dos Crimes Ambientais” foi criada com a intenção de coibir os maus-tratos direcionados à fauna brasileira. Segundo o artigo 29 da lei: “Matar, perseguir, caçar, apanhar, utilizar espécimes da fauna silvestre, nativos ou em rota migratória, sem a devida permissão, licença ou autorização da autoridade competente, ou em desacordo com a obtida” culminaria com pena de detenção de seis meses a um ano, e multa. Porém a penalidade para o comércio de partes de animais pode ser substituída por prestação de serviços à comunidade, suspensão temporária de direito entre outras formas, que realmente não punem os responsáveis, que fatidicamente voltam a cometer os mesmos delitos pelo lucro e impunidade (BRASIL, 1998).

As aves são utilizadas com diversos propósitos: alimentação, caça, exploração de suas penas para adornos e decoração, uso medicinal, bem como pela beleza do som emitido por essas aves e a manutenção dessas em cativeiro é uma das razões para o declínio de diversas espécies ao longo dos anos (ALVES et al., 2013; FERNANDES-FERREIRA et al., 2012). Depois da perda de *habitat*, a caça para subsistência e o comércio, é a segunda maior ameaça a fauna silvestre (RENCTAS, 2001).

No Brasil as aves são a maioria dos animais envolvidos com o tráfico, sendo Passeriformes a ordem mais comprometida (GODOY; MATUSHIMA, 2010), pelo menos dois milhões dessas aves estão envolvidas no comércio ilegal, além do animal vivo, um número grande de aves é morta e suas penas, couro e ovos comercializados (RENCTAS, 2001).

Os psitacídeos também são alvo comum do tráfico pela beleza e habilidade de imitar a voz humana, devido a isso é o maior grupo de espécies da fauna brasileira ameaçada de extinção (RENCTAS, 2001). Estima-se que 30-40% de psitacídeos sejam traficados todos os anos e a espécie mais traficada é o Papagaio-verdadeiro (*Amazona aestiva*) (VANSTREELS et al., 2010).

O tráfico de aves silvestres no Brasil geralmente funciona pelo contrabando de espécies retiradas das regiões norte e nordeste e encaminhadas para o sudeste do país com o objetivo de serem comercializadas (VANSTREELS et al., 2010). O comércio em mercados ao ar livre é extremamente comum em diversas cidades do Brasil, no nordeste o uso das aves nas áreas rurais é direcionado a alimentação, uso medicinal e ornamental além de entretenimento (ALVES et al., 2010).

No Ceará em um estudo realizado por Fernandes-Ferreira et al. (2012) foi constatado

que 92 espécies de aves eram utilizadas com diferentes propósitos na região. O hábito de engaiolar aves é muito comum no nordeste e no estudo realizado por Alves et al. (2010) na Paraíba, foram observadas 38 espécies de aves usadas na região com esse propósito, sendo a *Paroaria dominicana* (galo-de-campina) o mais comum e com o maior preço pago no comércio ilegal.

Nas áreas urbanas o perfil de uso das aves se altera um pouco, sendo a preferência por aves de canto, em um estudo realizado por Regueira e Bernard (2012) em oito mercados públicos de Pernambuco, foram observadas 2130 aves de 55 espécies, sendo aves dos gêneros *Sporophila*, *Sicalis* e *Paroaria* as mais comuns. Diante deste cenário estima-se que cerca de 67.000 aves sejam retiradas por ano da natureza para serem comercializadas nas áreas urbanas do estado de Pernambuco.

3.2. Contaminação Ambiental em Pernambuco

Os processos de expansão urbana desde a década de 70 no Brasil, promoveram um aumento na contaminação ambiental e também a piora da qualidade do ar, que pode determinar doenças cardiovasculares e pulmonares. O material particulado no ar agrava problemas pulmonares, pois podem ser incorporados sulfatos, nitratos, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos (DANNI-OLIVEIRA, 2008).

A topografia da área e a distribuição populacional são fatores importantes para a dispersão das partículas do ar. Os combustíveis fósseis usados para suprir as demandas energéticas de termoeletricas e siderúrgicas das grandes cidades contribuem para liberar no ar várias partículas poluentes e metais traço. Essas partículas permanecem por muito tempo na atmosfera e apresentam concentrações elevadas de níquel, cromo, chumbo, ferro, manganês, dentre outros (CARVALHO; JABLONSKI; TEIXEIRA, 2000).

O aumento da atividade industrial não só alterou a qualidade do ar como também a qualidade dos solos. Os metais podem ser encontrados de forma natural pela dissolução de rochas e minerais, no entanto a mineração, cinzas provenientes do carvão, descarte de produtos comerciais, decomposição de lixo e esgoto e uso de fertilizantes costumam contaminar os solos. Alguns desses elementos podem ser acumulados e alterar as propriedades físico-químicas e a diversidade biológica (SILVA JÚNIOR, 2008).

O solo consiste em ar ou vapor, água e sólidos divididos em uma zona saturada, que se estende desde o topo da franja capilar até o fundo do lençol freático e a zona não saturada que

é desde a superfície do chão até o topo da franja capilar, que contém vapor e uma quantidade menor de água. Na zona saturada os espaços entre os sólidos estão preenchidos por líquidos, essa água é chamada de água subterrânea. Antigamente se acreditava que os contaminantes do solo não pudessem chegar às águas subterrâneas, mas hoje sabe-se que essas águas por sua vez chegam aos rios que levam o restante dos contaminantes (MINDRISZ, 2006).

No estado de Pernambuco foi realizado um estudo sobre a quantidade de metais pesados no rio Tapacurá e foram detectadas concentrações de metais traço como cobre, chumbo, ferro, manganês e zinco em quase todos os pontos coletados, sendo as concentrações de moderada a severa para cobre e zinco indicando uma possível conexão entre os solos de áreas agrícolas próximos ao rio (APRILE; BOUVY, 2010). Outro estudo realizado no município de Pedra em Pernambuco, próximo a áreas agrícolas, detectou níveis acima do permitido de bário, também foram detectadas concentrações de arsênico, zinco, cobalto e cromo, mas nos níveis permitidos pela lei brasileira (BEZERRA et al., 2014).

A presença de metais nos solos pode também ocasionar prejuízos para a agricultura local, devido à contaminação de culturas destinadas a produção de frutas e verduras. Em estudo realizado em Petrolina, estado de Pernambuco, em folhas e solos de cultivo de manga observou-se contaminação por cobre, zinco e cromo (SILVA et al., 2012).

3.3. Metais Pesados em Aves

Metais pesados são frequentemente produtos das sobras das indústrias e a sua emissão pode determinar contaminação ambiental, sendo necessário o desenvolvimento precoce de indicadores para alertar sobre a deterioração do ambiente (DAUWE et al., 2002). O declínio de algumas populações de aves na natureza tem sido associado à presença de produtos tóxicos que geram também distúrbios de desenvolvimento e problemas endócrinos (BURGER; GOCHFELD, 1997).

A contaminação ambiental pode afetar diretamente a qualidade dos ovos das aves bem como a quantidade, taxa de crescimento (KOIVULA et al., 2011), diminuição do tamanho das garras, redução da fertilidade, mortalidade de filhotes, redução da massa corporal e retardo na formação das penas (HOFER; GALLAGHER; HOLZAPFEL, 2010), além de aumentar a formação de radicais livres, que causam efeitos adversos à saúde dos animais (BERGLUND et al., 2007).

Algumas aves marinhas acumulam contaminantes como mercúrio, cádmio e selênio,

que se distribuem aos tecidos promovendo diferentes graus de toxicidade nos órgãos, podendo ocasionar o aparecimento de distúrbios em vários órgãos. Já as aves que estão no topo da cadeia alimentar, como as aves de rapina também podem acumular metais e são frequentemente objetos de estudo em análises de biomonitoramento. Entretanto, muitas aves se alimentam ao longo de uma região geográfica extensa, o que dificulta identificar o local de contato com os metais (BARBIERI et al., 2010; DAUWE et al., 2002, 2003). Na Bélgica, pequenos passeriformes, como o chapim-real (*Parus major*) e o chapim-azul (*Parus caeruleus*), têm sido estudados pois forrageiam em pequenas extensões, estudos de Dauwe et al. (2002) identificaram chumbo, zinco, cádmio e cobre nessas espécies.

As penas são utilizadas como forma de identificar a presença desses compostos em aves devido a seu mecanismo de formação, no qual contém uma artéria que a supre e que atrofia assim que a formação da pena se completa, podendo durar de seis a 12 meses. No entanto os componentes que foram carregados pelo sangue e acumulados nas penas refletem de duas a três semanas necessários para a emergência da plumagem (BURGER; GOCHFELD, 1997). Devido à propriedade dos metais pesados, que podem se ligar às moléculas de proteína das penas neste curto período é possível realizar a mensuração desses metais nas penas. No entanto, a quantidade de metais pode variar durante as fases de muda, a concentração pode não ser constante, podendo ser maior no começo e menor no final da muda (DAUWE et al., 2003).

A análise de penas possui diversas vantagens como bioindicadores uma vez que a técnica utilizada é não invasiva e reflete bem o nível dos metais no sangue da ave durante a formação da pena (BURGER; GOCHFELD, 1997). A contaminação externa tem sido considerada relevante em relação ao metal que está sendo investigado, as quais duas formas de contaminação externa tem sido demonstrada, uma por deposição de produtos químicos secos ou úmidos, pelo ar ou contaminação externa com o óleo da glândula uropigial (DAUWE et al., 2003; JASPERS et al., 2007). No entanto, Dauwe et al. (2003) não observaram interferência na contaminação externa com o mercúrio em coruja-do-mato (*Strix aluco*) e gavião-da-Europa (*Accipiter nisus*).

Existem poucos estudos no Brasil sobre a presença de metais pesados em aves silvestres. Vieira (1996) pesquisou a presença de mercúrio em aves de hábito semiaquático no pantanal do Mato Grosso do Sul e demonstrou que o biguá (*Phalacrocorax brasilianus*) é uma espécie indicadora de contaminação ambiental. Anos depois, Barbieri et al. (2010) identificaram a presença de metais pesados em gaivotão (*L. dominicanus*) em Santa Catarina. Em 2011 um estudo realizado por Ferreira no Rio de Janeiro em garça-branca-pequena

(*Egretta thula*), identificou zinco, chumbo, cádmio, níquel, cromo, e cobre nessa espécie. Brait & Antoniosi Filho (2011) realizaram um estudo em pombos domésticos (*Columba livia*) em Goiás e determinaram a presença de cobre, chumbo, cádmio, cromo, manganês, ferro e zinco nessas aves. Marchesi et al. (2015) identificaram concentrações de cromo, ferro, alumínio, cobre, cádmio, selênio, molibdênio, níquel e zinco em filhotes de arara-azul (*Anodorhynchus hyacinthinus*) no pantanal do Mato Grosso do Sul. Esses relatos demonstram a presença de metais no ambiente e a interação desses com as aves no Brasil, no entanto os relatos são escassos e com poucas espécies, dificultando a adoção de medidas e avaliação do impacto desses compostos no país.

3.3.1. Mercúrio (Hg)

O mercúrio é um metal branco prateado, líquido em temperatura ambiente normal e apresenta peso específico de 13,534 g ml⁻¹ a 25 °C (VOGEL, 1981), tem o seu ponto de fusão em -39 °C e o ponto de ebulição a 357 °C, devido a essa propriedade é utilizado em termômetros, chaves elétricas silenciosas e bombas de alto vácuo. Empregado comumente na produção de baterias, biocidas, na produção elétrica industrial e na extração de ouro. As fontes naturais de mercúrio são vulcões e erosões, no entanto isso ocorre em menor escala e a maior liberação ocorre pelas emissões das indústrias e incineradores (ATKINS; JONES, 2006).

Os níveis de mercúrio no solo e nos afluentes podem ser resultantes de inundações recentes, emissões causadas pelo homem, assim como o transporte atmosférico local (BURGER; GOCHFELD, 1997). Essa contaminação ambiental é extremamente preocupante, pois os compostos de mercúrio, particularmente os orgânicos, são acentuadamente tóxicos (ATKINS; JONES, 2006).

Um dos primeiros registros dos efeitos danosos do mercúrio data, aproximadamente, de 1600 por Bernardo Ramazzini (apud BURGER; GOCHFELD, 1997) que descobriu efeitos deletérios do mercúrio no sistema nervoso de humanos. Em 1960, a descoberta da doença crônica por absorção de mercúrio apontou o risco ambiental da presença deste para humanos e animais principalmente devido à exposição pelo consumo de peixes (BURGER; GOCHFELD, 1997).

O mercúrio é biologicamente não essencial e extremamente tóxico, níveis elevados desse metal em tecidos animais indicam alta contaminação ambiental (FURNESS et al., 1990). O mercúrio promove bioacumulação relacionada à idade do animal, dessa forma

quanto maior a idade mais mercúrio é acumulado nos tecidos (BURGER; GOCHFELD, 2000).

Esse composto ocorre nas formas orgânicas e inorgânicas e o metil-mercúrio é a forma mais tóxica para aves silvestres e está presente nos tecidos de peixes e presas. O mercúrio se acumula nas aves em órgãos como fígado, rins, músculos e penas, embora as penas sejam o melhor caminho para a excreção do mercúrio (70 a 93%) (BURGER; GOCHFELD, 1997). Devido a essa peculiaridade, a análise de penas tem sido um método utilizado para identificar níveis de mercúrio sem que seja necessário sacrificar as aves (FURNESS et al., 1990). Além disso, o mercúrio é estável em penas, não sendo eliminado por fatores externos e as penas são fáceis de coletar e armazenar por longos períodos de tempo (BURGER; GOCHFELD, 1997).

A distribuição e efeitos adversos do mercúrio em aves têm sido estudados desde 1960, existindo diversos estudos (Tabela 1) que identificaram o metal em aves possivelmente intoxicadas, embora não seja possível comprovar a causa e os efeitos. No entanto, é difícil determinar quando os níveis de poluentes encontrados em uma população de aves silvestres são suficientes para determinar prejuízos reprodutivos, embora esses efeitos já tenham sido comprovados (BURGER; GOCHFELD, 1997).

Tabela 1. Concentrações de Hg em diversas espécies de aves em diferentes países.

Autor/Ano	Local	Espécie	Amostra	Concentração Hg
Burger; Gochfeld (1997)	EUA	Rola-carpideira (<i>Zenaida macroura</i>)	penas	10,3 mg/kg
			ovos	3,8 mg/kg
Costa et al. (2011)	Portugal	Chapim-real (<i>Parus major</i>) Pisco-de-peito-ruivo (<i>Erithacus rubecula</i>) Melro-preto (<i>Turdus merula</i>)	penas	1,09 mg/kg
				3,44 mg/kg
				1,62 mg/kg
Cui et al. (2013)	China	Pombos domésticos (<i>Columba livia</i>)	fígado	22,3 ng/g
			rins	47,9 ng/g
			pulmões	16,4 ng/g
Salamat et al. (2014)	Irã	Frango-d'água-comum (<i>Gallinula chloropus</i>)	fígado	7,5 mg/kg

No Brasil, Vieira (1996) realizou uma pesquisa em penas de aves aquáticas no Pantanal e determinou presença de mercúrio em penas de biguá (*Phalacrocorax brasilianus*),

demonstrando a importância desse tipo de pesquisa para a diminuição da contaminação ambiental.

Em 1979, Furness & Hutton observaram aumento dos níveis de Cádmio em rins e fígado de moleiro-grande (*Catharacta skua*), sendo as correlações entre idade e níveis de mercúrio no fígado, rins e penas primárias positivas, porém não significantes estatisticamente, em decorrência do número de aves utilizadas no experimento. Estudo realizado por Hutton (1981) não evidenciou diferenças nos níveis de cádmio e mercúrio em amostras de gaivota-prateada (*Larus argentatus*) de idades diferentes.

A influência sobre a presença de mercúrio em relação à idade de aves marinhas não é muito bem descrita, principalmente, pela dificuldade de estimar a idade dessas aves, porém a relação de bioacumulação com mercúrio é conhecida. Furness et al. (1990), utilizaram penas de 62 gaivotas-de-bico-vermelho (*Chroicocephalus scopulinus*) na Nova Zelândia, e detectaram menor quantidade de metais nos animais jovens, o que foi associado ao curto período de tempo no desenvolvimento das penas.

3.3.2. Chumbo (Pb)

O chumbo é um metal cinza azulado de massa atômica 207,19, com alta densidade (11,48 g mL⁻¹ em temperatura ambiente), o que o torna útil para bloquear radiação (ATKINS; JONES, 2006; VOGEL, 1981). É obtido facilmente pelo minério de chumbo, sua durabilidade e a maleabilidade o tornam útil na indústria da construção, sendo utilizado em eletrodos de baterias recarregáveis (ATKINS; JONES, 2006).

Segundo Sileo & Fefer (1987) a ingestão acima de 144 ppm de chumbo pode causar intoxicação em filhotes de albatrozes-de-laysan (*Diomedea immutabilis*), que após a ingestão de *chips* com chumbo apresentaram sinais de asas caídas, degeneração nervosa e morte em alguns casos.

As aves silvestres podem ser expostas a este metal no ambiente e pela ingestão de comida contaminada com pequenas quantidades de chumbo, sendo detectadas nos ossos, tecidos moles e fígado, onde não são raros os casos de intoxicação (BAGLEY; LOCKE, 1967). Nos estudos de Nam & Lee (2011) realizados na Coreia foi atribuída a 17,4% das aves necropsiadas a morte por intoxicação com chumbo, com níveis acima de 25 ppm.

Um dos primeiros relatos sobre a intoxicação de aves ocorreu em 1923, em aves marinhas no Kansas (PHILLIPS; LINCOLN, 1930). Outros relatos foram publicados por Beer

& Stanley (1963) (apud BAGLEY; LOCKE, 1967) que reportaram a intoxicação com morte de 32 aves silvestres cativas na Inglaterra e Bagley & Locke (1967), que identificaram chumbo em fígado e ossos de aves silvestres e observaram que nos ossos os níveis de chumbo eram mais elevados, provavelmente devido à interação do chumbo com o cálcio, e a mobilização desses compostos em casos de estresse. Scheuhammer et al. (1998) pesquisaram chumbo em músculo peitoral de 827 aves de caça no Canadá, dessas, 92 aves tiveram concentrações de chumbo maiores que 2 µg/kg de peso seco.

Devido à preocupação de contaminação das aves de caça com chumbo e a contaminação do meio ambiente com fragmentos proveniente nas balas em locais onde a caça esportiva é permitida foram feitos diversos estudos. Lewis et al. (2001) realizaram análises de diversos metais em aves próximas a um centro de treinamento de armas de fogo na Georgia, Estados Unidos e mais de 33% das aves estudadas tinham mais de 1 ppm de chumbo nos rins ou fígado. A utilização de munições com chumbo pode causar uma contaminação do ambiente devido a fragmentos que podem ser liberados e ingeridos por animais. Trinogga et al. (2013) pesquisaram o efeito das munições livres de chumbo e comprovaram a eficiência delas para a caça, como um estímulo para o abandono das balas com chumbo.

Beyer et al. (2004), pesquisaram a presença de chumbo em fígado, rins e sangue de aves próximas aos distritos de mineração de Oklahoma, Kansas e Missouri, sendo observado níveis de 7,5 a 94 mg/kg de chumbo no fígado dessas aves, nos rins variou de 11 a 220 mg/kg.,

Na Austrália, as aves serviram como sentinelas para um problema de contaminação ambiental que afetou a saúde da população. Em 2006, milhares de aves nativas morreram, o que levou a investigar a mina local. Foram feitas análises em 49 crianças e 18 adultos para pesquisa de chumbo sanguíneo, com base na mortalidade de aves. Foi comprovada a fonte, com a maior concentração de chumbo em crianças (1,5-25,7 µg/dL) (DOUGLAS et al., 2009), o que denota a importância dos animais como bioindicadores ambientais.

Nos últimos anos, aumentou-se a preocupação sobre a exposição dos animais ao chumbo, o que pode causar danos aos sistemas imune, neuroendócrino e reprodutivo. A influência do homem é importante na emissão desse composto, promovendo alterações no ambiente e levando a intoxicações de aves marinhas, e aves de rapina de forma secundária (NAM; LEE, 2011).

No Brasil, Barbieri et al. (2010) fizeram análises de penas de gaivotão (*Larus dominicanus*) de vários grupos etários em Florianópolis e os níveis de chumbo variaram de 1,47 µg/g para jovens, 3,708 µg/g para sub-adultos e 7,536 µg/g para adultos, demonstrando

que a bioacumulação de chumbo é maior de acordo com a idade do animal exposto. Brait e Antoniosi Filho (2011), pesquisaram a influência da contaminação externa em penas de pombos domésticos (*Columba livia*) em três locais do Estado de Goiás. Os autores detectaram concentrações altas nas penas que não foram lavadas, com cerca de 7,95 mg/kg em comparação com as penas lavadas que em média variaram de 0,58 a 5,02 mg/kg, isso determina um alto grau de contaminação ambiental proveniente do ar, através da emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis. Conclusão semelhante foi obtida por Ferreira (2011), que obteve níveis altos de chumbo em garça-branca-pequena (*Egretta thula*) no Rio de Janeiro. Alkmin-Filho et al. (2014) identificaram contaminação de amostras de fígado e rins de aves de produção provenientes de vários estados brasileiros, com índices de positividade de 1,5 e 3,6% nas amostras, respectivamente.

3.3.3. Cádmio (Cd)

O cádmio é um metal branco prateado (ATKINS; JONES, 2006; VOGEL, 1981) maleável e dúctil, funde a 321°C e dissolve-se lentamente em ácidos diluídos com liberação de hidrogênio. Com número de oxidação +2 em todos seus compostos (ATKINS; JONES, 2006) forma íons incolores. O cloreto, nitrato e sulfato de cádmio são solúveis em água e o sulfeto é insolúvel e apresenta coloração amarela. Este metal possui uma utilização diversificada na indústria, principalmente misturado com outros metais, como cobre e zinco (VOGEL, 1981).

O cádmio é um metal tóxico não essencial, humanos e animais são expostos principalmente pela ingestão de alimentos contaminados e atividade laboral (ALKMIM FILHO et al., 2014; STOEV et al., 2003). Sendo considerado um elemento carcinogênico, a exposição ao metal aumenta as chances de câncer nos pulmões, tecido endometrial, bexiga e mamas (ALKMIM FILHO et al., 2014).

O cádmio é letal para os organismos, visto que altera o metabolismo pela substituição de outros metais como zinco e cálcio, tornando os ossos frágeis, causando desordens renais e pulmonares (ATKINS; JONES, 2006). Dietas deficientes de zinco, cálcio ou ferro aumentam a absorção de cádmio, assim como sua toxicidade (SCHEUHAMMER, 1987).

Em mamíferos a absorção de cádmio é dose dependente, cerca de 0,4 a 2% são absorvidos levando em consideração uma dose de 1 mg/kg. A maioria do cádmio é concentrada no intestino, sendo que apenas 0,1 a 0,5% da dose ultrapassa essa barreira e

chega à circulação e outros tecidos, no entanto quando a dose aumenta uma porcentagem menor fica no intestino e vai para outros tecidos. Em aves isso ocorre de modo semelhante e a acumulação maior ocorre no fígado e nos rins. O cádmio quando na forma de metaloproteína principalmente, se acumula com o passar dos anos devido ao tempo de meia-vida longo, em humanos pode chegar a 20 anos (SCHEUHAMMER, 1987) e em aves menos de uma década (FERREIRA, 2011) e a concentração de 3 a 10 ppm é considerada tóxica para aves (ZACCARONI et al., 2003).

Na exposição crônica, os rins acumulam o metal no córtex, principalmente na forma de metaloproteína. Quando a exposição ultrapassa 100 a 200 µg, ocorre nefropatia, com necrose tubular, proteinúria, glicosúria, excreção de cádmio na urina e aparecimento da metaloproteína no plasma (SCHEUHAMMER, 1987).

Estudos realizados em diferentes espécies de aves e países estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Concentrações de Cd no fígado e rins em diversas espécies de aves em diferentes países.

Autor/ Ano	Local	Espécie	Amostra	Concentração Cd
Hernandez et al. (1999)	Espanha	Aves aquáticas	fígado	10,78 µg/g
Pereda-Solis et al.(2012)	México	Aves aquáticas	fígado	2,66 mg/kg
Cui et al. (2013)	China	Pombos domésticos (<i>Columba livia</i>)	fígado, rins	947,3 ng/g 11,137 ng/g
Salamat et al. (2014)	Irã	Frango-d'água-comum (<i>Gallinula chloropus</i>)	fígado	1,879 mg/kg

No Brasil, Barbieri et al. (2010) verificaram que os níveis de cádmio em penas se alteraram pouco nas diferentes grupos etários de gaivotão *Larus dominicanus* pesquisadas, variando de 0,021 µg/g em jovens, 0,031 µg/g em sub-adultos e 0,072 µg/g em adultos. Brait & Antoniosi Filho (2011) identificaram presença de cádmio em pombos domésticos provenientes de três locais de Goiás. Os níveis variaram de 0,04 a 0,20 mg/kg nas penas dessas aves, provavelmente a contaminação teria sido proveniente da alimentação e da poluição atmosférica. Ferreira (2011) realizando pesquisas com garça-branca-pequena (*Egretta thula*) no Rio de Janeiro, também obteve níveis altos de cádmio em fígado e rins dessas aves, decorrente de bioacumulação através do alimento, ou de processos de degradação

ambiental. Alkimin-Filho et al. (2014) pesquisaram a presença de cádmio em aves de produção e suínos oriundos de matadouros e 16,3% dos rins de aves tinham resíduos de cádmio, porém apenas uma amostra estava acima dos limites permitidos pela lei brasileira já nos rins de suínos 67,8% tinham resíduos de cádmio e quatro amostras excediam o limite.

3.3.4. Cobre (Cu)

O cobre é um metal vermelho-pálido, macio, maleável e dúctil com grau de fundição a 1038°C. Existem duas séries de compostos de cobre: cobre (I) e cobre (II). Os compostos de cobre (I) são derivados do óxido de cobre (I) vermelho, Cu_2O , e contêm íons de cobre (I), Cu^+ . São incolores e a maioria dos sais de cobre (I) são insolúveis em água, oxidam rapidamente a compostos de cobre, formando o óxido de cobre, CuO . Os compostos de cobre (II) contêm dois íons cobre (II), Cu^{2+} , geralmente são azuis, tanto no estado sólido hidratado como diluído em soluções aquosas (VOGEL, 1981). O cobre em seu estado de oxidação +2 é semelhante à outros íons +2 de metais de transição. O íon cúprico hidratado é colorido e reage com doadores de elétrons para formar complexos (MAHAN & MYERS, 1995).

Sua alta capacidade de condutibilidade, torna o cobre muito importante para a indústria, sendo utilizado principalmente em maquinarias, construção, transporte e armas militares, também como componente do ouro branco, produtos dentários e cosméticos (GAETKE; CHOW-JOHNSON; CHOW, 2014).

O cobre é um metal de transição essencial que está envolvido em processos como a respiração, a fotossíntese, a inativação de radicais livres, o metabolismo do ferro e em funções neurológicas (GONÇALVES, 2010; PAL; PRASAD, 2015). É o terceiro íon mais abundante do corpo humano depois do ferro e o zinco (GONÇALVES, 2010). De outro modo, o excesso de cobre também pode gerar danos oxidativos, determinando o aparecimento de inúmeras doenças (GONÇALVES, 2010; PAL; PRASAD, 2015).

O cobre atua como antioxidante no corpo humano, protegendo-o contra o estresse oxidativo, também é componente de enzimas como a superóxido dismutase, que é parte da primeira defesa antioxidativa, prevenindo a formação de radicais livres (APSÍTE; BĚRZINA; BASOVA, 2012). É necessário nas enzimas lisil oxidase e nas proteínas ceruloplasmina e ferroxidase I. A lisil oxidase participa da interação colágeno e elastina, sendo essencial para a formação do tecido conjuntivo. As proteínas ceruloplasmina e ferroxidase I facilitam o transporte do lúmen intersticial de locais de estocagem para o sítio da eritropoiese. Além

disso, o cobre é componente da citocromo oxidase, que catalisa a formação de oxigênio para água. É importante também na formação e manutenção da mielina e está envolvido com a pigmentação da pele, cabelo e olhos (GAETKE; CHOW-JOHNSON; CHOW, 2014).

É um metal essencial para a saúde das aves, o requerimento necessário na dieta de aves domésticas é de 5-10 mg/kg, sendo o máximo tolerado de 250 mg/kg na dieta (APSĪTE; BĒRZINA; BASOVA, 2012). Normalmente uma quantidade muito pequena do cobre é estocada no corpo, cerca de 30 a 50% do cobre ingerido é absorvido no intestino delgado e outra pequena fração no estômago. O cobre absorvido é transportado pelo sangue, ligado a albumina principalmente e no fígado vai ser estocado nos hepatócitos para a síntese das enzimas dependentes de cobre e então segue para o plasma ou é excretado na bile (FUENTEALBA; ABURTO, 2003; GAETKE; CHOW-JOHNSON; CHOW, 2014).

O cobre excedente no organismo é normalmente metabolizado e excretado pela bile, a quantidade de cobre nos alimentos e água geralmente é baixa e o corpo consegue excretar sem maiores dificuldades. A exposição ao excesso de cobre ocorre pela contaminação ambiental, insuficiência da glândula adrenal, problemas em seu metabolismo, risco ocupacional, dentre outros fatores. O aumento da concentração de cobre no corpo pode ser identificada por análises de cabelo/pelos, urina e sangue, sendo o soro sanguíneo o mais utilizado. Porém é difícil observar mudanças pequenas nas concentrações de cobre, então a utilização da ceruloplasmina como biomarcador seria importante, visto que ela é formada a partir do estoque de cobre do fígado e assim as concentrações são mais fidedignas (GAETKE; CHOW-JOHNSON; CHOW, 2014).

O excesso de cobre ocasiona danos oxidativos, alteração do metabolismo de lipídeos, expressão gênica, alteração na distribuição do cobre nos hepatócitos e alteração nas proteínas do cobre no sistema nervoso (GAETKE; CHOW-JOHNSON; CHOW, 2014). Em aves a intoxicação por cobre é muitas vezes ignorada, embora já se tenha identificado como fonte de doença em aves aquáticas e aves domésticas (OSOFISKY et al., 2001).

Poucos estudos foram realizados para pesquisa de cobre especificamente em aves, mas existem trabalhos com associação a outros metais. Hernandez et al. (1999) pesquisaram metais em fígados de aves de seis famílias distintas na Espanha. Para o cobre os níveis variaram de 2,054 a 1298 µg/g. Hofer et al. (2010), nos Estados Unidos pesquisaram os níveis de cobre em penas de tordo-americano (*Turdus migratorus*) e corruíra (*Troglodytes aedon*), encontrando aproximadamente 8000 mg/kg e 6000 mg/kg nessas aves, respectivamente. Salamat et al. (2014) observaram máximas concentrações de 24,07 mg/kg em frango-d'água-comum (*Gallinula chloropus*) no Irã. Em um estudo mais recente, Abbasi et al. (2015),

utilizando penas de 48 espécies de aves no Paquistão, obtiveram concentração média de 1,62 $\mu\text{g/g}$.

No Brasil, poucos estudos foram realizados e relacionados à presença de cobre como indicativo de intoxicação em aves silvestres. Barbieri et al. (2010) realizaram pesquisas com diversos metais, inclusive cobre, em gaivotão (*L. dominicanus*) procedentes de Florianópolis. Os níveis variaram de 13,76 $\mu\text{g/g}$ em jovens, 9,671 $\mu\text{g/g}$ em sub-adultos e 13,130 $\mu\text{g/g}$ em aves adultas, não tendo significância a acumulação com a idade. Ferreira (2011) também encontrou níveis de cobre em garça-branca-pequena (*Egretta thula*) no Rio de Janeiro, associadas à bioacumulação pelo alimento ou contaminação ambiental. Já Brait & Antoniosi Filho (2011) em estudo com pombos domésticos no estado de Goiás, encontraram níveis de 8,06 a 8,89 mg/kg em penas lavadas, chegando à conclusão que a bioacumulação de cobre acontece primordialmente pela via alimentar, pois as penas não lavadas apresentaram concentrações próximas, excluindo-se a contaminação externa como principal fonte.

3.3.5. Cromo (Cr)

O cromo é um metal branco, cristalino e não consideravelmente dúctil ou maleável, possui grau de fundição a 1765°C, é solúvel em ácido clorídrico diluído ou concentrado. Em soluções aquosas o cromo forma três tipos de íons: cromo (II), cromo (III) (que são cátions) e o anion cromato (dicromato), com estado de oxidação +6. O íon cromo (II), Cr^{2+} é derivado do óxido de cromo (II) CrO , que forma solução de cor azul. São instáveis com alto poder redutor e o oxigênio atmosférico oxida-os em íons cromo (III) com facilidade. Os íons cromo (III), Cr^{3+} , são estáveis e derivados do trióxido de dicromo Cr_2O_3 , em solução possuem cor verde ou violeta. Nos ânions cromato, CrO_4^{2-} ou dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, o cromo é hexavalente com um estado de oxidação +6, derivados do trióxido de cromo CrO_3 . Os íons cromatos são amarelos e os dicromatos são cor laranja (VOGEL, 1981).

O cromo é um elemento traço essencial e pode ser encontrado, por exemplo, em carnes, batatas e frutas frescas. A ingestão diária desses alimentos é o suficiente para a saúde. Os sais de cromo são tóxicos para os organismos dependendo do estado de oxidação e solubilidade, o cromo Cr (VI) é mais tóxico que o Cr (III). O cromo (Cr (VI)) é uma das formas mais tóxicas produzidas pelas atividades do homem sobre a natureza, seu uso comum em pigmentos, conservantes de madeira dentre outros usos aumenta sua concentração no ambiente (CARPINISAN et al., 2010).

No organismo, o Cr (VI) é convertido em Cr (III) como forma de defesa, porém uma vez dentro da célula é difícil o ataque das células de defesa. Nesse caso o cromo se associa as proteínas de DNA, que causam graves danos às fitas de DNA, se alojando perto do núcleo das células dos órgãos alvo (CARPINISAN et al., 2010; CHUNDAWAT; SOOD, 2005). A partir desse comportamento do cromo dentro da célula foram realizados estudos sobre mutações em bactérias e na mosca *Drosophila melanogaster*. Foram utilizados componentes oriundos de Cr (VI) e Cr (III) em bactérias e a troca de informação genética durante a conjugação foi inibida e alterou a atividade da DNA-polimerase I, aumentando a frequência de mutações. Nos testes realizados com a mosca *D. melanogaster* para detecção de mutações letais, foi utilizado dicromato de potássio nas soluções de crescimento das moscas e foi demonstrado que na primeira geração houve um aumento estatisticamente significativo de mutações letais em todas as concentrações estudadas comparadas ao controle. Foi demonstrado também que o anidrido crômico, bicromatos e monocromatos de sódio e potássio são capazes de induzir aberrações cromossomais, mudando os números de cromossomos. Em ratos, a maior frequência de células aberrantes foi induzida em concentrações de 0,1 mg/kg a 1 mg/kg (MAMYRBAEV et al., 2015).

São escassas as pesquisas sobre a bioacumulação de cromo em aves. Na pesquisa de Hofer et al. (2010), nos Estados Unidos, em penas de Tordo-americano (*Turdus migratorius*) e Corruíra (*Troglodytes aedon*) foi obtido aproximadamente 3000 mg/kg e menos de 2000 mg/kg, respectivamente. Abbasi et al. (2015) analisaram penas de 48 espécies de aves no Paquistão e obtiveram níveis de 0,86 µg/g de cromo.

No Brasil são poucos os estudos sobre a presença e a toxicidade de cromo em aves silvestres. Barbieri et al. (2010) observaram níveis altos de cromo em gaviotão (*L. dominicanus*), 1,062 µg/g em aves jovens, 2,098 µg/g em sub-adultos e 4,665 µg/g em adultos, havendo uma correlação com a acumulação e idade. Brait & Antoniosi Filho (2011) em sua pesquisa com pombos domésticos os níveis variaram de 0,28 a 1,48 mg/kg, também foi estabelecida a correlação entre o cromo e contaminação externa em penas. Na pesquisa de Ferreira (2011) dentre os metais pesquisados o cromo foi o metal com maiores concentrações em fígados de garça-branca-pequena .

3.4. Detecção de Metais Pesados

Os metais pesados podem ser analisados de diversas formas, dentre os métodos mais

usados estão os métodos espectroscópicos atômicos, que determinam quantitativamente e qualitativamente cerca de 70 elementos. Esses métodos podem detectar elementos em quantidades de partes por milhão (ppm) e partes por bilhão (ppb). As vantagens desses métodos são a rapidez de análise e alta seletividade (SKOOG, 2010).

Toda técnica analítica possui um limite de detecção, nos métodos que empregam uma curva analítica o limite de detecção é definido como a concentração analítica que gera uma resposta a um fator de confiança k superior ao desvio padrão do branco (S_b) e m é a sensibilidade da calibração:

$$LD = \frac{kS_b}{m}$$

A primeira etapa da espectroscopia atômica é a atomização, que consiste na volatilização e decomposição para produzir uma forma gasosa de átomos e íons. Dentre os métodos de atomização estão: plasma acoplado indutivamente; chama eletrotérmica, plasma de corrente contínua, arco elétrico e centelha elétrica (SKOOG, 2010).

3.4.1. Espectrometria de Absorção Atômica

A espectrometria de absorção atômica é um dos métodos mais empregados para análise de elementos devido a sua simplicidade, efetividade e relativamente baixo custo, capaz de detectar níveis de elementos ou metais em uma grande variedade de amostras ambientais, alimentares, biológicas entre outras (SETTLE, 1997; SKOOG, 2010). O primeiro espectrômetro de absorção atômica foi produzido em 1959 e desde então essa técnica tem sido amplamente utilizada. Nesse tipo de espectroscopia, uma fonte externa de radiação incide sobre o vapor do analito, se a radiação externa for de frequência apropriada poderá ser absorvida pelos átomos do analito e deixá-los na forma excitada. A fonte de radiação mais empregada é a lâmpada de cátodo oco, que consiste em um ânodo de tungstênio e um cátodo cilíndrico selado em um tubo de vidro, contendo um gás inerte, como o argônio, sob pressão (SKOOG, 2010).

Em espectrômetros, a radiação da lâmpada de cátodo é recortada e mecanicamente dividida em dois feixes, um deles passa pela chama e outro ao redor desta. Um espelho dirige ambos os feixes para um mesmo caminho de forma que passem através do monocromador para o detector, então o processador de sinal separa o sinal gerado pela luz recortada do sinal produzido pela chama. O logaritmo da razão entre os sinais de referência e do sinal da

amostra é computado e é mostrada a absorvância no computador (SKOOG, 2010).

Uma curva de calibração é estabelecida relacionando a concentração das soluções padrão com o sinal analítico. O sinal obtido da amostra será então comparado com o sinal gerado pela solução padrão de concentração conhecida. É usual utilizar ao menos quatro soluções padrão e um branco para construir a curva de calibração a partir da qual é possível obter a concentração da amostra analisada (SETTLE, 1997).

3.4.2. Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer- ICP OES*)

A Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES) foi desenvolvido por Fassel nos Estados Unidos e por Greenfield no Reino Unido em 1970. A técnica surgiu diante das limitações das técnicas de espectrometria atômica, como o uso de lâmpadas e das análises demoradas. O ICP apresenta as vantagens de análise multielementar e o tempo de análise extremamente baixo, cerca de 2 minutos (SETTLE, 1997).

O plasma é uma mistura gasosa condutiva contendo uma concentração significativa de cátions e elétrons. No plasma de argônio utilizado no ICP, os íons de argônio e elétrons são as espécies condutoras principais, que uma vez formados no plasma absorvem potência suficiente de uma fonte externa para manter a temperatura em dado nível, de forma que a ionização adicional sustenta o plasma e temperaturas altas de até 10.000K podem ser obtidas. São utilizadas geralmente três fontes de potência com plasma de argônio: fonte de arco elétrico, geradores de radiofrequência e frequência de micro-ondas pelos quais flui o argônio. Porém a fonte de radiofrequência ou plasma acoplado indutivamente tem mais sensibilidade e menor efeito de interferências (SKOOG, 2010).

A temperatura alta do ICP é suficiente para quebrar as estruturas químicas, emitindo átomos e íons. A tocha de plasma, envolvida em uma bobina de indução, encontra-se no interior de um campo eletromagnético alimentado a partir do gerador de radiofrequência (SETTLE, 1997; SKOOG, 2010). As amostras são introduzidas dentro do plasma com o auxílio de um nebulizador, que converte a amostra em aerossol. A amostra quando entra no plasma é atomizada e para a maioria dos elementos é ionizada. Quando as amostras deixam o plasma, são esfriadas e no processo são emitidos fótons que colidem entre si para passar por uma rede de difração (SETTLE, 1997).

O ICP vem ganhando espaço no mercado, devido a sua estabilidade, baixo ruído, imunidade a diversos tipos de interferências, no entanto é ainda muito caro e necessita de mão-de-obra especializada para operar o equipamento. É largamente empregado para determinação de traços de metais em alimentos, amostras biológicas, geológicas e controle de qualidade industrial (SKOOG, 2010).

4. REFERÊNCIAS

- ABBASI, N. A. et al. Influence of taxa, trophic level, and location on bioaccumulation of toxic metals in bird's feathers: A preliminary biomonitoring study using multiple bird species from Pakistan. **Chemosphere**, v. 120, p. 527–537, 2015.
- ALKMIM FILHO, J. F. et al. Assessment of heavy metal residues in Brazilian poultry and swine tissue. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 2, p. 471–480, abr. 2014.
- ALVES, R. R. D. N. et al. Bird-keeping in the Caatinga, NE Brazil. **Human Ecology**, v. 38, n. 1, p. 147–156, 2010.
- ALVES, R. R. N. et al. Ethno-ornithology and conservation of wild birds in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 9, n. 1, p. 14, 2013.
- APRILE, F. M.; BOUVY, M. Heavy metal levels in surface waters from a tropical river basin, Pernambuco State, northeastern Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 32, n. 4, p. 357–364, 3 nov. 2010.
- APSĪTE, M.; BĒRZINA, N.; BASOVA, N. Effects of high but non-toxic dietary intake of Selenium and Copper on indices of the antioxidant defense system and on accumulation of trace elements in Chicks. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences**, v. 66, n. 4-5, p. 117–124, 1 jan. 2012.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente** – 3ª Ed- Porto Alegre: Bookman. 2006. p. 652-653,670.
- BAGLEY, G. E.; LOCKE, L. N. The occurrence of lead in tissues of wild birds. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 2, n. 5, p. 297–305, 1967.
- BARBIERI, E. et al. Assessment of trace metal concentration in feathers of seabird (*Larus dominicanus*) sampled in the Florianópolis, SC, Brazilian coast. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 169, p. 631–638, 2010.
- BEER, J.V., STANLEY, P. The Wildfowl Trust 16th Annual Report 30, 1964.
- BERGLUND, A. M. M. et al. Oxidative stress in pied flycatcher (*Ficedula hypoleuca*)

nestlings from metal contaminated environments in northern Sweden. **Environmental Research**, v. 105, n. 3, p. 330–339, 2007.

BEYER, W. N. et al. Zinc and Lead Poisoning in Wild Birds in the Tri-State Mining District (Oklahoma, Kansas, and Missouri). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 48, n. 1, p. 108–117, 2004.

BEZERRA, J. D. et al. Characterization of Heavy Metals in a Uranium Ore Region of the State of Pernambuco, Brazil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 92, n. 3, p. 270–273, 2014.

BRAIT, C. H. H.; ANTONIOSI FILHO, N. R. Use of feathers of feral pigeons (*Columba livia*) as a technique for metal quantification and environmental monitoring. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 179, n. 1-4, p. 457–467, 2011.

BRASIL. Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967. Lei de Proteção a Fauna. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L5197.htm. Acessado em: 29/12/15.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Lei dos Crimes Ambientais. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm. Acessado em: 29/12/15

BURGER, J.; GOCHFELD, M. Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. **Environmental research**, v. 75, n. 2, p. 160–172, 1997.

BURGER, J.; GOCHFELD, M. Metals in albatross feathers from midway atoll: influence of species, age, and nest location. **Environmental research**, v. 82, n. 3, p. 207–221, 2000.

CARPINISAN, L. et al. The Influence of Deuterium Depleted Water on the Hematocrit and the Leukocyte Formula in Rats Intoxicated With Chromium. **Animal Science and Biotechnologies**, v. 43, n. 1, p. 464–468, 2010.

CARVALHO, F. G. DE; JABLONSKI, A.; TEIXEIRA, E. C. Estudo das partículas totais em suspensão e metais associados em áreas urbanas **Química Nova**. v. 23, n. 5, p. 614–617, 2000.

CHUNDAWAT, R. S.; SOOD, P. P. Vitamins deficiency in developing chick during chromium intoxication and protection thereof. **Toxicology**, v. 211, p. 124–131, 2005.

COSTA, R. A. et al. The use of passerine feathers to evaluate heavy metal pollution in central Portugal. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 86, n. 3, p. 352–356, 2011.

- CUI, J. et al. Age-dependent accumulation of heavy metals in liver, kidney and lung tissues of homing pigeons in Beijing, China. **Ecotoxicology (London, England)**, v. 22, n. 10, p. 1490–7, 2013.
- DANNI-OLIVEIRA, I. M. Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 15, n. 5, p. 113–126, 2008.
- DAUWE, T. et al. Great and blue tit feathers as biomonitors for heavy metal pollution. **Ecological Indicators**, v. 1, n. 4, p. 227–234, 2002.
- DAUWE, T. et al. Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: Effects of molt and external contamination. **Environmental Pollution**, v. 124, n. 3, p. 429–436, 2003.
- DOUGLAS, C. et al. Windblown Lead Carbonate as the Main Source of Lead in Blood of Children from a Seaside Community: An Example of Local Birds as “Canaries in the Mine”. **Environmental Health Perspectives**, v. 117, n. 1, p. 148–154, jan. 2009.
- DUARTE, R. H. Pássaros e cientistas no Brasil: Em busca de proteção, 1894-1938. **Latin American Research Review**, v. 41, n. 1, p. 3–26, 2006.
- FERNANDES-FERREIRA, H. et al. Hunting, use and conservation of birds in Northeast Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 1, p. 221–244, 2012.
- FERREIRA, A. Assessment of heavy metals in *Egretta thula*: case study: Coroa Grande mangrove, Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 77–82, fev. 2011.
- FUENTEALBA, C.; ABURTO, E. M. Animal models of copper-associated liver disease. **Comparative Hepatology**, v. 2, n. 5, p. 1–10, 2003.
- FURNESS, R. W. & HUTTON, M. Pollutant levels in the great skua *Catharacta skua*. **Environment Pollution**, v.19, 261-8, 1979.
- FURNESS, R. W. et al. Mercury levels in the plumage of red-billed gulls *Larus novaehollandiae scopulinus* of known sex and age. **Environmental Pollution**, v. 63, n. 1, p. 33–39, 1990.
- GAETKE, L. M.; CHOW-JOHNSON, H. S.; CHOW, C. K. Copper: toxicological relevance and mechanisms. **Archives of Toxicology**, v. 88, n. 11, p. 1929–1938, 2014.

GODOY, S. N.; MATUSHIMA, E. R. A survey of diseases in Passeriform birds obtained from illegal wildlife trade in São Paulo City, Brazil. **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 24, n. 3, p. 199–209, 2010.

GONÇALVES, M. B. **Estudo de Propriedades Eletrônicas e Estruturais de Complexos de Cobre**. Universidade de São Paulo, Tese de doutorado, 2010, 153p.

HERNÁNDEZ, L. M. et al. Accumulation of heavy metals and As in wetland birds in the area around Doñana National Park affected by the Aznalcollar toxic spill. **Science of the Total Environment**, v. 242, n. 1-3, p. 293–308, 1999.

HOFER, C.; GALLAGHER, F. J.; HOLZAPFEL, C. Metal accumulation and performance of nestlings of passerine bird species at an urban brownfield site. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 5, p. 1207–1213, 2010.

HUTTON, M. Accumulation of heavy metals and selenium in three seabird species from the United Kingdom. **Environment Pollution Ser. A**, v.26, p.129-45, 1981.

JASPERS, V. L. B. et al. Is external contamination with organic pollutants important for concentrations measured in bird feathers? **Environment International**, v. 33, n. 6, p. 766–772, 2007.

KOIVULA, M. J. et al. Metal pollution indirectly increases oxidative stress in great tit (*Parus major*) nestlings. **Environmental Research**, v. 111, n. 3, p. 362–370, 2011.

KOIVULA, M. J.; EEVA, T. Metal-related oxidative stress in birds. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 7, p. 2359–2370, 2010.

LEWIS, L. A. et al. Lead Toxicosis and Trace Element Levels in Wild Birds and Mammals at a Firearms Training Facility. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 41, n. 2, p. 208–214, 2001.

MAHAN, B. H. E MYERS, R. J. Química – um Curso universitário, São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda, 1995. pp. 446-448.

MAMYRBAEV, A. A. et al. Mutagenic and carcinogenic actions of chromium and its compounds. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 20, p. 159–167, 2015.

MARCHESI, M. D. et al. Relationship between weight, age and hatching success and the concentration of heavy metals in nestling blue macaw (*Anodorhynchus hyacinthinus* Latham, 1790) in the Pantanal, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 35, n. 4, p.

569–572, 2015.

MINDRISZ, A. C. **Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares, por combustíveis fósseis, no município de Santo André, São Paulo: uma contribuição à gestão ambiental** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- Universidade de São Paulo, Tese de doutorado, 2006, 254p.

NAM, D.; LEE, D. Mortality factors and lead contamination of wild birds from Korea. **Environmental monitoring and assessment**, v. 178, n. 1-4, p. 161–9, 2011.

OSOFSKY, A. et al. Determination of Normal Blood Concentrations of Lead, Zinc, Copper, and Iron in Hispaniolan Amazon Parrots (*Amazona ventralis*). **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 15, n. 1, p. 31–36, 2001.

PAL, A.; PRASAD, R. An overview of various mammalian models to study chronic copper intoxication associated Alzheimer's disease like pathology. **Biometals**, v. 28, n. 1, p. 1–9, 2015.

PHILLIPS, J.C.; LINCOLN, F.C. American waterfowl: their present situation and the outlook for their future. **Houghton Mifflin**, Boston, MA. 1930.

PIACENTINI, V. DE Q. et al. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 23, n. 2, p. 91–298, 2015.

RAMAZZINI, B. **De Morbis Artificum Diatriba**. Reimpressão: Diseases of Workers. Hafner, New York, 1713.

REGUEIRA, R. F. S.; BERNARD, E. Wildlife sinks: Quantifying the impact of illegal bird trade in street markets in Brazil. **Biological Conservation**, v. 149, n. 1, p. 16–22, 2012.

RENTAS. **Primeiro Relatório sobre o tráfico Nacional de Animais Silvestres**. p. 40, 2001.

SALAMAT, N. et al. Heavy metals in selected tissues and histopathological changes in liver and kidney of common moorhen (*Gallinula chloropus*) from Anzali Wetland, the south Caspian Sea, Iran. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 110, p. 298–307, 2014.

SCHEUHAMMER, A. et al. Elevated lead concentrations in edible portions of game birds harvested with lead shot. **Environmental Pollution**, v. 102, n. 2-3, p. 251–257, 1998.

SCHEUHAMMER, A. M. The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury, and lead in

birds: A review. **Environmental Pollution**, v. 46, n. 4, p. 263–295, 1987.

SETTLE, F. A. **Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry**. Prentice-Hall: New Jersey, 1997 pp.373-414.

SILEO, L., & FEFER, S. I. Paint chip poisoning of Laysan Albatross at Midway Atoll. **Journal of Wildlife Disease**. v.23, p.432-437, 1987.

SILVA, J. P. S. et al. Heavy metals in soils and plants in mango orchards in Petrolina, Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1343–1354, ago. 2012.

SILVA JÚNIOR, F. M. R. **Atividade mutagênica em solos sob a influência de rejeitos de carvão**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Biociências. Dissertação de Mestrado, 2008, 128p.

SKOOG, D. A., WEST, D. M., HOLLER, F. J., CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**- São Paulo: Cengage Learning, 2010. pp. 796-823.

STOEV, S. D. et al. Experimental cadmium poisoning in sheep. **Experimental and toxicologic pathology : official journal of the Gesellschaft für Toxikologische Pathologie**, v. 55, n. 4, p. 309–14, 2003.

TRINOOGGA, A. et al. Are lead-free hunting rifle bullets as effective at killing wildlife as conventional lead bullets? A comparison based on wound size and morphology. **Science of the Total Environment**, v. 443, p. 226–232, 2013.

VANSTREELS, R. E. T. et al. Impacts of animal traffic on the Brazilian Amazon parrots (Amazona species) collection of the Quinzinho de Barros Municipal Zoological Park, Brazil, 1986-2007. **Zoo biology**, v. 29, n. 5, p. 600–14, 2010.

VIEIRA, L. M., ALHO, C. R., BARIONI JUNIOR, W. Concentração de mercúrio nas penas de aves como indicador de contaminação ambiental no Pantanal, Brasil. In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, Corumbá. Embrapa, 1996, p 70-71.

VOGEL, A.I. Química analítica quantitativa. 5ª edição- Ed. Mestre Jou, São Paulo. 1981. p. 215,228.

ZACCARONI, A. et al. Cadmium, chromium and lead contamination of *Athene noctua*, the little owl, of Bologna and Parma, Italy. **Chemosphere**, v. 52, p. 1251–1258, 2003.

5. ARTIGOS CIENTÍFICOS

Capítulo I

Identificação de Metais Pesados em Penas de Aves Silvestres Traficadas em Pernambuco, Brasil

(Artigo formatado de acordo com as normas do Periódico *Science of the Total Environment*)

Identificação de Metais Pesados em Penas de Aves Silvestres Traficadas em Pernambuco, Brasil

Luana Thamires Rapôso da Silva

RESUMO

Objetivou-se com esse estudo pesquisar a presença de chumbo (Pb), cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr) e mercúrio (Hg) em penas de aves silvestres traficadas no estado de Pernambuco, Brasil. Foram coletadas penas de 68 aves de 19 espécies distintas, pertencentes a seis ordens oriundas de apreensão pelo órgão responsável e encaminhadas ao setor de Fauna da instituição em Pernambuco. As penas foram inicialmente lavadas e secas em estufa, fragmentadas a 60 °C, pesadas em balança de precisão e posteriormente submetidas a digestão. Para a quantificação de Pb, Cd, Cr e Cu empregou-se a técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado e Espectrofotometria de Absorção Atômica com Gerador de Hidretos VGA para a quantificação de Hg. Todas as aves apresentaram Cr e Cu em suas penas, 94,11% (64/68) apresentaram Pb, 69,11% (47/68) Cd e 72,05% (49/68) Hg nas penas. Observou-se alta correlação positiva entre Pb e Cd ($r = 0,71$; $p < 0,0001$), Pb e Cr ($r = 0,72$; $p < 0,0001$), entre Cd e Cr ($r = 0,75$; $p < 0,0001$), Cd e Cu ($r = 0,78$; $p < 0,0001$), além de Cr e Cu ($r = 0,72$; $p < 0,0001$). Moderada correlação positiva foi observada entre Pb e Cu ($r = 0,58$; $p < 0,0001$), o que sugere uma mesma fonte de contaminação para os referidos metais. Maiores concentrações de Cd, Cr e Cu, respectivamente, foram identificadas nas espécies Passeriformes e Strigiformes em relação às espécies Accipitriformes e Falconiformes. Quanto aos demais metais, não foram registradas variações das respectivas concentrações nas penas para Pb ($p = 0,2162$) e Hg ($p = 0,7546$). A detecção de metais pesados em concentrações relevantes nas aves silvestres oriundas de apreensão no estado de Pernambuco gera preocupações no que concerne à sanidade dos animais bem como no impacto acarretado por esses compostos ao meio ambiente.

Palavras-chave: avifauna, bioindicadores ambientais, espectrometria, intoxicação por metais.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the presence of lead (Pb), cadmium (Cd), copper (Cu), chromium (Cr) and mercury (Hg) in wild bird feathers trafficked in the state of

Pernambuco, Brazil. Feathers of 68 birds of 19 different species were collected, belonging to six orders arrested from illegal traffic by properly department and sent to the wildlife sectors of these institutions in Pernambuco. Feathers were initially washed and dried in an oven, fragmented and weighed on a precision balance and then digested in a microwave. For quantification of Pb, Cd, Cr and Cu employed to Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry and Atomic Absorption Spectrometry technique with hydrides VGA Generator 77 for the quantification of Hg. All birds presented Cr and Cu in their feathers, 94.11% (64/68) had Pb, 69.11% (47/68) had Cd and 72.05% (49/68) had Hg in feathers. There was a high positive correlation between Pb and Cd ($r = 0.71$; $p < 0,0001$), Pb and Cr ($r = 0.72$; $p < 0,0001$), between Cd and Cr ($r = 0.75$; $p < 0,0001$) Cd and Cu ($r = 0.78$; $p < 0,0001$), addition of Cr and Cu ($r = 0.72$; $p < 0,0001$). Moderate positive correlation was observed between Pb and Cu ($r = 0.58$; $p < 0,0001$), which suggests a common source of contamination of these metals. Higher concentrations of Cd, Cr and Cu, respectively, were identified in Passeriformes and Strigiformes species than Accipitriformes and Falconiformes species. As for the other metals, their concentrations changes were not recorded in feathers for Pb ($p = 0,2162$) and Hg ($p = 0,7546$). The detection of heavy metals in relevant concentrations in trafficked wild birds in Pernambuco raises concerns with regard to animal health as well as impact brought about by these compounds to the environment.

Keywords: birdlife, environmental biomarkers, metal poisoning, spectrometry.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um país com uma fauna e flora diversificada, sendo um importante campo para pesquisas de conservação das espécies (Alves et al., 2013). Quando se trata da Avifauna Brasileira, o Brasil é o país mais rico em avifauna da América do Sul, possuindo 1919 espécies de aves descritas em 2015 (Piacentini et al., 2015). No entanto a ameaça à diversidade de aves brasileiras é constante pela poluição ambiental que ocasiona a perda de habitat e também o tráfico de aves (Alves et al., 2013; Fernandes-Ferreira et al., 2012). Das ordens mais afetadas com o tráfico, os Passeriformes são os primeiros da lista (Godoy, Matushima, 2010), com pelo menos 2 milhões de espécies vendidas anualmente (RENCTAS, 2001).

A rota do tráfico mais comum é a retirada de aves do Norte e Nordeste para serem vendidas na região Sudeste (Vanstreels et al., 2010), embora o comércio internacional também se destaque na rota do tráfico (RENCTAS, 2001). As aves que não são enviadas para outras

regiões do país são normalmente vendidas em mercados ao ar livre, muito comuns na região Nordeste (Alves et al., 2013; Fernandes-Ferreira et al., 2012; Regueira & Bernard, 2012).

A perda de habitat por influência antrópica também ameaça a sobrevivência das espécies nativas e o declínio de algumas populações pode estar ligado à presença de substâncias tóxicas, como metais pesados, que afetam o desenvolvimento dessas espécies e geram problemas endócrinos (Burger & Gochfeld, 1997). Dentre os prejuízos que a contaminação do meio ambiente pode causar, os prejuízos reprodutivos, como a redução da fertilidade, mortalidade de filhotes, diminuição na quantidade, qualidade e número de ovos, afetam diretamente a conservação das espécies, principalmente aquelas ameaçadas de extinção (Hoffer et al., 2010; Koivula et al., 2011).

As aves geralmente entram em contato com contaminantes como mercúrio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, dentre outros, através consumo de alimento e água contaminada, solo contaminados ou pela poluição atmosférica (Barbieri et al., 2010; Dauwe et al., 2002, 2003). Esses metais se acumulam nos órgãos e nas penas dessas aves, que ao serem analisados, refletem a contaminação do local, o que é uma ferramenta a ser utilizada na investigação de contaminação ambiental, conhecida como biomonitoramento (Dauwe et al., 2003).

Poucos estudos desse tipo foram realizados no Brasil. Vieira (1996) pesquisou a presença de mercúrio em penas de biguá (*Phalacrocorax brasilianus*) no Pantanal; Barbieri et al. (2010) pesquisaram diversos metais em gaivotão (*Larus dominicanus*) em Santa Catarina; Ferreira (2011) pesquisou zinco, chumbo, cádmio, níquel, cromo e cobre em garça-branca-pequena (*Egretta thula*) no Rio de Janeiro e Brait & Antoniosi Filho (2011) determinaram a presença de cobre, chumbo, cádmio, cromo, manganês, ferro e zinco em pombo-doméstico (*Columba livia*) no estado de Goiás. Marchesi et al. (2015) identificaram concentrações de cromo, ferro, alumínio, cobre, cádmio, selênio, molibdênio, níquel e zinco em filhotes de arara-azul (*Anodorhynchus hyacinthinus*) no pantanal do Mato Grosso do Sul.

Diante da escassez de trabalhos sobre a presença de metais pesados em aves no Brasil, objetivou-se pesquisar a presença de chumbo (Pb), cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr) e mercúrio (Hg) em penas de aves silvestres traficadas no estado de Pernambuco, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo e Animais

O estudo foi realizado na região metropolitana do Recife, Pernambuco, utilizando as aves apreendidas pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), autarquia estadual que

atua pela gestão dos recursos ambientais e sobre as atividades e os empreendimentos que possam determinar degradação ambiental (CPRH, 2014).

2.2. Aves

Foram coletadas penas de 68 aves de 19 espécies diferentes, pertencentes a seis ordens (Tabela 1), oriundas de apreensões pelos órgãos responsáveis e que foram encaminhadas aos setores de Fauna da instituição. Para obtenção do número de aves foi utilizada uma amostragem não probabilística por conveniência.

Tabela 1 – Disposição do número de aves silvestres coletadas de acordo com o nome vulgar, espécie e ordem.

Nome vulgar	Espécie	Número de Aves	Ordem
Gavião-carijó	<i>Rupornis magnirostris</i>	23	Accipitriformes
Carcará	<i>Caracara plancus</i>	5	Falconiformes
Galo-de-campina	<i>Paroaria dominicana</i>	7	Passeriformes
Cravina	<i>Lanio pileatus</i>	5	Passeriformes
Azulão	<i>Cyanoloxia brissonii</i>	2	Passeriformes
Tico-tico	<i>Zonotrichia capensis</i>	2	Passeriformes
Gangarra	<i>Eupsittula cactorum</i>	1	Psittaciformes
Xexéu-de-bananeira	<i>Cacicus cela</i>	1	Passeriformes
Araponga	<i>Procnias nudicollis</i>	1	Passeriformes
Araçari-miudinho-de-bico-riscado	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	2	Piciformes
Gavião-caboclo	<i>Heterospizias meridionalis</i>	1	Accipitriformes
Gavião-carrapateiro	<i>Milvago chimachima</i>	1	Falconiformes
Suindara	<i>Tyto furcata</i>	5	Strigiformes
Coruja-orelhuda	<i>Asio clamator</i>	4	Strigiformes

2.3. Obtenção de amostras biológicas

As aves foram inicialmente submetidas a exame clínico, observando-se o estado geral de saúde de cada animal. Os dados foram registrados em fichas individuais e dispostos em planilhas. Foram retiradas de cada ave duas penas primárias, posteriormente armazenadas em coletores e estocadas em freezer a -20°C até o momento da digestão.

2.4. Análise de metais pesados

As penas foram inicialmente lavadas com Acetona PA três vezes alternando com água deionizada para retirar qualquer contaminação externa existente. Em seguida, as penas foram secas em estufa a 60°C por 48 horas segundo Dauwe et al. (2003). Após isso as penas foram

fragmentadas utilizando tesoura de aço inoxidável esterilizada e pesadas em balança de precisão. Os pesos secos foram fixados de 0,01 a 0,09 gramas, as penas foram colocadas em tubos com 4 mL de HNO₃ (65%) e 4 mL de H₂O₂ (30%) e colocadas em Digestor Microondas Mars segundo o protocolo de Cui et al. (2013). Subsequentemente as amostras foram colocadas em tubos falcon de 15 mL e estocadas a temperatura ambiente até o momento da análise.

Para a quantificação de Pb, Cd, Cr e Cu, as amostras iniciais foram diluídas 1:10 e analisadas no equipamento ICP OES Optima 7000 DV® (PerkinElmer, EUA) com configuração axial. Para a quantificação de Hg as amostras não foram diluídas e foram submetidas a análise em Espectrofotômetro de Absorção Atômica Varian AA240FS® (Varian, Mulgrave, Austrália) com Gerador de Hidretos VGA 77.

2.6. Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas com aves das ordens Accipitriformes, Falconiformes, Passeriformes e Strigiformes. Os dados foram expressos considerando-se as medidas de tendência central (média, erro padrão, mediana e percentis de 25 e 75). Os metais Pb, Cd e Hg foram submetidos a transformação radical de $x+1$, enquanto que o Cr e Cu foram submetidos a transformação logarítmica de base 10. Após transformação, os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F), avaliando o efeito de diferentes fatores de variabilidade (penas de aves de acordo com as ordens). Nos casos em que houve significância no teste F as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Student-Newman-Keuls. Efetuou-se, também, análise de associação entre pares de variáveis com a determinação do coeficiente de correlação de Pearson para as concentrações de metais para cada ordem de aves analisada. A significância obtida na correlação foi feita segundo Little e Hills (1978). Os dados foram analisados por meio do programa computacional *Statistical Analysis System* (SAS, 2009), utilizando-se o procedimento GLM (General Linear Model) do SAS. Para todas as análises estatísticas realizadas será adotado o nível de significância (p) de 5%.

2.7. Aspectos Éticos

Essa pesquisa foi realizada de acordo com a licença do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) nº 43771-2 e da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco nº 065/2014.

3. RESULTADOS

Todas as aves apresentaram concentrações de Cr e Cu em suas penas, 94,11% (64/68) apresentaram Pb, 69,11% (47/68) tinham Cd e 72,05% (49/68) tinham Hg nas penas. Valores de média, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da concentração de metais pesados em penas de aves traficadas estão expressas na Tabela 2 e Figura 1. Verifica-se que não houve variação da concentração de Cd ($p < 0,0001$), Cr ($p = 0,0252$) e Cu ($p < 0,0001$) e entre as diferentes ordens de aves traficadas. Maiores concentrações de Cd, Cr e Cu, respectivamente, foram identificadas nas ordens Passeriformes e Strigiformes em relação às ordens Accipitriformes e Falconiformes. Quanto aos demais metais, não foram registradas variações das respectivas concentrações nas penas de Pb ($p = 0,2162$) e Hg ($p = 0,7546$) para nenhuma das ordens analisadas.

Tabela 2 – Valores médios, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da concentração de Pb, Hg, Cd, Cu e Cr em penas de diferentes ordens de aves silvestres

Ordem	Medidas estatísticas	Metais Pesados em Penas de Aves Traficadas ($\mu\text{g/g}$)				
		Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Accipitriformes (n=24)	Média	6,58a	0,62b	5,52b	11,91b	0,78a
	Erro Padrão	1,08	0,19	0,69	1,94	0,54
	Mediana	4,93	0,00	5,11	8,94	0,00
	Limite Inferior	3,52	0,00	3,01	5,34	0,00
	Limite Superior	8,34	1,49	6,84	17,35	0,38
Falconiformes (n=8)	Média	6,57a	1,28b	5,77b	14,49b	0,41a
	Erro Padrão	2,03	0,51	1,47	3,44	0,37
	Mediana	4,29	0,82	3,90	10,89	0,00
	Limite Inferior	2,89	0,00	2,33	5,94	0,00
	Limite Superior	9,99	2,76	9,62	24,86	0,16
Passeriformes (n=18)	Média	11,18a	2,79a	8,37a	44,44a	0,38a
	Erro Padrão	1,88	0,34	1,00	7,72	0,09
	Mediana	8,53	2,63	7,89	38,54	0,27
	Limite Inferior	5,35	1,54	4,62	27,50	0,18
	Limite Superior	18,09	4,21	12,63	54,74	0,45
Strigiformes (n=15)	Média	9,47a	2,21a	6,82ab	30,51a	0,20a
	Erro Padrão	1,47	0,41	0,99	6,79	0,06
	Mediana	7,26	1,91	5,71	22,86	0,14
	Limite Inferior	4,91	1,04	4,14	16,84	0,08
	Limite Superior	15,14	2,76	8,28	35,39	0,23
Nível de p		0,2162	<0,0001	0,0252	<0,0001	0,7546

*Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam variação significativa da concentração de metais nas penas de aves vivas traficadas, ao nível de 5% de probabilidade.

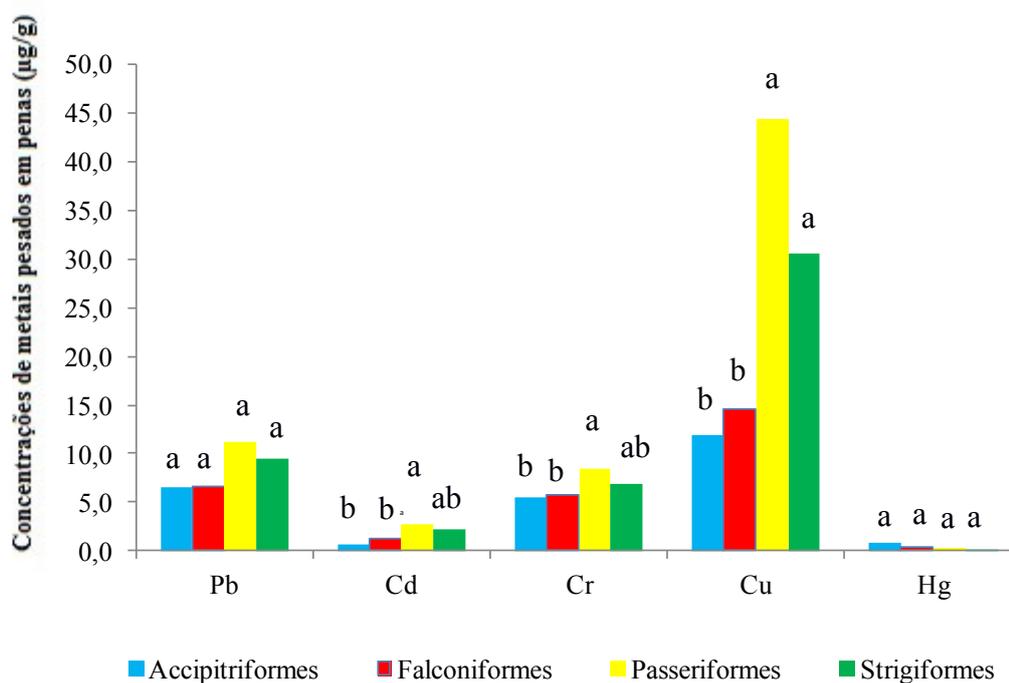


Figura 1 – Concentração de Pb, Hg, Cd, Cu e Cr em penas de diferentes ordens de aves silvestres

Foram coletadas amostras de apenas uma ave da ordem Psittaciformes e duas aves da ordem Piciformes, cujos resultados estão dispostos na Tabela 3, entretanto em decorrência do pequeno número de aves para estatística geral essas ordens não foram computadas.

Tabela 3 – Concentrações de Cr, Cu, Cd, Pb e Hg de aves das ordens Psittaciformes e Piciformes.

Amostr	Espécie	Ordem	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	Hg (µg/g)
a							
43	<i>Eupsittula cactorum</i>	Psittaciformes	6,66	42,22	2,22	5,47	0,17
48	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	Piciformes	13,33	53,33	4,44	21,15	0,55
49	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	Piciformes	3,11	11,42	1,03	4,61	0,15

Para as ordens Accipitriformes, Falconiformes, Passeriformes e Strigiformes, alta correlação positiva foi observada entre Pb e Cd ($r = 0,71$; $p < 0,0001$) e Pb e Cr ($r = 0,72$; $p < 0,0001$); entre Cd e Cr ($r = 0,75$; $p < 0,0001$) e Cd e Cu ($r = 0,78$; $p < 0,0001$); além de Cr e Cu ($r = 0,72$; $p < 0,0001$). Moderada relação positiva foi observada entre Pb e Cu ($r = 0,58$; $p < 0,0001$) (Tabela 4 e Figura 2).

Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão ($n=65$), no estado de Pernambuco.

Metais	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1	0.71 <.0001	0.72 <.0001	0.58 <.0001	-0.02 0.8777
Cd		1	0.75 <.0001	0.78 <.0001	-0.09 0.5025
Cr			1	0.72 <.0001	-0.01 0.9672
Cu				1	-0.07 0.5994
Hg					1

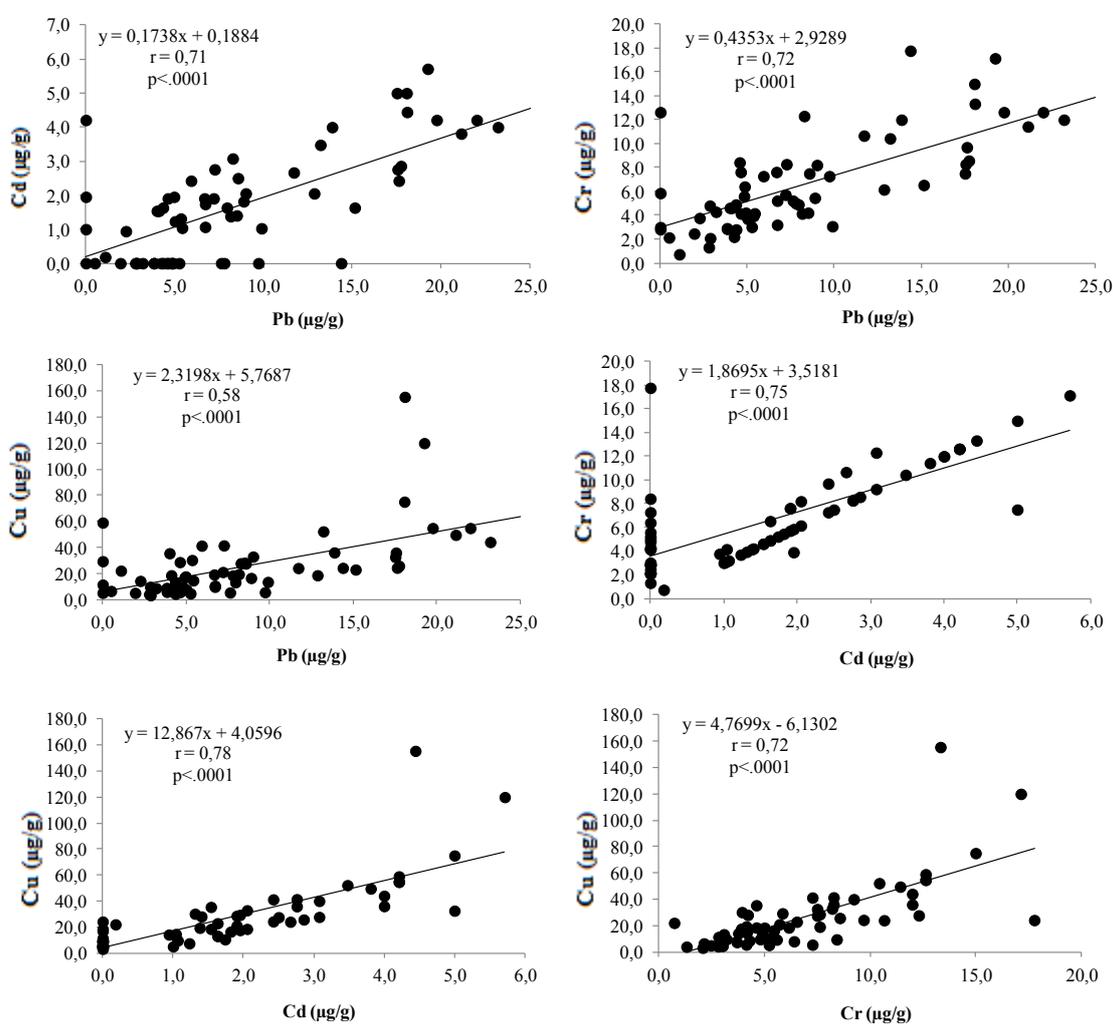


Figura 2 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão, no estado de Pernambuco.

Foram realizadas análises estatísticas para cada ordem separadamente. Para a ordem Accipitriformes foi observada alta correlação positiva entre Pb e Cd ($r = 0,61$; $p = 0,0015$), Pb e Cr ($r = 0,65$; $p = 0,0006$) e Pb e Cu ($r = 0,79$; $p < 0,0001$); entre Cd e Cu ($r = 0,72$; $p < 0,0001$) e entre Cr e Cu ($r = 0,64$; $p = 0,0008$) (Tabela 5 e Figura 3).

Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Accipitriformes, no estado de Pernambuco.

Metais	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1	0.61 0.0015	0.65 0.0006	0.79 <.0001	0.01 0.9502
Cd		1	0.23 0.2845	0.72 <.0001	-0.01 0.9660
Cr			1	0.64 0.0008	0.03 0.9073
Cu				1	0.02 0.9398
Hg					1

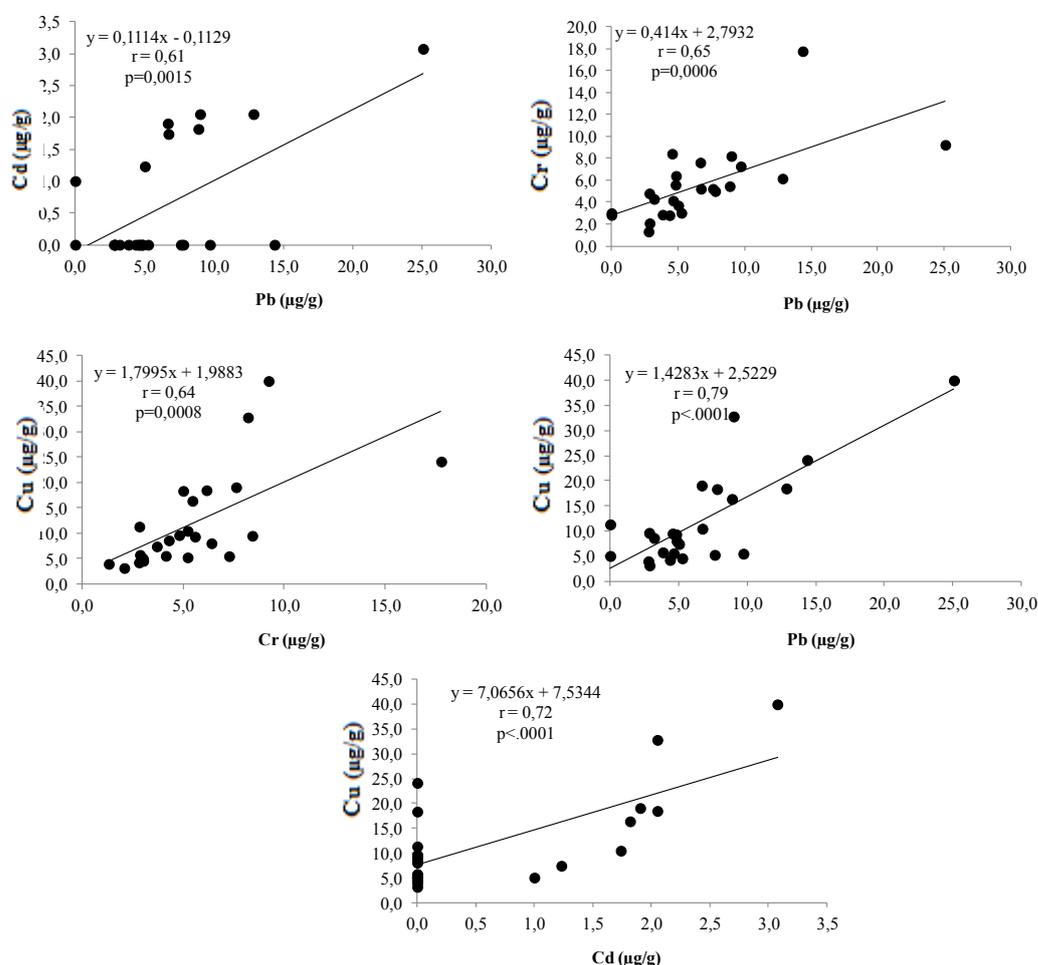


Figura 3 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Accipitriformes, no estado de Pernambuco.

Para a ordem Falconiformes, alta correlação positiva foi observada entre Pb com Cd ($r = 0,82$; $p = 0,0123$), com Cr ($r = 0,74$; $p = 0,0362$) e com Cu ($r = 0,84$; $p = 0,0084$); entre Cd com Cr ($r = 0,96$; $p = 0,0002$) e com Cu ($r = 0,98$; $p < 0,0001$) e entre Cr e Cu ($r = 0,97$; $p < 0,0001$) (Tabela 6 e Figura 4).

Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Falconiformes

Metais	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1	0.82 0.0123	0.74 0.0362	0.84 0.0084	0.39 0.3333
Cd		1	0.96 0.0002	0.98 <.0001	0.45 0.2614
Cr			1	0.97 <.0001	0.55 0.1624
Cu				1	0.45 0.2544
Hg					1

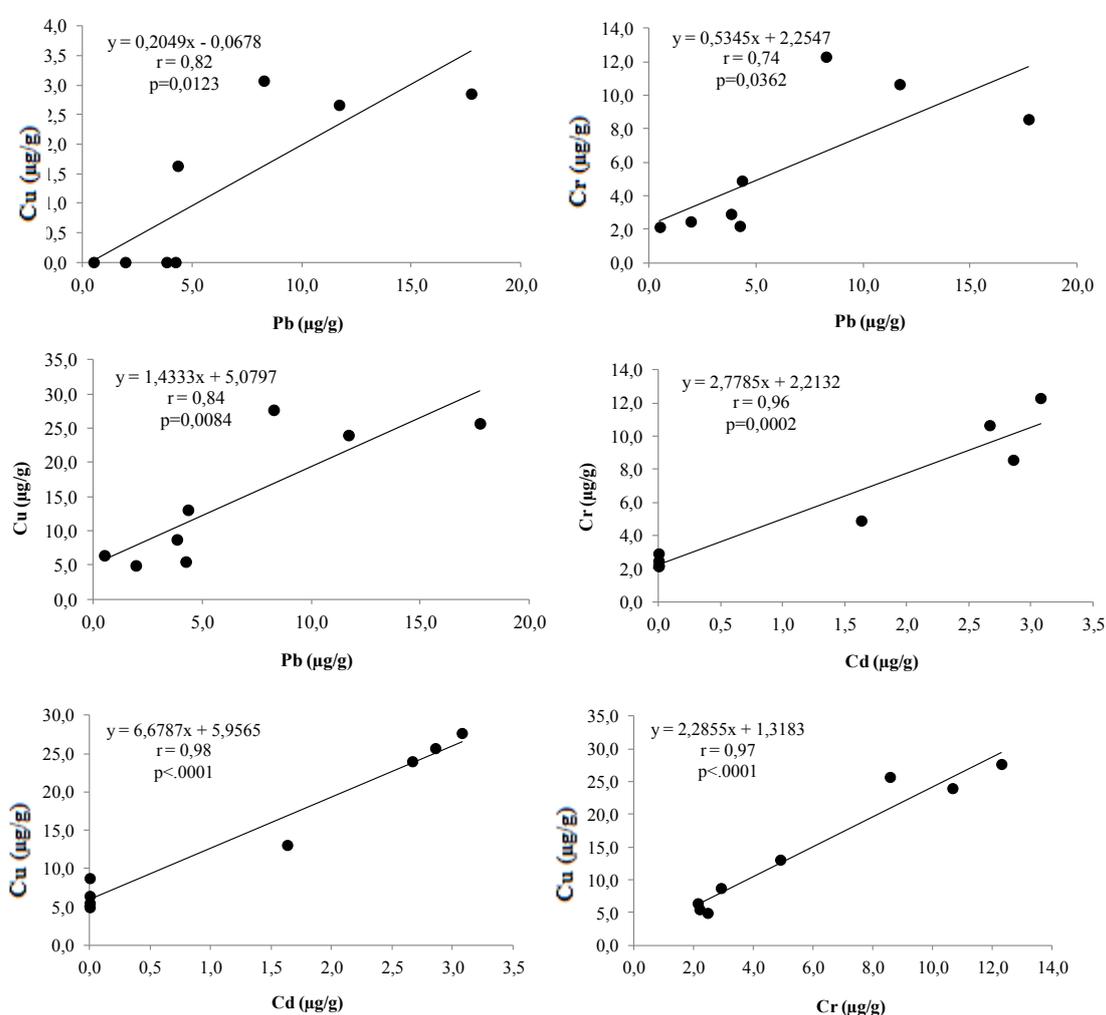


Figura 4 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Falconiformes.

Para a ordem Passeriformes, alta correlação positiva foi observada entre Pb com Cd ($r = 0,70$; $p = 0,0012$) e com Cr ($r = 0,70$; $p = 0,0012$); entre Cd com Cr ($r = 0,99$; $p < 0,0001$) e com Cu ($r = 0,71$; $p = 0,0010$) e entre Cr e Cu ($r = 0,71$; $p = 0,0009$). Moderada relação positiva foi observada entre Pb e Cu ($r = 0,46$; $p = 0,0544$) (Tabela 7 e Figura 5).

Tabela 7 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Passeriformes

Metais	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1	0.70 0.0012	0.70 0.0012	0.46 0.0544	0.39 0.1082
Cd		1	0,99 <.0001	0.71 0.0010	0.42 0,0810
Cr			1	0.71 0.0009	0.42 0.0813
Cu				1	0.23 0.3535
Hg					1

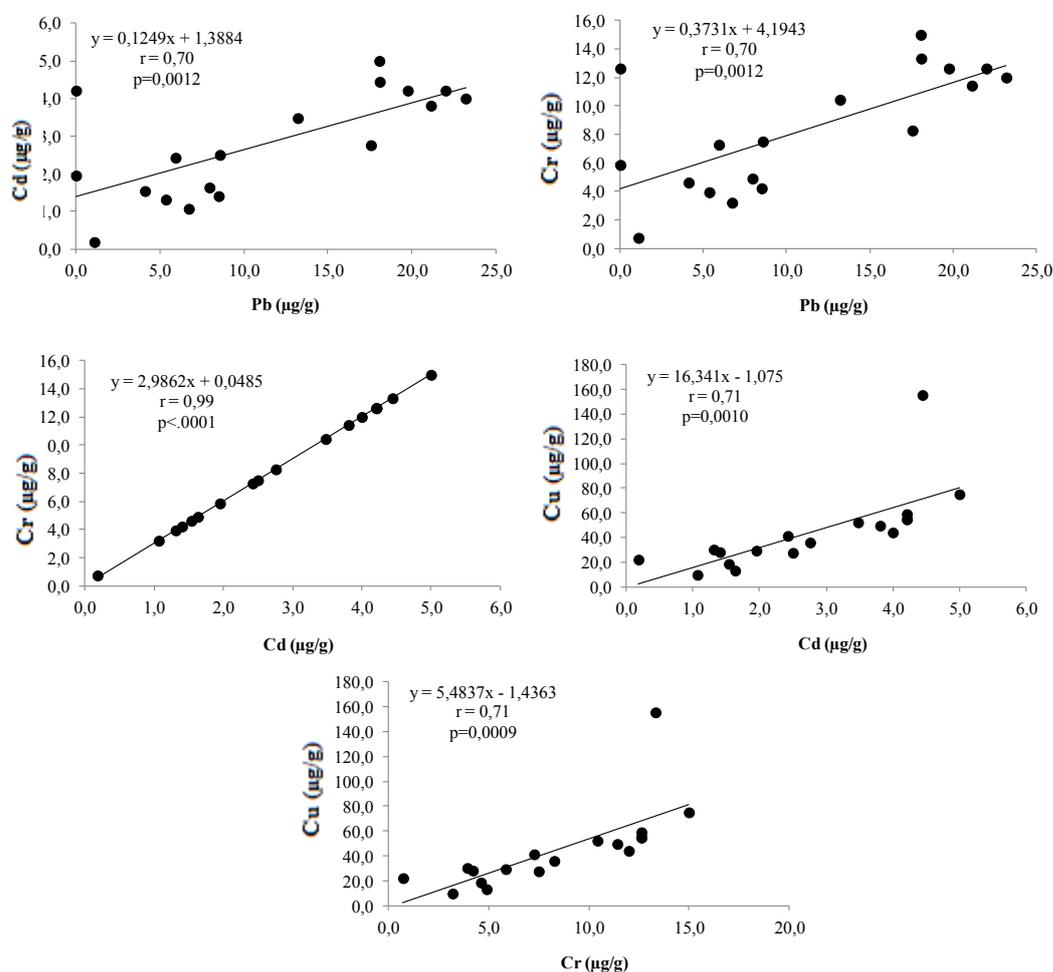


Figura 5 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Passeriformes.

Para a ordem Strigiformes, alta correlação positiva foi observada entre Pb com Cd ($r = 0,75$; $p = 0,0014$) e com Cr ($r = 0,72$; $p = 0,0026$); entre Cd com Cr ($r = 0,84$; $p < 0,0001$) e com Cu ($r = 0,76$; $p = 0,0010$) e entre Cr e Cu ($r = 0,86$; $p < 0,0001$). Moderada relação positiva foi observada entre Pb com Cu ($r = 0,53$; $p = 0,0416$) (Tabela 8 e Figura 6).

Tabela 8 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Strigiformes

Metais	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1	0.75 0.0014	0.72 0.0026	0.53 0.0416	0.35 0.2080
Cd		1	0.84 <0.0001	0.76 0.0010	0.38 0.1584
Cr			1	0.86 <0.0001	0.38 0.1586
Cu				1	0.02 0.9549
Hg					1

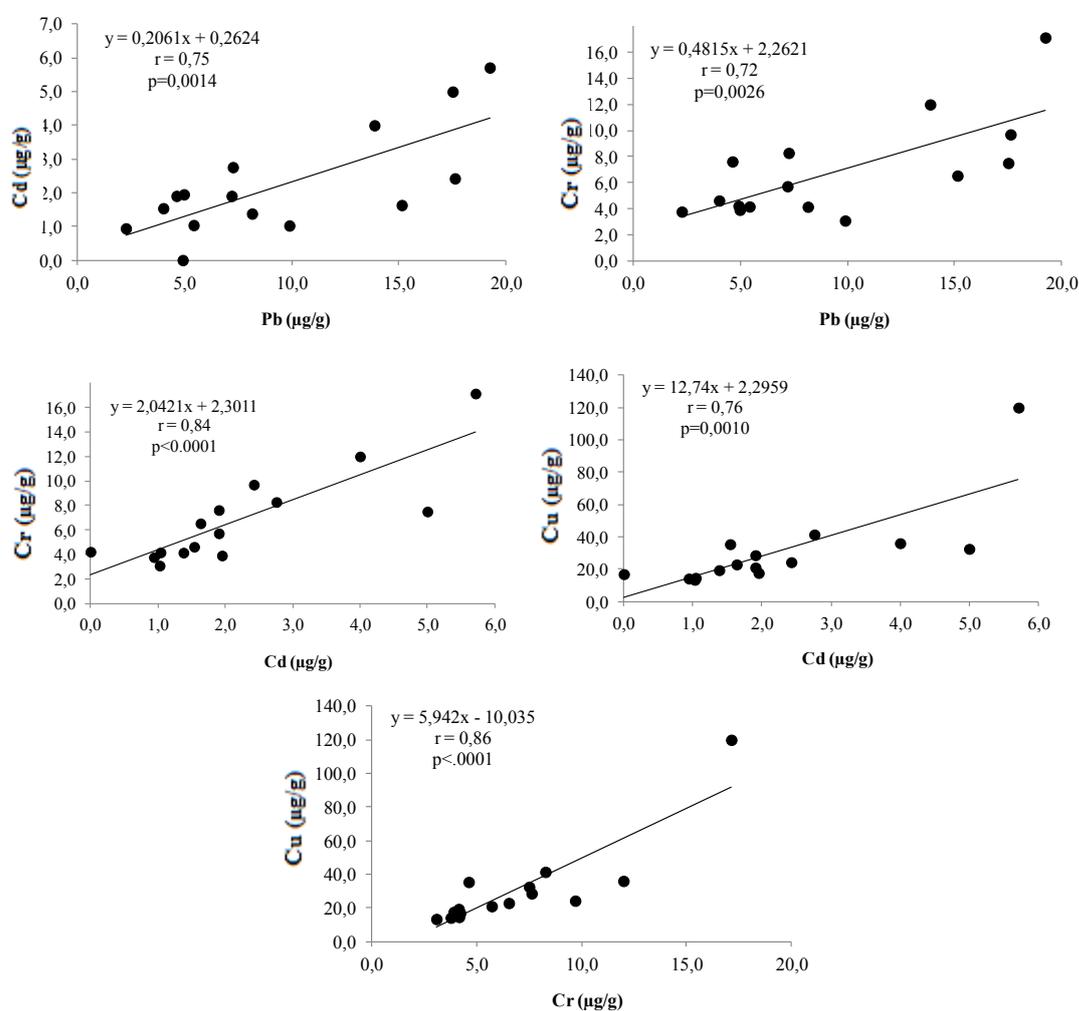


Figura 6 – Representação gráfica da análise de correlação de Pearson entre a concentração de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) em penas de aves oriundas de apreensão da ordem Strigiformes.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nesse estudo no são superiores ou semelhantes aos relatados em outras pesquisas nacionais, entretanto cabe ressaltar que não necessariamente isso indique que esses compostos estejam distribuídos de forma homogênea no País, pois deve-se considerar as espécies estudadas e os métodos analíticos empregados na detecção desses metais. Também é importante levar em consideração as condições ambientais locais, assim como as fontes de intoxicação.

Barbieri et al. (2010) em um estudo com gaivotão (*Larus dominicanus*) em Santa Catarina obtiveram as concentrações de Pb 1,47 µg/g para jovens, 3,708 µg/g para sub-adultos e 7,536 µg/g para adultos, as de Cd variaram 0,021 µg/g em jovens, 0,031 µg/g em sub-adultos e 0,072 µg/g em adultos, as de Cu variaram de 13,76 µg/g em jovens, 9,671 µg/g em sub-adultos e 13,130 µg/g em aves adultas e de Cr variaram de 1,062 µg/g em aves jovens, 2,098 µg/g em sub-adultos e 4,665 µg/g em adultos. Nessa pesquisa não foi possível analisar a bioacumulação de metais relacionada à idade, pois os animais eram oriundos de apreensão, não sendo possível precisar a idade das aves, porém Padilha et al. (2014) não encontraram correlação entre a idade e bioacumulação em atobás e fragatas no Rio de Janeiro. Em relação às concentrações obtidas por Barbieri et al. (2010), as concentrações médias encontradas nesse estudo foram superiores para Cr em todas as ordens, as concentrações de Pb foram próximas aos níveis obtidos em Accipitriformes e Falconiformes em comparação às aves adultas, as ordens restantes tiveram concentrações superiores, exceto a ordem Psittaciformes, que a concentração foi de 5,47 µg/g. Para Cd as concentrações foram superiores em Falconiformes, Passeriformes e Strigiformes, Os níveis de Cu também foram próximos em comparação as ordens Accipitriformes e Falconiformes e superiores nas demais ordens. Essa diferença entre as ordens pode ser explicada pelo diferente hábito alimentar dessas aves, que alteram a dinâmica desses elementos no organismo (Abbasi et al., 2015).

Essa pesquisa foi realizada em uma região metropolitana, porém as aves foram oriundas de várias localidades do estado de Pernambuco, dessa forma essas poderiam ter sido expostas a contaminação ambiental de várias fontes diferentes. Brait & Antoniosi-Filho (2011) realizaram análises de metais pesados em penas lavadas e não lavadas de 82 pombos-domésticos (*Columba livia*) para determinar a influência da contaminação externa em vários pontos de área urbana no estado de Goiás. As médias para Cu variaram de 8,06 a 8,89 mg/kg nos diferentes locais, as de Cd 0,04 a 0,20 mg/kg, as de Pb 0,58 a 5,02 mg/kg e as de Cr 0,28 a 1,48 mg/kg. Em comparação com essa pesquisa, as concentrações encontradas foram superiores para todas as ordens e todos os metais analisados, o que pode indicar uma

contaminação ambiental superior ao encontrado no estado de Goiás, ou um contato maior dessas aves com alguma fonte específica desses poluentes.

As análises dos coeficientes de Pearson com altos valores de significância entre os metais nas diferentes ordens entre si e também separadamente sugerem que os metais Cr, Pb, Cu e Cd provavelmente são procedentes da mesma fonte de contaminação, entretanto não se pode precisar qual a fonte neste estudo.

As análises sugerem também que a fonte de Hg é independente das demais. Padilha et al. (2014) em estudo utilizando 13 atobás (*Sula leucogaster*) e 7 fragatas (*Fregata magnificens*) nas Ilhas Cagarras, Rio de Janeiro, não encontraram correlações significativas entre os metais pesados pesquisados (Cu, Cd, Sn), ao contrário dessa pesquisa. A concentração média de Cd em atobás foi de 19,6 µg/kg em fêmeas, 42,7 µg/kg em machos e 40,3 µg/kg em juvenis. Nas fragatas foram encontradas para juvenis a média foi de 15,0 µg/kg e 67,6 µg/kg de Cd na fêmea. Para Cu a média nos atobás foi de 9,09 µg/g para fêmeas, 9,84 µg/g nos machos e entre 5,54 µg/g em atobás juvenis. Em relação às fragatas, na fêmea foi encontrado 7,47 µg/g e os juvenis a média de 1,57 µg/g de Cu. As concentrações de Cd e Cu foram consideradas significativamente altas nos atobás, justificados pela alimentação dessas aves, constituídas principalmente de cefalópodes. No entanto, nessa pesquisa foram encontrados níveis ainda maiores. Os níveis médios de Cu foram mais altos em todas as ordens assim como de Cd em quase todas as ordens exceto Accipitriformes.

Segundo Ek et al. (2004) a exposição a Cd e Cu é primariamente por contaminação interna. Essa provavelmente é proveniente da alimentação, devido à presença desses metais em peixes e cefalópodes em geral, mas também podem ser encontrados em resíduos de pesticidas, fertilizantes e em esgotos. Embora no estudo de Padilha et al. (2014) as concentrações tenham sido consideradas altas, Zaccaroni et al. (2003) sugerem que concentrações entre 3-10 mg/kg de Cd são tóxicas e a maior concentração encontrada por Padilha et al. (2014) não atinge nem 1 mg/kg. Embora nessa pesquisa fossem encontradas concentrações mais altas de Cd, ainda assim somente para algumas ordens chegam próximas de 3 mg/kg de Cd, servindo de alerta, pois o Cd sofre bioacumulação com o passar dos anos (Cui et al., 2013). Os níveis de Cu se levados em comparação com aves domésticas, também estão em um nível de normalidade não chegando a intoxicar esses animais (Apsite et al., 2012).

Costa et al. (2011) identificaram em penas de Chapim-real (*Parus major*), pisco-de-peito-ruivo (*Erithacus rubecula*) e melro-preto (*Turdus merula*) concentrações de Hg de 1,09; 3,44 e 1,62 mg/kg, respectivamente, em Portugal, superiores que às concentrações os

encontrados nesta pesquisa. No sudeste do Brasil em um estudo utilizando penas de 38 pardela-de-óculos (*Procellaria conspicillata*) e 30 pardela-preta (*Procellaria aequinoctialis*), Carvalho et al. (2013) encontraram níveis muito superiores de Hg (4,24-24,03 µg/g), Pb (16,53-59,00 µg/g) e Cd (3,76-10,44 µg/g) do que nessa pesquisa, sendo os níveis somente inferiores para Cu (1,05-21,57 µg/g). Provavelmente essas concentrações são devido aos hábitos alimentares dessas aves, que se alimentam primariamente de peixes e cefalópodes (Padilha et al., 2014) o que justificam as concentrações altas de Hg e Cu, que provêm basicamente da alimentação, assim como o Cd (Ferreira, 2011) indicador de contaminação ambiental, visto que o estudo de Carvalho et al. (2013) foi realizado em área urbana, passível de uma presença elevada de emissão de poluentes por atividades industriais.

Estudos indicam que o Hg na dieta é incorporado às penas de forma dose-dependente e o metil-mercúrio que é a forma mais tóxica corresponde a 83-90% do total nas penas. No estudo de Gomes et al. (2009), utilizando 20 garça-branca-grandes (*Ardea alba*) foram encontradas concentrações de 1,4- 8,6 µg/g de Hg, aves piscívoras são mais expostas as principais fontes de mercúrio, que provem principalmente dos peixes, que tem a forma mais tóxica do Hg, o metil-mercúrio em sua musculatura, o que pode explicar as concentrações baixas desse metal nessa pesquisa, visto que não foram coletadas aves piscívoras.

Existem poucos estudos no Nordeste sobre a presença de metais pesados no ambiente. Aprile et al. (2010) realizaram um estudo com águas superficiais do Rio Tapacurá em Pernambuco, que é responsável por 9,5% do suprimento de água para a Região Metropolitana do Recife. Os níveis de Cu variaram de 0,001 a 0,0014 mg/L o Pb de 0,006 a 0,0029 mg/L. Os níveis de Cu encontrados indicaram moderada a severa contaminação ambiental.

A contaminação de rios no estado de Pernambuco pode estar associada à contaminação dos solos próximos a essas áreas que possivelmente aumentam a concentração de metais pesados na água pelos processos naturais como a lixiviação e erosão, processos industriais também podem aumentar esses níveis (Bezerra et al., 2014). Em um estudo realizado em Petrolina, Pernambuco, utilizando solos de cultivo de mangueiras foi demonstrado que a área apresentava níveis significativos de cobre, zinco e cromo, o que pode ser devido ao uso de pesticidas e fertilizantes (Silva et al., 2012). A presença desses compostos no ambiente, contaminando os alimentos e a água disponível para essas aves pode ser também uma provável fonte da presença desses metais nas aves estudadas.

Existem diversas fontes antropogênicas de metais pesados, como os fertilizantes, água de irrigação, agrotóxicos a própria deposição atmosférica e o lodo de esgoto, muito usado na agricultura (Melo et al., 2006) no estado de Pernambuco. É conhecido que fertilizantes podem

conter menos de 0,03 a 1,7 mg/kg de Cd e agrotóxicos podem ter traços de Cu, Hg e Cd. O lodo de esgoto é utilizado na agricultura, quando proveniente de tratamentos de esgotos domésticos tendem a ter baixas concentrações de Cd, Cu, Mo, Ni, Zn, Pb, Se, Cr e Hg (Melo et al., 2006).

Não é possível afirmar a origem da contaminação de Cu, Cr, Pb, Cd e Hg nessas aves, para isso seriam necessários estudos complementares e aprofundados parâmetros do solo, água e alimentos relacionados a cada espécie.

5. CONCLUSÃO

A detecção de metais pesados em concentrações relevantes nas aves silvestres oriundas de apreensões no estado de Pernambuco gera preocupações no que concerne a sanidade dos animais bem como no impacto acarretado por esses compostos ao meio ambiente, visto que é a primeiro relato da presença desses metais nessas espécies no estado. Estudos ambientais aprofundados são necessários para determinar o impacto desses compostos na natureza e nessas aves em longo prazo.

6. REFERÊNCIAS

- Abbasi, N.A., Jaspers, V.L.B., Chaudhry, M.J.I., Ali, S., Malik, R.N., 2015. Influence of taxa, trophic level, and location on bioaccumulation of toxic metals in bird's feathers: A preliminary biomonitoring study using multiple bird species from Pakistan. *Chemosphere* 120, 527–537. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.08.054
- Alves, R.R.N., Leite, R.C.L., Souto, W.M.S., Bezerra, D.M.M., Loures-Ribeiro, A., 2013. Ethno-ornithology and conservation of wild birds in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 9, 14. doi:10.1186/1746-4269-9-14
- Aprile, F.M., Bouvy, M., 2010. Heavy metal levels in surface waters from a tropical river basin, Pernambuco State, northeastern Brazil. *Acta Sci. Biol. Sci.* 32, 357–364. doi:10.4025/actascibiolsci.v32i4.5231
- Apsīte, M., Bērzina, N., Basova, N., 2012. Effects of high but non-toxic dietary intake of Selenium and Copper on indices of the antioxidant defence system and on accumulation of trace elements in Chicks. *Proc. Latv. Acad. Sci. Sect. B. Nat. Exact, Appl. Sci.* 66, 117–124. doi:10.2478/v10046-012-0006-z
- Barbieri, E., Passos, E.D.A., Filippini, A., Dos Santos, I.S., Garcia, C.A.B., 2010. Assessment of trace metal concentration in feathers of seabird (*Larus dominicanus*) sampled in the Florianópolis, SC, Brazilian coast. *Environ. Monit. Assess.* 169, 631–638. doi:10.1007/s10661-009-1202-4
- Bezerra, J.D., Amaral, R. dos S., Santos Júnior, J.A. dos, Genezini, F.A., Menezes, R.S.C.,

- Oliveira, I.A. de, 2014. Characterization of Heavy Metals in a Uranium Ore Region of the State of Pernambuco, Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 92, 270–273. doi:10.1007/s00128-013-1183-4
- Brait, C.H.H., Antoniosi Filho, N.R., 2011. Use of feathers of feral pigeons (*Columba livia*) as a technique for metal quantification and environmental monitoring. *Environ. Monit. Assess.* 179, 457–467. doi:10.1007/s10661-010-1748-1
- Burger, J., Gochfeld, M., 1997. Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. *Environ. Res.* 75, 160–172. doi:DOI: 10.1006/enrs.1997.3778
- Carvalho, P.C., Bugoni, L., McGill, R. a R., Bianchini, A., 2013. Metal and selenium concentrations in blood and feathers of petrels of the genus *procellaria*. *Environ. Toxicol. Chem.* 32, 1641–1648. doi:10.1002/etc.2204
- Cui, J., Wu, B., Halbrook, R.S., Zang, S., 2013. Age-dependent accumulation of heavy metals in liver, kidney and lung tissues of homing pigeons in Beijing, China. *Ecotoxicology* 22, 1490–7. doi:10.1007/s10646-013-1135-0
- Costa, R.A., Petronilho, J.M.S., Soares, A.M.V.M., Vingada, J. V, 2011. The use of passerine feathers to evaluate heavy metal pollution in central Portugal. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 86, 352–356. doi:10.1007/s00128-011-0212-4
- CPRH– Agência Estadual de Meio Ambiente. 2014. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/Institucional/missao_visao_valores. Acessado em: 05/08/14.
- Dauwe, T., Bervoets, L., Pinxten, R., Blust, R., Eens, M., 2003. Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: Effects of molt and external contamination. *Environ. Pollut.* 124, 429–436. doi:10.1016/S0269-7491(03)00044-7
- Dauwe, T., Lieven, B., Ellen, J., Rianne, P., Ronny, B., Marcel, E., 2002. Great and blue tit feathers as biomonitors for heavy metal pollution. *Ecol. Indic.* 1, 227–234. doi:10.1016/S1470-160X(02)00008-0
- Ek, K.H., Morrison, G.M., Lindberg, P., Rauch, S., 2004. Comparative tissue distribution of metals in birds in Sweden using ICP-MS and laser ablation ICP-MS. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47, 259–269. doi:10.1007/s00244-004-3138-6
- Fernandes-Ferreira, H., Mendonça, S.V., Albano, C., Ferreira, F.S., Alves, R.R.N., 2012. Hunting, use and conservation of birds in Northeast Brazil. *Biodivers. Conserv.* 21, 221–244. doi:10.1007/s10531-011-0179-9
- Ferreira, A., 2011. Assessment of heavy metals in *Egretta thula*: case study: Coroa Grande mangrove, Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian J. Biol.* 71, 77–82. doi:10.1590/S1519-69842011000100012
- Godoy, S.N., Matushima, E.R., 2010. A survey of diseases in Passeriform birds obtained from

- illegal wildlife trade in São Paulo City, Brazil. *J. Avian Med. Surg.* 24, 199–209. doi:10.1647/2009-029.1
- Gomes, A.L., Vieira, J.L.F., Pinheiro, M. da C.N., Marceliano, M.L.V., 2009. A first evaluation on the use of *Ardea albus* feathers as bioindicators of mercury burden in Amazonian ecosystems. *Acta Amaz.* doi:10.1590/S0044-59672009000400025
- Hofer, C., Gallagher, F.J., Holzapfel, C., 2010. Metal accumulation and performance of nestlings of passerine bird species at an urban brownfield site. *Environ. Pollut.* 158, 1207–1213. doi:10.1016/j.envpol.2010.01.018
- Koivula, M.J., Kanerva, M., Salminen, J.P., Nikinmaa, M., Eeva, T., 2011. Metal pollution indirectly increases oxidative stress in great tit (*Parus major*) nestlings. *Environ. Res.* 111, 362–370. doi:10.1016/j.envres.2011.01.005
- Little, T.M.; Hills, F.J. 1978. *Agricultural experimentation: design and analysis*. John Wiley, New York. 350p.
- Marchesi, M.D., Rossi, J.L., Guedes, N.M.R., Carneiro, M.T.W.D., Endringer, D.C., Camargo Filho, C.B., 2015. Relationship between weight, age and hatching success and the concentration of heavy metals in nestling blue macaw (*Anodorhynchus hyacinthinus* Latham, 1790) in the Pantanal, Mato Grosso do Sul. *Pesqui. Veterinária Bras.* 35, 569–572. doi:10.1590/S0100-736X2015000600014
- Melo, G.M.P. de, Melo, V.P. de, Melo, W.J. de, 2006. *Metais Pesados no Ambiente Decorrente da Aplicação de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola*.
- Padilha, J.D.A., Castro, R.M., Cunha, L.S.T. da, Paiva, T.D.C., Malm, O., Dorneles, P.R., 2014. Concentrações de cádmio, estanho e cobre em penas de atobás (*Sula leucogaster*) e fragatas (*Fregata magnificens*) do Monumento Natural das Ilhas Cagarras, Rio de Janeiro, Brasil. *Nat. Resour.* 3, 14. doi:10.6008/ESS2237-9290.2013.002.0009
- Piacentini, V. de Q., Aleixo, A., Agne, C.E., Maurício, G.N., Pacheco, J.F., Bravo, G.A., Brito, G.R.R., Naka, L.N., Olmos, F., Posso, S., Silveira, L.F., Betini, G.S., Carrano, E., Franz, I., Lees, A.C., Lima, L.M., Pioli, D., Schunck, F., Amaral, F.R. do, Bencke, G.A., Cohn-Haft, M., Figueiredo, L.F.A., Straube, F.C., Cesari, E., 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee. *Rev. Bras. Ornitol.* 23, 91–298.
- Regueira, R.F.S., Bernard, E., 2012. Wildlife sinks: Quantifying the impact of illegal bird trade in street markets in Brazil. *Biol. Conserv.* 149, 16–22. doi:10.1016/j.biocon.2012.02.009
- RENTAS, 2001. *Primeiro Relatório sobre o tráfico Nacional de Animais Silvestres* 40.
- Silva, J.P.S. da, Nascimento, C.W.A. do, Biondi, C.M., Cunha, K.P.V. da, 2012. Heavy metals in soils and plants in mango orchards in Petrolina, Pernambuco, Brazil. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 36, 1343–1354. doi:10.1590/S0100-06832012000400028

- Statistical Analyses System Institute, Inc 2009. *SAS user's guide: Statistics Version*, 2009. SAS, Cary, N. C.
- Vanstreels, R.E.T., Teixeira, R.H.F., Camargo, L.C., Nunes, A.L.V., Matushima, E.R., 2010. Impacts of animal traffic on the Brazilian Amazon parrots (*Amazona* species) collection of the Quinzinho de Barros Municipal Zoological Park, Brazil, 1986-2007. *Zoo Biol.* 29, 600–14. doi:10.1002/zoo.20300
- Vieira, L. M., Alho, C. R., Barioni Junior, W. 1996. Concentração de mercúrio nas penas de aves como indicador de contaminação ambiental no Pantanal, Brasil. In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Socio-economicos do Pantanal, Corumba. Embrapa, p 70-71.
- Zaccaroni, A., Amorena, M., Naso, B., Castellani, G., Lucisano, A., Stracciari, G.L., 2003. Cadmium, chromium and lead contamination of *Athene noctua*, the little owl, of Bologna and Parma, Italy. *Chemosphere* 52, 1251–1258. doi:10.1016/S0045-6535(03)00363-1

Capítulo II

Pesquisa de Metais Pesados em Carcarás (*Caracara plancus*) Capturados na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil.

(Artigo formatado de acordo com as normas do Periódico Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia)

Pesquisa de Metais Pesados em Carcarás (*Caracara plancus*) Capturados na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil.

Luana Thamires Rapôso da Silva

RESUMO

Objetivou-se com esse estudo identificar e quantificar cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cobre (Cu) e cromo (Cr) em carcarás de vida livre, capturados na Região Metropolitana do Recife no estado de Pernambuco, Brasil. Foram utilizados no estudo penas de 41 carcarás vivos e penas e fígado de 21 carcarás mortos, totalizando 62 aves. As penas foram inicialmente lavadas, secas, fragmentadas e pesadas. Os fígados foram fragmentados, secos e pesados. As amostras de penas e fígado secas foram posteriormente digeridas em digestor. O resultado da digestão foi analisado em Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA) com Gerador de Hidretos VGA 77 para Hg e Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES) para Cd, Cr, Pb e Cu. As amostras analisadas de penas e fígados, em todas as aves vivas ou mortas, apresentaram concentrações de Cu e Cr. Nas penas de aves vivas, 75,6% (31/41) das amostras apresentaram concentrações Pb, 26,8% (11/41) de Cd e 24,4% (10/41) de Hg. Nas penas de aves mortas, 95,2% (20/21) das amostras apresentaram Pb, 52,4% (11/21) Cd e 47,6% (10/21) Hg. Das amostras de fígado de carcarás mortos, 100% (21/21) apresentaram concentrações de Pb, 80,9% (17/21) de Cd e 23,8% (5/21) de Hg. Não houve variação da concentração dos referidos metais entre penas de carcarás mortos e vivos para Pb ($p = 0,3576$), Cd ($p = 0,0792$), Cr ($p = 0,5475$), Cu ($p = 0,3603$), porém variação significativa foi observada em relação ao Hg ($p = 0,0459$). Maiores concentrações de Pb ($p < 0,0001$) e Cr ($p < 0,0001$) foram encontradas em penas em relação à concentração hepática. As maiores concentrações de Cu foram observadas em amostras de fígado ($p = 0,0011$). Correlações positivas foram obtidas entre os metais em penas de aves vivas, mortas e em fígados. Diante dos resultados obtidos é possível confirmar a presença desses metais pesados nas aves analisadas que indica o carcará como importante bioindicador ambiental, sendo essencial o desenvolvimento de estudos aprofundados para determinar a origem desses metais e dessa forma nortear a elaboração de medidas com objetivo de proteção a fauna e redução do impacto ambiental causado por esses compostos.

Palavras-chave: aves de rapina, falconiformes, intoxicação por metais.

ABSTRACT

The aim of this study was to identify and quantify cadmium (Cd), mercury (Hg), lead (Pb), copper (Cu) and chromium (Cr) in free-living caracaras, captured in the Metropolitan Region of Recife in the state of Pernambuco, Brazil. Were used in the study feathers of 41 living caracaras and feathers and liver of 21 dead caracaras, totaling 62 birds. The feathers were first washed, drought, fragmented and weighed. The livers were too fragmented, dried and weighed. The dried samples were then digested in microwave. The result of digestion was analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) with generator VGA hydrides 77 for Hg and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICPOES) for Cd, Cr, Pb and Cu. The samples of feathers and livers of all live or dead birds showed Cu and Cr concentrations. The feathers of living birds, 75.6% (31/41) showed concentrations of Pb, 26.8% (11/41) of Cd and 24.4% (10/41) of Hg. About the dead bird feathers, 95.2% (20/21) showed Pb, 52.4% (11/21) Cd and 47.6% (10/21) Hg. About samples of livers from dead caracaras, 100% showed concentrations of Pb, 80.9% (17/21) of Cd and 23.8% (5/21) of Hg. There was no variation in the concentration of these metals between feathers of dead and living caracaras: Pb ($p = 0.3576$), Cd ($p = 0.0792$), Cr ($p = 0.5475$), Cu ($p = 0.3603$), but significant variation was observed in Hg ($p = 0.0459$). Higher Pb concentrations ($p < .0001$) and Cr ($p < .0001$) were found in feathers in relation to the liver concentration. The highest concentration of Cu was observed in liver samples ($p = 0.0011$). Positive correlations between metals were obtained from metals to feathers of living birds, dead birds and livers. Based on these results it is possible to confirm the presence of these heavy metals in the analyzed birds indicating caracaras as important environmental bioindicator, being essential to develop in-depth studies to determine the source of these metals and thereby guide the development of measures to protect the objective of fauna and reducing the environmental impact caused by these compounds.

Keywords: falconiformes, metal poisoning, raptors.

INTRODUÇÃO

A preocupação com a contaminação ambiental vem crescendo em todo mundo assim como a influência desses contaminantes sobre a fauna e flora (Abbasi *et al.*, 2015; Movalli, 2000). Os metais pesados contribuem como um dos principais elementos que ameaçam a sustentabilidade dos ecossistemas. Eles estão em todo ambiente, a partir de ciclos geológicos ou oriundos de atividades antropogênicas e podem gerar problemas endócrinos, nervosos e genotoxicidade em aves (Abbasi *et al.*, 2015; Burger; Gochfeld, 2000).

Diante desse cenário surgiu a necessidade de encontrar formas de monitorar, avaliar e gerenciar a emissão desses contaminantes e remediar seus danos (Movalli, 2000). A exposição a metais pesados e outros poluentes é geralmente mais elevada em animais que estão no topo da cadeia alimentar, como as aves de rapina (Abbasi *et al.*, 2015; Dauwe *et al.*, 2003; Lodenius; Solonen, 2013; Movalli, 2000). Para metais como mercúrio e cádmio, que se acumulam nos diferentes níveis tróficos, o estudo de aves que estão no topo da cadeia reflete a presença dos metais nas presas e no ambiente (Abbasi *et al.*, 2015; Lodenius; Solonen, 2013).

Muitos dos metais pesados são adquiridos primariamente pela alimentação e uma vez no organismo passam por processos bioquímicos e fisiológicos sendo distribuídos para o sangue, fígado, rins e outros órgãos, ou eliminados nas penas, ovos ou fezes. Nas aves uma grande proporção de metais é encontrada nas penas, não estando nessa forma metabolicamente ativos, as concentrações nas penas podem ser alteradas por fatores internos ou externos, que variam de acordo com as diferentes espécies de aves e também os diferentes tipos de metais (Lodenius; Solonen, 2013). Devido a essa peculiaridade, as penas de aves, especialmente rapinantes, têm sido utilizadas em estudos de biomonitoramento, por constituir uma técnica não invasiva que reflete bem a exposição a diferentes metais (Dauwe *et al.*, 2003; Ek *et al.*, 2004; Movalli, 2000).

O carcará (*Caracara plancus*) é uma ave de rapina da ordem Falconiformes, família *Falconidae*, com cerca de 56 cm da cabeça a cauda, podendo chegar a pesar 1kg. Sua distribuição vai ao longo das Américas, desde a Argentina até o sul dos Estados Unidos (Sick, 1997; Travaini *et al.*, 2001). No Brasil, tem sua maior população no Nordeste e Sudeste (Sick, 1997). Existem poucos estudos sobre o hábito alimentar dessas aves que são consideradas como oportunistas (Travaini *et al.*, 2001), se alimentando de várias espécies de aves, roedores, répteis, insetos, aranhas, minhocas, lesmas e outros invertebrados, porém possuem também o hábito de consumir animais mortos, sendo visto com frequência consumindo restos de animais em rodovias (Sick, 1997). O carcará é uma ave adaptada a ambientes antrópicos, pois obtêm benefícios escassos em áreas naturais, como por exemplo, a presença de lixo (Luigi, 2006), desse modo estão sujeitos a exposição por diferentes compostos químicos.

Objetivou-se com essa pesquisa identificar e quantificar cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cobre (Cu) e cromo (Cr) em carcarás de vida livre, vivos e mortos na região metropolitana do Recife no estado de Pernambuco, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes Gilberto Freyre, que situa-se em área urbana, aproximadamente 10 km do centro da cidade de Recife, e a dois quilômetros do bairro de Boa Viagem, nas coordenadas 08° 07' 53"S e 34° 55' 05" W, em área limítrofe entre os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. A área patrimonial abrange 3.888.457,41 m², onde está contida a área operacional, que possui uma pista de pouso e decolagem, com 3.300m X 45m, o Parque de Material Aeronáutico (PAMA), Base Aérea do Recife, III Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA III), além das *taxiways* militares. A pesquisa foi desenvolvida juntamente com a equipe do Projeto Fauna nos Aeroportos Brasileiros.

Aves

Foram utilizados no estudo 62 carcarás (*Caracara plancus*), coletados pela equipe do Projeto Fauna nos Aeroportos, utilizando armadilhas do tipo Tomahawk, dispostas no sítio aeroportuário. Do total de aves utilizadas obteve-se amostras de penas de 41 carcarás vivos e penas e fígado de 21 carcarás mortos. As amostras de fígado foram obtidas de aves com óbito, cuja *causa mortis* foi eutanásia, realizada por médico veterinário do Projeto Fauna nos Aeroportos Brasileiros, de acordo com a licença IBAMA nº 005 F/ 2011 ou após traumas decorrentes de colisão com aeronaves. Após a captura, as aves foram encaminhadas ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDT), situado no aeroporto para a coleta das amostras biológicas. Para obtenção do número de animais foi utilizada a amostragem não probabilística por conveniência.

Obtenção de amostras biológicas

As aves foram inicialmente submetidas a exame clínico, observando-se o estado geral de saúde. Das aves capturadas vivas, foram coletadas duas penas primárias e essas armazenadas em coletores e estocadas em freezer a -20°C até o momento da digestão. Das aves capturadas mortas, foram coletadas duas penas primárias de cada asa e também amostras de fígados, que do mesmo modo, foram armazenados em freezer a -20°C até o momento da digestão. Os dados foram registrados em fichas individuais e após análise, foram dispostos em planilha.

Análise de Metais pesados em Penas

As penas foram inicialmente lavadas com Acetona PA (três vezes) alternando com água deionizada para retirada de qualquer contaminação externa existente. Posteriormente as penas foram secas em estufa a 60°C por 48 horas (Dauwe *et al.*, 2003), fragmentadas

utilizando-se tesouras de aço inoxidável e pesadas. Os pesos secos foram fixados de 0,01 a 0,09 g, as penas foram colocadas em tubos com 4mL de HNO₃ (65%) e 4mL de H₂O₂ (30%) e colocadas em Digestor Microondas Mars®. A digestão foi feita segundo o protocolo de Cui *et al.* (2013). Subsequentemente as amostras foram colocadas em tubos falcon de 15 mL e estocadas em temperatura ambiente até o momento da análise.

Análise de Metais Pesados em Fígados

Para as análises de metais pesados, os fígados foram fragmentados e colocados em estufa a 60°C por 24 horas. Os fígados secos foram moídos, utilizando-se gral e pistilo, colocados em coletores e a matéria seca obtida foi pesada. As massas foram fixadas entre 0,1 a 0,2 g. Posteriormente as amostras foram colocadas em tubos contendo 4mL de HNO₃ (65%) e 4 mL de H₂O₂ (30%) e colocadas em Digestor Microondas Mars® seguindo o protocolo de Cui *et al.* (2013).

Para a quantificação de Pb, Cd, Cr e Cu, as amostras digeridas foram diluídas 1:10 e analisadas no equipamento ICP OES Optima 7000 DV® (PerkinElmer, EUA) com configuração axial. Para a quantificação de Hg as amostras foram e analisadas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo AA240FS® (Varian, Mulgrave, Austrália) com Gerador de Hidretos VGA 77.

Análise Estatística

Os dados foram expressos considerando-se medidas de tendência central (média, erro padrão, mediana e percentis de 25 e 75). Os metais Pb, Cd e Hg foram submetidos a transformação radicial de $x+1$, enquanto que o Cr e Cu foram submetidos a transformação logarítmica de base 10. Após transformação, os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F), avaliando o efeito de diferentes fatores de variabilidade (penas de carcarás vivos e mortos). Nos casos em que houve significância no teste F, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Student-Newman-Keuls. Efetuou-se, também, análise de associação entre pares de variáveis com a determinação do coeficiente de correlação de Pearson para as categorias: concentração de metais em penas e fígado de aves, além de penas de aves vivas. A significância obtida na correlação foi feita segundo Little & Hills (1978). Os dados foram analisados por meio do programa computacional Statistical Analysis System (SAS, 2009), utilizando-se o procedimento GLM (General Linear Model) do SAS. Para todas as análises estatísticas realizadas foi adotado o nível de significância (p) de 5%.

Aspectos Éticos

Essa pesquisa foi realizada de acordo com a licença expedida pelo IBAMA nº 005 F/

2011.

RESULTADOS

Das amostras de penas e fígados das aves analisadas todas apresentaram concentrações de Cu e Cr. Nas penas de aves vivas, 75,6% (31/41) tinham concentrações de Pb, 26,8% (11/41) de Cd e 24,4% (10/41) de Hg. Nas penas de aves mortas, 95,2% (20/21) tinham Pb nas penas, 52,4% (11/21) Cd e 47,6% (10/21) Hg. Nos fígados de carcarás mortos, todas amostras apresentaram concentrações de Pb, 80,9% (17/21) de Cd e 23,8% (5/21) de Hg.

Valores de média, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da concentração de metais pesados em penas de carcarás vivos e mortos estão expressas na Tabela 1. Verifica-se que não houve variação da concentração dos referidos metais entre penas de carcarás mortos e vivos: Pb ($p = 0,3576$), Cd ($p = 0,0792$), Cr ($p = 0,5475$), Cu ($p = 0,3603$), porém variação significativa foi observada em relação ao Hg ($p = 0,0459$) conforme demonstrado na Figura 1.

Tabela 1 – Valores médios, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da concentração em $\mu\text{g/g}$ de Pb, Hg, Cd, Cu e Cr em penas de carcarás vivos e mortos na Região Metropolitana do Recife

Metais ($\mu\text{g/g}$)	Penas de Carcarás	Medidas Estatísticas					Nível de “P”	Média Geral
		Média	Erro Padrão	Mediana	Inferior	Superior		
Pb	Vivos	5,27a	1,22	3,86	1,77	6,11	0,3576	5,36
	Mortos	5,44a	0,78	5,30	3,15	7,31		
Cd	Vivos	0,43a	0,13	0,00	0,00	0,89	0,0792	0,59
	Mortos	0,74a	0,17	1,01	0,00	1,25		
Cr	Vivos	3,84a	0,48	2,71	2,27	4,18	0,5475	3,92
	Mortos	3,99a	0,52	3,20	2,50	4,21		
Cu	Vivos	10,75a	1,48	7,50	6,29	10,67	0,3603	10,94
	Mortos	11,12a	1,32	9,52	7,50	11,77		
Hg	Vivos	0,12b	0,04	0,00	0,00	0,00	0,0459	0,52
	Mortos	0,91a	0,54	0,00	0,00	0,26		

*Letras minúsculas iguais na mesma coluna representam analogia da concentração de metais nas penas de aves vivas e mortas, para cada metal, ao nível de 5% de probabilidade.

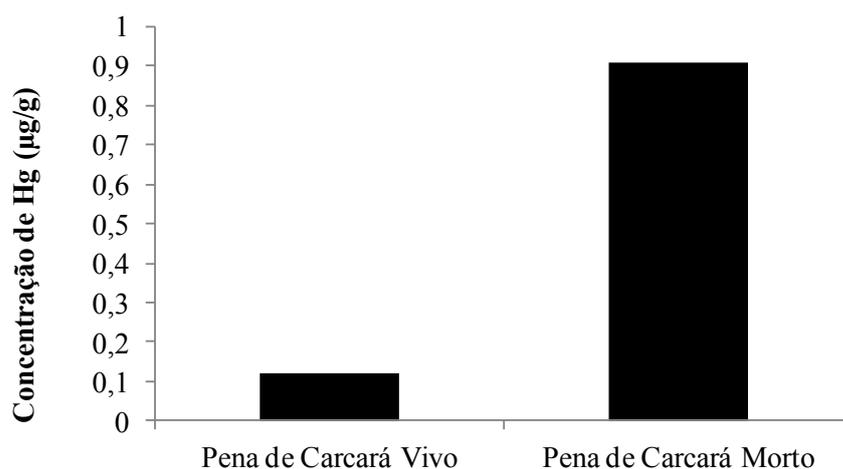


Figura 1 – Concentração de Hg (µg/g) em penas de carcarás vivos e mortos na Região Metropolitana do Recife

Valores de média, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da concentração de metais pesados em penas e fígado de carcarás mortos estão expressas na Tabela 2 e Figura 2. Maiores concentrações de Pb ($p < 0,0001$) e Cr ($p < 0,0001$) foram encontradas em penas em relação à concentração hepática. As maiores concentrações de Cu foram encontradas em amostras de fígado ($p = 0,0011$). Quanto às concentrações de Cd ($p = 0,7770$) e Hg ($p = 0,3691$), não foram encontradas variação significativa entre penas e amostras de fígado.

Tabela 2 – Valores médios, erro padrão, mediana, limites inferior e superior da concentração em µg/g de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg em penas e fígado de carcarás mortos na Região Metropolitana do Recife

Metais (µg/g)	Amostras	Medidas Estatísticas					Nível de "P"
		Média	Erro Padrão	Mediana	Inferior	Superior	
Pb	Penas	5,44a	0,78	5,30	3,15	7,31	<0,0001
	Fígado	1,36b	0,11	1,29	1,19	1,54	
Cd	Penas	0,74a	0,17	1,01	0,00	1,25	0,7770
	Fígado	0,45a	0,09	0,37	0,19	0,68	
Cr	Penas	3,99a	0,52	3,20	2,50	4,21	<0,0001
	Fígado	1,35b	0,09	1,28	1,14	1,46	
Cu	Penas	11,12b	1,32	9,52	7,50	11,77	0,0011
	Fígado	17,03a	2,07	15,17	13,02	18,46	
Hg	Penas	0,91a	0,54	0,00	0,00	0,26	0,3691
	Fígado	0,44a	0,30	0,00	0,00	0,00	

*Letras minúsculas distintas na mesma coluna representam variação significativa da concentração de metais nas penas e fígados de carcarás mortos e apreendidos em aeroporto, para cada metal, ao nível de 5% de probabilidade.

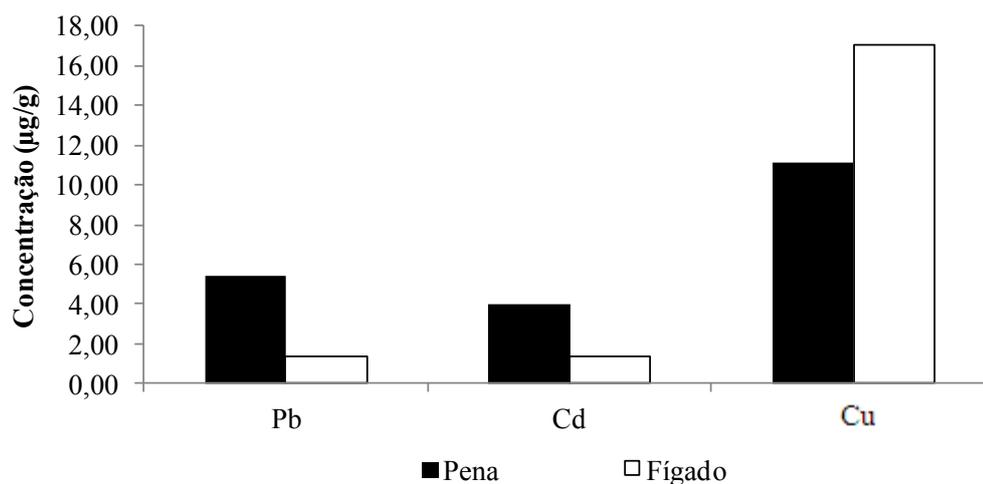


Figura 2 – Concentração ($\mu\text{g/g}$) de Pb, Cd e Cu ($\mu\text{g/g}$) em penas e fígado de carcarás mortos na Região Metropolitana do Recife

Em se tratando das amostras de penas de carcarás vivos, alta correlação positiva foi observada entre Cd e Cr ($r = 0,72$; $p < 0,0001$) e Cd e Cu ($r = 0,63$; $p < 0,0001$). Moderada relação positiva foi observada entre Pb e Cd ($r = 0,46$; $p = 0,0002$); Pb e Cr ($r = 0,48$; $p = 0,0017$) bem como entre Pb e Cu ($r = 0,41$; $p = 0,0073$); Cd e Hg ($r = 0,31$; $p = 0,0493$); Cr e Hg ($r = 0,36$; $p = 0,0228$) além de Cu e Hg ($r = 0,32$; $p = 0,0407$) (Tabela 3).

Tabela 3 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas de carcarás vivos na Região Metropolitana do Recife

Metais	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1	0.46 0.0022	0.48 0.0017	0.41 0.0073	0.00 0.9797
Cd		1	0.72 <.0001	0.63 <.0001	0.31 0.0493
Cr			1	0.67 <.0001	0.36 0.0228
Cu				1	0.32 0.0407
Hg					1

Para as amostras de penas de carcarás mortos, alta correlação positiva foi observada entre Pb e Cd ($r = 0,74$; $p < 0,0001$) e entre Cr e Cu ($r = 0,80$; $p < 0,0001$). Moderada relação positiva foi observada entre Pb e Cr ($r = 0,49$; $p = 0,0258$) e entre Pb e Cu ($r = 0,57$; $p = 0,0069$) (Tabela 4).

Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em pena de carcará mortos na Região Metropolitana do Recife

Metais	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1	0.74 0.0001	0.49 0.0258	0.57 0.0069	0.24 0.2909
Cd		1	0.3 0.1837	0.37 0.0945	0.35 0.1174
Cr			1	0.80 <.0001	0.33 0.1482
Cu				1	0.04 0.8497
Hg					1

Nas amostras de fígados de carcarás vivos, alta correlação positiva foi observada entre Cu e Hg ($r = 0,79$; $p < 0,0001$). Moderada relação positiva foi observada entre Cd e Cu ($r = 0,43$; $p = 0,0532$) e entre Cd e Hg ($r = 0,51$; $p = 0,0172$) (Tabela 5).

Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em fígado de carcarás mortos na Região Metropolitana do Recife

Metais	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1	-0.05 0.8264	-0.13 0.5681	0.06 0.8005	-0.09 0.6963
Cd		1	0.14 0.5463	0.43 0.0532	0.51 0.0172
Cr			1	-0.02 0.9353	-0.18 0.4461
Cu				1	0.79 <.0001
Hg					1

Nenhum grau de relação foi encontrado entre a concentração de metais pesados nas penas e fígados de carcarás mortos e apreendidos em aeroporto (Tabela 6).

Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson da concentração de Pb, Cd, Cr, Cu e Hg ($\mu\text{g/g}$) em penas e fígado de carcarás mortos na Região Metropolitana do Recife.

Metais	Pena Pb	Pena Cd	Pena Cr	Pena Cu	Pena Hg
Fígado Pb	-0.16576 0.4727				
Fígado Cd		0.18967 0.4102			
Fígado Cr			-0.13383 0.5630		
Fígado Cu				-0.06944 0.7649	
Fígado Hg					0.26095 0.2532

DISCUSSÃO

No presente estudo comparativo entre penas e fígados de carcarás mortos, maiores concentrações de Pb e Cr foram encontrados nas penas em relação ao fígado. A presença de chumbo, isso pode ser devida a uma contaminação externa por poluentes como combustíveis fósseis (Dauwe *et al.*, 2002, 2003; Jaspers *et al.*, 2007) que tem uma grande importância para metais como chumbo. A deposição de compostos na parte externa das penas pode ocorrer por meio de produtos químicos, pelo ar ou pela glândula uropigial das aves (Jaspers *et al.*, 2007), sendo que 50% a 98% das concentrações de chumbo detectados em amostras biológicas podem ser de contaminação externa (Dauwe *et al.*, 2002) embora também possa ocorrer através da alimentação (Ek *et al.*, 2004).

O cromo, assim como o mercúrio e cobre, arsênico e selênio tem uma grande afinidade com a queratina (Lodenus; Solonen, 2013), o que pode explicar as concentrações maiores para cromo em penas de carcarás nessa pesquisa. Concentrações altas de Cr nos tecidos são somente observadas quando o mecanismo de homeostase do corpo não funciona e o Cr é assimilado além do necessário para a nutrição, causando intoxicação (Zaccaroni *et al.*, 2003), o que não foi encontrado nessa pesquisa, pois os níveis de Cr no fígado estavam menores que nas penas. A pigmentação também influi na deposição endógena de metais como cobre, zinco, manganês e ferro, devido à eumelanina que tem grande capacidade de ligação com esses íons metálicos e está mais presente em penas pretas e marrom-escuras (Dauwe *et al.*, 2003) exatamente como ocorre com as penas do carcará. Foram observadas grandes concentrações de Cu em penas, no entanto, as concentrações foram ainda superiores em fígado corroborando com o estudo de Ek *et al.* (2004), que demonstrou que o cobre é fortemente acumulado no fígado e rins, porém demonstra concentrações intermediárias em penas e provém principalmente de contaminação interna.

Pelo coeficiente de Pearson não foram encontradas correlações entre as concentrações nas penas e nos fígados de carcarás mortos, porém correlações foram encontradas entre as penas para Pb e Cd ($r = 0,74$; $p < 0,0001$), ou seja, quanto maior a concentração de Pb em penas, maior também será a de Cd, resultados semelhantes foram obtidos por Zaccaroni *et al.* (2003) na Itália, em estudo com fígados de coruja *Athene noctua*. Foi encontrada nessa pesquisa alta correlação entre Cu e Cr ($r = 0,80$; $p < 0,0001$), o que pode ser devido a alta afinidade pela queratina entre Cr e Cu (Lodenus; Solonen, 2013).

Nesse estudo foi encontrada alta correlação positiva nas amostras de fígados, entre Cu e Hg ($r = 0,79$; $p < 0,0001$) e moderada entre Cd e Cu ($r = 0,43$; $p = 0,0532$) e Cu e Hg ($r = 0,51$; $p = 0,0172$), o que pode ser explicado pelo fato do fígado ser um órgão de deposição

para metais, que no caso do mercúrio o acúmulo desse metal no fígado é deveras importante, embora a excreção desse metal seja maior em penas (Burger; Gochfeld, 1997). O Cu é estocado nos hepatócitos para síntese de enzimas cobre-dependentes, então concentrações mais altas nesse órgão são esperadas (Fuentealba; Aburto, 2003; Gaetke; Chow-Johnson; Chow, 2014). Embora concentrações de Cd sejam maiores geralmente nos rins, o fígado também sofre com a acumulação desse metal (Scheuhammer, 1987).

Maior concentração de Hg foi observada em penas de carcarás mortos ($p = 0,0459$) do que em vivos. Dauwe *et al.* (2003) demonstraram que as concentrações de mercúrio se alteram durante a muda, porém não são afetados por contaminação externa. Metais como mercúrio e cádmio se acumulam por diferentes níveis tróficos, o que pode indicar que essa contaminação provém principalmente da alimentação (Lodenus; Solonen, 2013), no entanto não houve variação significativa entre amostras de penas e fígado. A análise de correlação de Pearson comparando os metais nas penas de aves vivas demonstra uma correlação de alta à moderada entre eles, o que pode sugerir que eles provêm de uma fonte semelhante, porém não há como precisar a origem, pois os metais pesquisados poderiam estar presente no solo, na água ou nas presas utilizados por esses animais e para isso seriam necessárias análises do ambiente para determinar a fonte de contaminação.

Movalli (2000), em um estudo realizado no Paquistão com *laggar falcon* (*Falco jugger*) encontrou concentrações em penas de 0,10 $\mu\text{g/g}$ de Cd, 1,56 $\mu\text{g/g}$ de Pb, 3,09 $\mu\text{g/g}$ de Hg e 1,98 $\mu\text{g/g}$ de Cr. As concentrações encontradas por Movalli foram superiores apenas para Hg, o que pode sugerir uma contaminação ambiental maior ou um acesso a presas contaminadas maior, do que nesse estudo. Em um estudo de Zaccaroni *et al.* (2003) na Itália, utilizando fígados de 52 mocho-galegos (*Athene noctua*) foram observadas concentrações de 0,17 $\mu\text{g/g}$ para Cd, 0,297 $\mu\text{g/g}$ para Cr e 0,312 $\mu\text{g/g}$ para Pb. As concentrações encontradas nesse estudo foram superiores tanto para penas quanto para fígados, em aves vivas e mortas, o que sugere que as aves italianas estavam menos expostas a contaminação do ambiente do que os carcarás estudados nessa pesquisa. Nam & Lee (2011) pesquisando chumbo em sete aves da ordem Falconiformes na Coréia obtiveram de 2,9 a 8,1 $\mu\text{g/g}$, em média, de chumbo no fígado dessas aves. Já as concentrações encontradas nesse trabalho foram inferiores tanto para fígado, quanto para penas, possivelmente pela maior urbanização na Coréia, que aumenta a quantidade de poluentes na atmosfera e consequentemente expondo mais essas aves estudadas por Nam & Lee (2011). Abbasi *et al.* (2015) encontraram em quatro aves da ordem Falconiformes no Paquistão concentrações de 2,70 $\mu\text{g/g}$ para Pb, 1,00 $\mu\text{g/g}$ para Cd, 1,55 $\mu\text{g/g}$ para Cr e 5,06 $\mu\text{g/g}$ para Cu, concentrações obtidas nessa pesquisa em penas de carcarás vivos

foram superiores para Pb, Cr e Cu, o que indica que os carcarás foram mais expostos a contaminação ambiental, seja por via atmosférica e deposição nas penas, ou através da alimentação, com acesso a água e alimentos contaminados com esses metais.

A concentração de metais pode variar consideravelmente quando se leva em consideração o hábito alimentar dessas aves, segundo Abbasi *et al.* (2015), metais como Cr e Cu exibem afinidade por aves de hábito carnívoro, enquanto o Pb exibe afinidade por aves saprófagas, assim como o carcará que é uma ave muito generalista. No entanto, segundo Zaccaroni *et al.* (2003) as concentrações de Cd só são tóxicas em aves entre 3 a 10 $\mu\text{g/g}$, e concentrações abaixo de 6 $\mu\text{g/g}$ de chumbo, são concentrações de *background* e segundo Nam e Lee (2011) acima de 25 $\mu\text{g/g}$ o chumbo seria letal.

As concentrações de Hg foram baixas nessa pesquisa, provavelmente devido a fonte de mercúrio ser primariamente alimentar e as intoxicações ocorrem primordialmente em aves piscívoras, que não é o caso do carcará (Gomes *et al.*, 2009). Tanto Cu quanto Cr são metais requeridos pelo organismo, se sabe que são necessários na dieta de aves domésticas entre 5-10 mg/kg de Cu sendo o máximo tolerado de 250 mg/kg na dieta, no entanto são espécies diferentes e a fisiologia é bastante alterada, então estudos específicos necessitam ser realizados para determinar o limiar para intoxicação nessas aves (Apsite; Bërzina; Basova, 2012). Quanto ao Cr, é difícil avaliar a concentração necessária para determinar uma intoxicação, porém o mecanismo de homeostase age como defesa, evitando que concentrações altas sejam absorvidas (Zaccaroni *et al.*, 2003).

CONCLUSÃO

É possível confirmar a presença desses metais nas aves analisadas que sinalizam como importantes bioindicadores ambientais, sendo essencial o desenvolvimento de estudos aprofundados para determinar a origem desses metais e dessa forma nortear a elaboração de medidas com objetivo de proteção a fauna e redução do impacto ambiental causado por esses compostos.

REFERÊNCIAS

ABBASI, N. A. et al. Influence of taxa, trophic level, and location on bioaccumulation of toxic metals in bird's feathers: A preliminary biomonitoring study using multiple bird species from Pakistan. *Chemosphere*, v. 120, p. 527–537, 2015.

APSİTE, M.; BËRZINA, N.; BASOVA, N. Effects of high but non-toxic dietary intake of

Selenium and Copper on indices of the antioxidant defence system and on accumulation of trace elements in Chicks. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*, v. 66, n. 4-5, p. 117–124, 1 jan. 2012.

BURGER, J.; GOCHFELD, M. Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. *Environmental research*, v. 75, n. 2, p. 160–172, 1997.

BURGER, J.; GOCHFELD, M. Metals in albatross feathers from midway atoll: influence of species, age, and nest location. *Environmental research*, v. 82, n. 3, p. 207–221, 2000.

CENTRO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO (CDT- UnB). Disponível

em: <http://www.cdt.unb.br/programaseprojetos/index/programaseprojetos/?menuprincipal=programas-e-projetos>. Acesso em: 23/12/13.

CUI, J. et al. Age-dependent accumulation of heavy metals in liver, kidney and lung tissues of homing pigeons in Beijing, China. *Ecotoxicology (London, England)*, v. 22, n. 10, p. 1490–7, 2013.

DAUWE, T. et al. Tissue levels of lead in experimentally exposed zebra finches (*Taeniopygia guttata*) with particular attention on the use of feathers as biomonitors. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 42, n. 1, p. 88–92, 2002.

DAUWE, T. et al. Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: Effects of molt and external contamination. *Environmental Pollution*, v. 124, n. 3, p. 429–436, 2003.

EK, K. H. et al. Comparative tissue distribution of metals in birds in Sweden using ICP-MS and laser ablation ICP-MS. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 47, n. 2, p. 259–269, 2004.

FUENTEALBA, C.; ABURTO, E. M. Animal models of copper-associated liver disease. *Comparative Hepatology*, v. 2, n. 5, p. 1–10, 2003.

GAETKE, L. M.; CHOW-JOHNSON, H. S.; CHOW, C. K. Copper: toxicological relevance and mechanisms. *Archives of Toxicology*, v. 88, n. 11, p. 1929–1938, 2014.

GOMES, A. L. et al. A first evaluation on the use of *Ardea albus* feathers as bioindicators of mercury burden in Amazonian ecosystems. *Acta Amazonica*, v.39 (4) p. 969-971, 2009.

INFRAERO. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/meio-ambiente/programa-fauna.html>. Acessado em: 23/12/13.

- JASPERS, V. L. B. et al. Is external contamination with organic pollutants important for concentrations measured in bird feathers? *Environment International*, v. 33, n. 6, p. 766–772, 2007.
- LITTLE, T.M.; HILLS, F.J. *Agricultural experimentation: design and analysis*. John Wiley, New York. 1978, 350p.
- LODENIUS, M.; SOLONEN, T. The use of feathers of birds of prey as indicators of metal pollution. *Ecotoxicology*, v. 22, n. 9, p. 1319–1334, 2013.
- LUIGI, G . Aves como fator de risco para a Aviação nas proximidades de Aeroportos no Brasil: Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação e busca de soluções. Manual de Controle do Perigo Aviário para Aeroportos da Rede Infraero. Centro de *Pesquisa em Avifauna de Aeroportos –CPAA*, 2006.
- MOVALLI, P. A. Heavy metal and other residues in feathers of laggar falcon *Falco biarmicus* jugger from six districts of Pakistan. *Environmental Pollution*, v. 109, n. 2, p. 267–275, 2000.
- NAM, D.; LEE, D. Mortality factors and lead contamination of wild birds from Korea. *Environmental monitoring and assessment*, v. 178, n. 1-4, p. 161–9, 2011.
- SCHEUHAMMER, A. M. The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury, and lead in birds: A review. *Environmental Pollution*, v. 46, n. 4, p. 263–295, 1987.
- SICK, H. IN: *Ornitologia Brasileira*. 3 Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira., p. 256, 1997.
- STATISTICAL ANALYSES SISTEM INSTITUTE, Inc 2009. *SAS user's guide: Statistics Version*, 2009. SAS, Cary, N. C
- TRAVAINI, A. et al. Food habits of the Crested Caracara (*Caracara plancus*) in the Andean Patagonia: the role of breeding constraints. *Journal of Arid Environments* 48: 211–219, 2001.
- VITALIANO, S. N. Infecção Experimental em Carcarás (*Caracara plancus*, MILLER, J. F ., 1777) com *Toxoplasma gondii* (AMOSTRA ME49). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp - Dissertação de mestrado. Jaboticabal, São Paulo, 2007.
- ZACCARONI, A. et al. Cadmium, chromium and lead contamination of *Athene noctua* , the little owl, of Bologna and Parma, Italy. *Chemosphere*, v. 52, p. 1251–1258, 2003.

6. ANEXOS

Anexo A – Parecer da Comissão de Ética no Uso de Animais/UFRPE

I- FORMULÁRIO UNIFICADO PARA SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO
PARA USO DE ANIMAIS EM EXPERIMENTAÇÃO E/OU ENSINO

PROTOCOLO PARA USO DE ANIMAIS

USO EXCLUSIVO DA COMISSÃO
PROTOCOLO Nº 23082.009485/2014
RECEBIDO EM: 06.05.2014

LICENÇA Nº. 0651/2014
COT

No campo "fármaco", deve-se informar o(s) nome(s) do(s) princípio(s) ativo(s) com suas respectivas Denominação Comum Brasileira (DCB) ou Denominação Comum Internacional (DCI).

Lista das DCBs disponível em:

http://www.anvisa.gov.br/medicamentos/dcb/lista_dcb_2007.pdf.

1. FINALIDADE

Ensino	<input type="checkbox"/>
Pesquisa	<input checked="" type="checkbox"/>
Treinamento	<input type="checkbox"/>

Início: 01/03/2014

Término: 01/02/2016

2. TÍTULO DO PROJETO/AULA PRÁTICA/TREINAMENTO

Pesquisa de Metais Pesados em Penas, *Toxoplasma gondii* e *Salmonella* spp. em Aves Silvestres Oriundas de Tráfico em Pernambuco, Brasil.

Área do conhecimento: 5.05.03.02-2

Lista das áreas do conhecimento disponível em:

<http://www.cnpq.br/areasconhecimento/index.htm>.



Anexo B- Autorização para atividades de pesquisa SISBIO/ICMBio.



Ministério do Meio Ambiente - MMA
 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
 Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 43771-2	Data da Emissão: 18/05/2015 16:02	Data para Revalidação*: 16/06/2016
* De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Luana Thamires Rapôso da Silva	CPF: 082.730.174-00
Título do Projeto: Pesquisa de Metais Pesados , Toxoplasma gondii e Salmonella spp. em aves silvestres oriundas de tráfico em Pernambuco, Brasil.	
Nome da Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PE	CNPJ: 24.416.174/0001-06

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta das amostras	04/2014	12/2014
2	Análise das amostras	01/2015	07/2015
3	Apresentação dos resultados obtidos	07/2015	12/2015

Anexo C- Autorização de Manejo de Fauna- IBAMA

 MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS DIRETORIA DE USO SUSTENTÁVEL DA BIODIVERSIDADE E FLORESTAS COORDENAÇÃO-GERAL DE AUTORIZAÇÃO DE USO E GESTÃO DE FAUNA E RECURSOS PESQUEIROS		
AUTORIZAÇÃO PARA CAPTURA, COLETA E TRANSPORTE DE MATERIAL BIOLÓGICO		
PROCESSO IBAMA	AUTORIZAÇÃO	VALIDADE
Nº 02001.003675/2011-97	Nº 005-F/2011 - RENOVAÇÃO	30/dezembro/2014
ATIVIDADE <input checked="" type="checkbox"/> MANEJO DE FAUNA – Segurança aeroviária <input checked="" type="checkbox"/> MONITORAMENTO <input type="checkbox"/> RESGATE/SALVAMENTO		
TIPO <input checked="" type="checkbox"/> RECURSOS FAUNÍSTICOS <input type="checkbox"/> RECURSOS PESQUEIROS		
INTERESSADO: Infraero - Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes - Gilberto Freyre - SBRF CNPJ: 00.352.294/0014-35 CTF: 4980195 ENDEREÇO: Praça Ministro Salgado Filho, s/n - Bairro Imbiribeira - CEP: 51.210-902 - Recife/PE EMPREENDIMENTO: Manejo de Fauna Silvestre no Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes - Gilberto Freyre - SBRF		
CONSULTORIA RESPONSÁVEL PELA ATIVIDADE: Infraero/Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da UnB- CDT/UnB CNPJ/CPF: 00.038.174/0001-43 CTF: 231631		
COORDENADOR GERAL DA ATIVIDADE: Felipe Ponce de Leon Soriano Lago CPF: 610.144.941-68 CTF: 181423		
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE: Atividades de manejo de fauna em aeroportos, de acordo com a Lei nº 12.725, de 16 de outubro de 2012, Resolução Conama nº 4, de 9 de outubro de 1999, e Instrução Normativa Ibama nº 72, de 18 de agosto de 2005. Manejo e monitoramento de fauna que oferece risco à segurança aeroviária, através de técnicas conforme plano de manejo apresentado e aprovado para a concessão da Autorização nº 005-F/2011, e condições abaixo estabelecidas.		
SÍTIOS AMOSTRAIS: Sítio aeroportuário, Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes - Gilberto Freyre - SBRF e Área de Segurança Aeroportuária (Lei nº 12.725, de 16 de outubro de 2012 e Resolução Conama nº 4, de 9 de outubro de 1995) do SBRF (1.256 km²)		
PETRECHOS: armadilhas de captura de fauna, dardos tranquilizantes, espantalhos, equipamentos de afugentamento de fauna.		
DESTINAÇÃO DO MATERIAL: Universidade Regional do Cariri - URCA/CE, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Química Biológica, Crato, CE; Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Medicina Veterinária -DMV/Patologia Animal, Recife, PE.		
ESTA AUTORIZAÇÃO NÃO PERMITE:		
<ol style="list-style-type: none"> Captura/coleta/transporte/soltura de espécies em área particular sem o consentimento do proprietário; Captura/coleta/transporte/soltura de espécies em unidades de conservação federais, estaduais, distritais ou municipais, salvo quando acompanhadas da anuência do órgão administrador competente; Coleta de material biológico por técnicos não integrantes da equipe responsável pelo manejo; Coleta/transporte de espécies listadas na Instrução Normativa MMA nº 3, de 27 de maio de 2003, e Instrução Normativa MMA nº 5, de 21 de maio de 2004, alterada pela Instrução Normativa MMA nº 52, de 8 de novembro de 2005, sem prévia comunicação e anuência do Ibama; Exportação de material biológico; Acesso ao patrimônio genético, nos termos da regulamentação constante na medida provisória nº 2.186-16, de 23 de agosto de 2001. 		
LOCAL E DATA DE EMISSÃO: Brasília, 5 de fevereiro de 2014.	Autoridade Expedidora:  Jorge Yoshio Hiodo Coordenador-Geral de Autorização de Uso e Gestão de Fauna e Recursos Pesqueiros	

Anexo D – Normas do periódico *Science of the Total Environment*

SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT

An International Journal for Scientific Research into the Environment and its Relationship with Humankind

AUTHOR INFORMATION PACK

ISSN: 0048-9697

DESCRIPTION

Science of the Total Environment is an international journal for publication of original research on the **total environment**, which includes the **atmosphere**, **hydrosphere**, **biosphere**, **lithosphere**, and **anthroposphere**. The total environment is characterized where these five spheres overlap. Studies that focus on at least two or three of these will be given primary consideration. Papers reporting results from only one sphere will not be considered. Field studies are given priority over laboratory studies. The total environment is studied when data are collected and described from these five spheres. By definition total environment studies must be multidisciplinary.

Examples of data from the five spheres are given below:

Subject areas may include, but are not limited to:

- Agriculture, forestry, land use and management
- Air pollution quality and human health
- Contaminant (bio)monitoring and assessment
- Ecosystem services and life cycle assessments
- Ecotoxicology and risk assessment
- Emerging fields including global change and contaminants
- Environmental management and policy
- Environmental remediation
- Environmental sources, processes and global cycling
- Groundwater hydrogeochemistry and modeling
- Human health risk assessment and management
- Nanomaterials in the environment
- Noise in the environment
- Persistent organic pollutants
- Plant science and toxicology
- Remote sensing
- Stress ecology in marine, freshwater and terrestrial ecosystems
- Trace metals and organics in biogeochemical cycles
- Waste and water treatment

The editors discourage submission of papers which describe results from routine surveys or monitoring programs, studies which are local in scope, laboratory experiments, hydroponic or pot studies measuring biochemical/physiological endpoints, food science studies, screening of new plant species for phytoremediation, testing known chemicals in another setting, and experimental studies lacking a testable hypothesis.

The abstract, highlights and conclusions of papers in this journal must contain clear and concise statements as to why the study was done and how readers will benefit from the results. Articles submitted for publication in *Science of the Total Environment* should establish

connections among research findings with implications for environmental quality, ecological health, and/or human health.

AUDIENCE

Environmental Scientists, Environmental Toxicologists, Ecologists, Chemical/Environmental Engineers, Environmental Health Scientists and Epidemiologists, Risk Scientists, Environmental Science Managers and Administrators.

IMPACT FACTOR

2014: 4.099 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2015

ABSTRACTING AND INDEXING

Biology & Environmental Sciences
Elsevier BIOBASE
Current Contents/Agriculture, Biology & Environmental Sciences
MEDLINE®
Meteorological and Geostrophysical Abstracts
EMBASE
Environmental Periodicals Bibliography
Oceanographic Literature Review
PASCAL/CNRS
Selected Water Resources Abstracts
Sociedad Iberoamericana de Informacion Cientifica (SIIC) Data Bases
Scopus
CSA Technology Research Database

EDITORIAL BOARD

Co-Editors-in-Chief:

D. Barceló Cullerés, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Barcelona, Spain

J.P. Bennett, University of Wisconsin at Madison, Madison, WI, USA

Incoming Co-EiC from Jan 1st 2016 Jay Gan

Associate Editors

E. Capri, Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza, Italy

J. Chen, Fudan University, Shanghai, China

A. Covaci, University of Antwerp, Wilrijk, Belgium

M.S. Gustin, University of Nevada at Reno, Reno, Nevada, USA

M.L. Hanson, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada

P. Kassomenos, University of Ioannina, Ioannina, Greece

R. Ludwig, Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), München, Germany

L. Morawska, Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland, Australia

Y. Picó, Universitat de València, Valencia, Spain

S.J.T. Pollard, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, England, UK

AUTHOR INFORMATION PACK 29 Dec 2015 www.elsevier.com/locate/scitotenv 3

C. Poschenrieder, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Bellaterra, Spain

F. Rigét, Aarhus University, Roskilde, Denmark

A.K. Sarmah, University of Auckland, Auckland, New Zealand

S. Sheridan, Kent State University, Kent, Ohio, USA
F.M. Tack, Universiteit Gent, Gent, Belgium
K.V. Thomas, Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Oslo, Norway
X. Tie, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi, China
D.A. Wunderlin, ICYTAC
 CONICET-Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
Editorial Board
J.R. Aboal Viñas, Santiago de Compostela, Spain
C. Barata, Barcelona, Spain
R. Bargagli, Siena, Italy
I. Bergier, Corumbá, Brazil
H. Biester, Braunschweig, Germany
C.M. Branquinho, Lisbon, Portugal
B. Braune, Ottawa, Ontario, Canada
B.W. Brooks, Waco, Texas, USA
G. Buonanno, Cassino (FR), Italy
J. Burger, Piscataway, New Jersey, USA
G. Caminal, Barcelona, Spain
A. Chappelka, Auburn, Alabama, USA
D. Chen, Carbondale, Illinois, USA
J.L. Domingo, Reus, Catalonia, Spain
M. Eng, Burnaby, British Columbia, Canada
J.A. Fernández, Santiago de Compostela, Spain
J.-F. Focant, Liège (Sart-Tilman), Belgium
D.C. Gooddy, Oxfordshire, England, UK
J. Gulliver, London, UK
Y. Guo, Albany, New York, USA
N.S. Harris, Edmonton, Alberta, Canada
R.M. Harrison, OBE, Birmingham, UK
G. Hoek, Utrecht, Netherlands
P. Hooda, Kingston upon Thames, England, UK
B. Jiménez, Madrid, Spain
S. Jovan, Portland, Oregon, USA
A. Katsoyiannis, Ispra (VA), Italy
M.B. Kirkham, Manhattan, Kansas, USA
C.W. Knapp, Glasgow, Scotland, UK
D. Kolpin, Iowa City, Iowa, USA
P. Kumar, Guildford, Surrey, UK
J.D.G. Larsson, Göteborg, Sweden
S. Li, Duluth, Minnesota, USA
S. Macfie, London, Ontario, Canada
A. Markus, Deltares, Delft and University of Amsterdam, The Netherlands
J. Martin, Edmonton, Alberta, Canada
T. Meinelt, Berlin, Germany
D. Muir, Burlington, Ontario, Canada
J. Namieśnik, Gdansk, Poland
H.S. Neufeld, Boone, North Carolina, USA
H H Ngo, Ultimo, New South Wales, Australia
H-G Ni, Shenzhen, China
A.R. Péry, Paris, France

M.L. Pignata, Cordoba, Argentina
X. Querol, Barcelona, Spain
C. Reimann, Trondheim, Norway
E. Reiner, Toronto, Ontario, Canada
T. Reponen, Cincinnati, Ohio, USA
C.M. Rochman, Davis, California, USA
S. Sabater, University of Girona (UdG) and ICRA, Girona, Spain
M.J. Sánchez-Martín, Salamanca, Spain
R.B. Schäfer, Landau, Germany
Luis Felipe Silva Oliveira, Canoas, RS - Brazil
H. Solo-Gabriele, Coral Gables, Florida, USA
M.E. Stuart, Keyworth, Nottingham, UK
P. Szefer, Gdansk, Poland
A.T. Townsend, Hobart, Tasmania, Australia
R. Van Curen, Davis, California, USA
P. Verlicchi, Ferrara, Italy
S. Watmough, Peterborough, Ontario, Canada
T. Zeng, Stanford, California, USA
C. Zhang, Galway, Ireland

GUIDE FOR AUTHORS

Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.

INTRODUCTION

Aims and Scope

Science of the Total Environment is an international journal for publication of original research on the **total environment**, which includes the **atmosphere**, **hydrosphere**, **biosphere**, **lithosphere**, and **anthroposphere**.

The total environment is characterized where these five spheres overlap. Studies that focus on at least two or three of these will be given primary consideration. Papers reporting results from only one sphere will not be considered. Field studies are given priority over laboratory studies. The total environment is studied when data are collected and described from these five spheres. By definition total environment studies must be multidisciplinary.

Examples of data from the five spheres are given below:

Subject areas may include, but are not limited to:

- Agriculture, forestry, land use and management
- Air pollution quality and human health
- Contaminant (bio)monitoring and assessment
- Ecosystem services and life cycle assessments
- Ecotoxicology and risk assessment

- Emerging fields including global change and contaminants
- Environmental management and policy
- Environmental remediation
- Environmental sources, processes and global cycling
- Groundwater hydrogeochemistry and modeling
- Human health risk assessment and management
- Nanomaterials in the environment
- Noise in the environment
- Persistent organic pollutants
- Plant science and toxicology
- Remote sensing
- Stress ecology in marine, freshwater and terrestrial ecosystems
- Trace metals and organics in biogeochemical cycles
- Waste and water treatment

The editors discourage submission of papers which describe results from routine surveys or monitoring programs, studies which are local in scope, laboratory experiments, hydroponic or pot studies measuring biochemical/physiological endpoints, food science studies, screening of new plant species for phytoremediation, testing known chemicals in another setting, and experimental studies lacking a testable hypothesis.

The abstract, highlights and conclusions of papers in this journal must contain clear and concise statements as to why the study was done and how readers will benefit from the results. Articles submitted for publication in *Science of the Total Environment* should establish connections among research findings with implications for environmental quality, ecological health, and/or human health.

Types of paper

Full papers reporting original and previously unpublished work.

Short Communications. A brief communication of urgent matter or the reporting of preliminary findings to be given expedited publication.

Letters to the Editor. A written discussion of papers published in the journal. Letters are accepted on the basis of new insights on the particular topic, relevance to the published paper and timeliness.

Reviews. Critical evaluation of existing data, defined topics or emerging fields of investigation, critical issues of public concern, sometimes including the historical development of topics. Those wishing to prepare a review should first consult the Editors or Associate Editors concerning acceptability of topic and length.

Discussion. Opinionated exposition on an important scientific issue or event designed to stimulate further discussion in a broader scientific forum.

Special Issues. Proceedings of symposia, workshops and/or conferences will be considered for publication as a special issue. An Editor or Associate Editor should be contacted early in the conference planning process to get approval and for guidelines on special issues of the journal.

Book Reviews will be included in the Journal on a range of relevant books which are not more than two years old. Book reviews are handled by the Journal Editors. Unsolicited reviews will not usually be accepted, but suggestions for appropriate books for review may be sent to one of the Editors.

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <https://www.elsevier.com/publishingethics> and <https://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Policy and ethics

It is understood that with submission of this article the authors have complied with the institutional policies governing the humane and ethical treatment of the experimental subjects, and that they are willing to share the original data and materials if so requested.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Editors likewise require reviewers to disclose current or recent association with authors and any other special interest in this work.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <https://www.elsevier.com/sharingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <https://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <https://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement. Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <https://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the

copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <https://www.elsevier.com/permissions>. For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <https://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <https://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. For more

information see <https://www.elsevier.com/copyright>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should

be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some authors may also be reimbursed for associated publication fees. To learn more about existing agreements please visit <https://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf e.g. by their research funder or institution

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs (<https://www.elsevier.com/access>).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is **USD 2750**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information (<http://elsevier.com/greenopenaccess>). Authors can also self-archive their manuscripts

immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. This journal has an embargo period of 24 months.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

Submission

Authors may submit their articles electronically to this journal. The system automatically converts source files to a single PDF file of the article, which is used in the peer-review process. Please note that even though manuscript source files are converted to a PDF file at submission for the review process, these source files are needed for further processing after acceptance. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, takes place by e-mail, removing the need for a paper trail.

Note that contributions may be either submitted online or sent by mail. Please do NOT submit via both routes. This will cause confusion and may lead to your article being reviewed and published twice!

For any technical queries or assistance please contact: support@elsevier.com

Cover Letter

The corresponding author must state explicitly in a paragraph how the paper fits the Aims and Scope of the journal. Failure to include the paragraph will result in returning the paper to the author.

Referees

All authors must suggest five potential reviewers for their paper upon submission (please include **institutional email addresses ONLY** for all reviewers).

The suggested referees should: (i) not be close collaborators of the author(s) (ii) not be located in the same institution as the author(s) and (iii) preferably not all be drawn from one country. Avoid suggesting colleagues you have published with previously as this creates a potential conflict of interest. Do not suggest any Associate Editors or Editorial Board members of this journal.

PREPARATION

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions. If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections. Please ensure that your paper contains NO line numbering. Line numbers are added automatically by the PDF builder after you upload your files.

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file.

REVISED SUBMISSIONS

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <https://www.elsevier.com/guidepublication>). See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Article structure

Manuscript Page Limit

There is no restriction on the number of pages but brevity of papers is greatly encouraged. The length of a paper should be commensurate with the scientific information being reported. In particular, the introductory material should be limited to a few paragraphs and results presented in figures should not be repeated in tables.

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results

and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in

appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- ***Title.*** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

- ***Author names and affiliations.*** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s)

of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lowercase superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- ***Corresponding author.*** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

- ***Present/permanent address.*** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Essential title page information

- ***Title.*** Be concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Acronyms and brand names of products should not appear in the title of a paper. Instead they may be listed in the key words, and spelled out the first time they appear in the body of the paper.

- ***Author names and affiliations.*** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lowercase superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A Graphical abstract is mandatory for this journal. It should summarize the contents of the article in

a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must

provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: please provide an image

with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <https://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images also in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <https://www.elsevier.com/highlights> for examples. The mandatory highlights are important because they appear online in the Table of Contents of the journal. Highlights that list bullet points about the results are therefore not very informative for readers scanning the contents. Here is an outline of what the highlights should contain: What is the overall scientific problem and why did you study it? How did you address the problem, and which spheres are included? What was the major method used? Major finding(s) Take home message Do not repeat the highlights in bullet form for the conclusions. The conclusions should be a narrative about what you found and what it means in the broader scheme.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

The key words of the paper should not contain any words already in the title, but can include abbreviated terms or location information not suitable for the title.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do

not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word

processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Artwork***Electronic artwork******General points***

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Number tables consecutively with Arabic numerals in accordance with their appearance in the text. Type each table double-spaced on a separate page with a short descriptive title typed directly above and place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article. Tables should never be included within the text, because file(s) containing tables are attached separately in the electronic submission system.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation

Style Language styles (<http://citationstyles.org>), such as Mendeley (<http://www.mendeley.com/features/reference-manager>) and Zotero (<https://www.zotero.org/>), as well as EndNote (<http://endnote.com/downloads/styles>). Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide.

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link: <http://open.mendeley.com/use-citation-style/science-of-the-total-environment>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plugins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated in wheat (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer J, Hanraads JAJ, Lupton RA. The art of writing a scientific article. *J Sci Commun* 2010;163:51–9.

Reference to a book:

Strunk Jr W, White EB. *The elements of style*. 4th ed. New York: Longman; 2000.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam GR, Adams LB. How to prepare an electronic version of your article. In: Jones BS, Smith RZ, editors. *Introduction to the electronic age*. New York: E-Publishing Inc; 2009. p. 281–304. Note shortened form for last page number. e.g., 51–9, and that for more than 6 authors the first 6 should be listed followed by "et al." For further details you are referred to "Uniform Requirements for Manuscripts submitted to Biomedical Journals" (*J Am Med Assoc* 1997;277:927–34) (see also http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html).

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with

their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>.

Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <https://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Supplementary material

Supplementary material can support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Please note that such items are published online exactly as they are submitted; there is no typesetting involved (supplementary data supplied as an Excel file or as a PowerPoint slide will appear as such online). Please submit the material together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. If you wish to make any changes to supplementary data during any stage of the process, then please make sure to provide an updated file, and do not annotate any corrections on a previous version. Please also make sure to switch off the 'Track Changes' option in any Microsoft Office files as these will appear in the published supplementary file(s). For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

MethodsX: making your methods reproducible

Authors have the option of converting methods-related supplementary material into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting appropriate credit for this part of their work. MethodsX, which is an Open Access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible.

Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. For more details see www.methodsx.com. The open access fee for MethodsX is US\$520. Please use the following template when preparing your MethodsX article: http://cdn.elsevier.com/promis_misc/MEX_ArticleTemplate.docx

Database linking

Elsevier encourages authors to connect articles with external databases, giving readers access to relevant databases that help to build a better understanding of the described research. Please refer to relevant database identifiers using the following format in your article: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN). See <https://www.elsevier.com/databaselinking> for more information and a full list of supported databases.

Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <https://www.elsevier.com/googlemaps>.

Interactive plots

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. For instructions please go to <https://www.elsevier.com/interactiveplots>.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)

Printed version of figures (if applicable) in color or black-and-white

- Indicate clearly whether or not color or black-and-white in print is required. For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*): <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on ScienceDirect. This link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

AUTHOR INQUIRIES

You can track your submitted article at <https://www.elsevier.com/track-submission>. You can track your accepted article at <https://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.

© Copyright 2014 Elsevier | <http://www.elsevier.com>

Anexo E- Normas do periódico Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia

(Brazilian Journal of Veterinary and Animal Sciences)

Política Editorial

O periódico *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (Brazilian Journal of Veterinary and Animal Science)*, ISSN 0102-0935 (impresso) e 1678-4162 (on-line), é editado pela FEPMVZ Editora, CNPJ: 16.629.388/0001-24, e destina-se à publicação de artigos científicos sobre temas de medicina veterinária, zootecnia, tecnologia e inspeção de produtos de origem animal, aquacultura e áreas afins.

Os artigos encaminhados para publicação são submetidos à aprovação do Corpo Editorial, com assessoria de especialistas da área (relatores). Os artigos cujos textos necessitarem de revisões ou correções serão devolvidos aos autores. Os aceitos para publicação tornam-se propriedade do Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (ABMVZ) citado como *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* Os autores são responsáveis pelos conceitos e informações neles contidos. São imprescindíveis originalidade, ineditismo e destinação exclusiva ao ABMVZ.

Reprodução de artigos publicados

A reprodução de qualquer artigo publicado é permitida desde que seja corretamente referenciado. Não é permitido o uso comercial dos resultados.

A submissão e tramitação dos artigos é feita exclusivamente on-line, no endereço eletrônico <www.abmvz.org.br>.

Não serão fornecidas separatas. Os artigos encontram-se disponíveis nos endereços www.scielo.br/abmvz ou www.abmvz.org.br.

Orientação para tramitação de artigos

- Toda a tramitação dos artigos é feita exclusivamente pelo Sistema de publicação on-line do ABMVZ no endereço www.abmvz.org.br.
- Apenas o autor responsável pelo artigo deverá preencher a ficha de submissão, sendo necessário o cadastro do mesmo no Sistema.
- Toda comunicação entre os diversos atores do processo de avaliação e publicação (autores, revisores e editores) será feita exclusivamente de forma eletrônica pelo Sistema, sendo o autor responsável pelo artigo informado, automaticamente, por e-mail, sobre qualquer mudança de status do artigo.
- A submissão só se completa quando anexado o texto do artigo em Word e em pdf no campo apropriado.
- Fotografias, desenhos e gravuras devem ser inseridas no texto e também enviadas, em separado, em arquivo com extensão jpg em alta qualidade (mínimo 300dpi), zipado, inserido no campo próprio.
- Tabelas e gráficos não se enquadram no campo de arquivo zipado, devendo ser inseridas no corpo do artigo.
- É de exclusiva responsabilidade de quem submete o artigo certificar-se de que cada um dos autores tenha conhecimento e concorde com a inclusão de seu nome no mesmo submetido.
- O ABMVZ comunicará, via eletrônica, a cada autor, a sua participação no artigo. Caso pelo menos um dos autores não concorde com sua participação como autor, o artigo será considerado como desistência de um dos autores e sua tramitação encerrada.

Comitê de Ética

É indispensável anexar cópia do Certificado de aprovação do projeto da pesquisa que originou o artigo, expedido pelo CEUA (Comitê de Ética no Uso de Animais) de sua Instituição, em atendimento à Lei 11794/2008. Esclarecemos que o referido documento deve constar como sendo a primeira página do texto em Word (não incluir no texto em pdf), além da menção, em Material e Métodos, do número do Certificado de aprovação do projeto.

Tipos de artigos aceitos para publicação:

▪ **Artigo científico**

É o relato completo de um trabalho experimental. Baseia-se na premissa de que os resultados são posteriores ao planejamento da pesquisa.

Seções do texto: Título (português e inglês), Autores e Filiação, Resumo, Abstract, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão (ou Resultados e Discussão), Conclusões, Agradecimentos (quando houver) e Referências.

O número de páginas não deve exceder a 15, incluindo tabelas e figuras.

O número de Referências não deve exceder a 30.

▪ **Relato de caso**

Contempla principalmente as áreas médicas, em que o resultado é anterior ao interesse de sua divulgação ou a ocorrência dos resultados não é planejada.

Seções do texto: Título (português e inglês), Autores e Filiação, Resumo, Abstract, Introdução, Casuística, Discussão e Conclusões (quando pertinentes), Agradecimentos (quando houver) e Referências.

O número de páginas não deve exceder a 10, incluindo tabelas e figuras.

O número de Referências não deve exceder a 12.

▪ **Comunicação**

É o relato sucinto de resultados parciais de um trabalho experimental, dignos de publicação, embora insuficientes ou inconsistentes para constituírem um artigo científico.

O texto, com título em português e em inglês, Autores e Filiação deve ser compacto, sem distinção das seções do texto especificadas para “Artigo científico”, embora seguindo aquela ordem. Quando a Comunicação for redigida em português deve conter um “Abstract” e quando redigida em inglês deve conter um “Resumo”.

O número de páginas não deve exceder a 8, incluindo tabelas e figuras.

O número de Referências não deve exceder a 12.

Preparação dos textos para publicação

Os artigos devem ser redigidos em português ou inglês, na forma impessoal. Para ortografia em inglês recomenda-se o *Webster's Third New International Dictionary*. Para ortografia em português adota-se o *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, da Academia Brasileira de Letras.

Formatação do texto

- O texto **NÃO** deve conter subitens em qualquer das seções do artigo e deve ser apresentado em Microsoft Word, em formato A4, com margem 3cm (superior, inferior, direita e esquerda), em fonte Times New Roman tamanho 12 e em espaçamento entrelinhas 1,5, em todas as páginas e seções do artigo (do título às referências), com linhas numeradas.
- Não usar rodapé. Referências a empresas e produtos, por exemplo, devem vir, obrigatoriamente, entre parêntesis no corpo do texto na seguinte ordem: nome do produto, substância, empresa e país.

Seções de um artigo

- **Título.** Em português e em inglês. Deve contemplar a essência do artigo e não ultrapassar 150 dígitos.
- **Autores e Filiação.** Os nomes dos autores são colocados abaixo do título, com identificação da instituição a que pertencem. O autor para correspondência e seu e-mail devem ser indicados com asterisco.

Nota:

1. o texto do artigo em Word deve conter o nome dos autores e filiação.
 2. o texto do artigo em pdf **NÃO** deve conter o nome dos autores e filiação.
- **Resumo e Abstract.** Deve ser o mesmo apresentado no cadastro contendo até 2000 dígitos incluindo os espaços, em um só parágrafo. Não repetir o título e não acrescentar revisão de literatura. Incluir os principais resultados numéricos, citando-os sem explicá-los, quando for o caso. Cada frase deve conter uma informação. Atenção especial às conclusões.
 - **Palavras-chave e Keywords.** No máximo cinco.
 - **Introdução.** Explanação concisa, na qual são estabelecidos brevemente o problema, sua pertinência e relevância e os objetivos do trabalho. Deve conter poucas referências, suficientes para balizá-la.
 - **Material e Métodos.** Citar o desenho experimental, o material envolvido, a descrição dos métodos usados ou referenciar corretamente os métodos já publicados.

Nos trabalhos que envolvam animais e/ou organismos geneticamente modificados deverá constar, obrigatoriamente, o número do Certificado de aprovação do CEUA. (verificar o Item Comitê de Ética).

▪ **Resultados.** Apresentar clara e objetivamente os resultados encontrados.

✓ *Tabela.* Conjunto de dados alfanuméricos ordenados em linhas e colunas. Usar linhas horizontais na separação dos cabeçalhos e no final da tabela. O título da tabela recebe inicialmente a palavra Tabela, seguida pelo número de ordem em algarismo arábico e ponto (ex.: Tabela 1.). No texto a tabela deve ser referida como Tab seguida de ponto e do número de ordem (ex.: Tab. 1), mesmo quando se referir a várias tabelas (ex.: Tab. 1, 2 e 3). Pode ser apresentada em espaçamento simples e fonte de tamanho menor que 12 (o menor tamanho aceito é 8). A legenda da Tabela deve conter apenas o indispensável para o seu entendimento. As tabelas devem ser, obrigatoriamente, inseridas no corpo do texto preferencialmente após a sua primeira citação.

✓ *Figura.* Compreende qualquer ilustração que apresente linhas e pontos: desenho, fotografia, gráfico, fluxograma, esquema, etc. A legenda recebe inicialmente a palavra Figura, seguida do número de ordem em algarismo arábico e ponto (ex.: Figura 1.) e é referida no texto como Fig seguida de ponto e do número de ordem (ex.: Fig.1), mesmo se referir a mais de uma figura (ex.: Fig. 1, 2 e 3). Além de inseridas no corpo do texto, fotografias e desenhos devem também ser enviadas no formato jpg com alta qualidade, em um arquivo zipado, anexado no campo próprio de submissão na tela de registro do artigo. As figuras devem ser, obrigatoriamente, inseridas no corpo do texto preferencialmente após a sua primeira citação.

Nota:

✓ Toda tabela e/ou figura que já tenha sido publicada deve conter, abaixo da legenda, informação sobre a fonte (autor, autorização de uso, data) e a correspondente referência deve figurar nas Referências.

▪ **Discussão.** Discutir somente os resultados obtidos no trabalho. (Obs.: As seções Resultados e Discussão poderão ser apresentadas em conjunto a juízo do autor, sem prejudicar qualquer das partes e sem subitens).

▪ **Conclusões.** As conclusões devem apoiar-se nos resultados da pesquisa executada e serem apresentadas de forma objetiva, **SEM** revisão de literatura, discussão, repetição de resultados e especulações.

▪ **Agradecimentos.** Não obrigatório. Devem ser concisamente expressados.

▪ **Referências.** As referências devem ser relacionadas em ordem alfabética, dando-se preferência a artigos publicados em revistas nacionais e internacionais, indexadas. Livros e teses devem ser referenciados o mínimo possível, portanto, somente quando indispensáveis. São adotadas as normas gerais ABNT, **adaptadas** para o ABMVZ conforme exemplos:

Como referenciar:

1. Citações no texto

- A indicação da fonte entre parênteses sucede à citação para evitar interrupção na sequência do texto, conforme exemplos:
 - ✓ autoria única: (Silva, 1971) ou Silva (1971); (Anuário..., 1987/88) ou Anuário... (1987/88)
 - ✓ dois autores: (Lopes e Moreno, 1974) ou Lopes e Moreno (1974)
 - ✓ mais de dois autores: (Ferguson *et al.*, 1979) ou Ferguson *et al.* (1979)
 - ✓ mais de um artigo citado: Dunne (1967); Silva (1971); Ferguson *et al.* (1979) ou (Dunne, 1967; Silva, 1971; Ferguson *et al.*, 1979), sempre em ordem cronológica ascendente e alfabética de autores para artigos do mesmo ano.

- *Citação de citação.* Todo esforço deve ser empreendido para se consultar o documento original. Em situações excepcionais pode-se reproduzir a informação já citada por outros autores. No texto, citar o sobrenome do autor do documento não consultado com o ano de publicação, seguido da expressão **citado por** e o sobrenome do autor e ano do documento consultado. Nas Referências, deve-se incluir apenas a fonte consultada.
- *Comunicação pessoal.* Não fazem parte das Referências. Na citação coloca-se o sobrenome do autor, a data da comunicação, nome da Instituição à qual o autor é vinculado.

2. Periódicos (até 4 autores, citar todos. Acima de 4 autores citar 3 autores *et al.*):

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. v.48, p.351, 1987-88.

FERGUSON, J.A.; REEVES, W.C.; HARDY, J.L. Studies on immunity to alphaviruses in foals. *Am. J. Vet. Res.*, v.40, p.5-10, 1979.

HOLENWEGER, J.A.; TAGLE, R.; WASERMAN, A. et al. Anestesia general del canino. *Not. Med. Vet.*, n.1, p.13-20, 1984.

3. Publicação avulsa (até 4 autores, citar todos. Acima de 4 autores citar 3 autores *et al.*):

DUNNE, H.W. (Ed). Enfermedades del cerdo. México: UTEHA, 1967. 981p.

LOPES, C.A.M.; MORENO, G. Aspectos bacteriológicos de ostras, mariscos e mexilhões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA, 14., 1974, São Paulo. *Anais...* São Paulo: [s.n.] 1974. p.97. (Resumo).

MORRIL, C.C. Infecciones por clostridios. In: DUNNE, H.W. (Ed). Enfermedades del cerdo. México: UTEHA, 1967. p.400-415.

NUTRIENT requirements of swine. 6.ed. Washington: National Academy of Sciences, 1968. 69p.
SOUZA, C.F.A. *Produtividade, qualidade e rendimentos de carcaça e de carne em bovinos de corte*. 1999. 44f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

4. Documentos eletrônicos (até 4 autores, citar todos. Acima de 4 autores citar 3 autores *et al.*):

QUALITY food from animals for a global market. Washington: Association of American Veterinary Medical College, 1995. Disponível em: <<http://www.org/critical6.htm>>. Acessado em: 27 abr. 2000.

JONHNSON, T. Indigenous people are now more combative, organized. Miami Herald, 1994. Disponível em: <<http://www.summit.fiu.edu/MiamiHerald-Summit-RelatedArticles/>>. Acessado em: 5 dez. 1994.

Nota:

- Artigos que não estejam rigorosamente dentro das normas acima não serão aceitos para avaliação.
- O Sistema reconhece, automaticamente, como “Desistência do Autor” artigos em diligência e/ou “Aguardando liberação do autor”, que não tenha sido respondido no prazo dado pelo Sistema.

Taxas de submissão e de publicação:

- **Taxa de submissão.** A taxa de submissão de R\$50,00 deverá ser paga por meio de boleto bancário emitido pelo sistema eletrônico de submissão de artigos. Ao solicitar o boleto bancário, o autor informará os dados para emissão da nota fiscal. Somente artigos com taxa paga de submissão serão avaliados.

Caso a taxa não seja quitada em até 30 dias será considerado como desistência do autor.

- **Taxa de publicação.** A taxa de publicação de R\$150,00, por página, por ocasião da prova final do artigo. A taxa de publicação deverá ser paga por meio de boleto bancário emitido pelo sistema eletrônico de submissão de artigos. Ao solicitar o boleto bancário, o autor informará os dados para emissão da nota fiscal.

Recursos e diligências:

- No caso de o autor encaminhar resposta a diligências solicitadas pelo ABMVZ, ou documento de recurso, o mesmo deverá constar como a(s) primeira(s) página(s) do texto do artigo somente na versão em Word.
- No caso de artigo não aceito, se o autor julgar pertinente encaminhar recurso, o mesmo deve ser feito pelo e-mail abmvz.artigo@abmvz.org.br.