



Universidade Federal de Uberlândia

Instituto de Biologia



Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais

**Cyntia Goulart Corrêa Bruno**

**Avaliação da contaminação de córregos de Cerrado  
por metais pesados utilizando-se larvas de Odonata  
como bioindicadores**

UBERLÂNDIA, fevereiro de 2012

CYNTIA GOULART CORRÊA BRUNO

**Avaliação da contaminação de córregos de Cerrado  
por metais pesados utilizando-se larvas de Odonata  
como bioindicadores**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais da Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Giuliano Buzá Jacobucci

Co-orientador: Prof. Dr. Juliano José Corbi

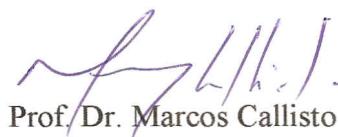
UBERLÂNDIA  
2012

CYNTIA GOULART CORRÊA BRUNO

**Avaliação da contaminação de córregos de Cerrado  
por metais pesados utilizando-se larvas de Odonata  
como bioindicadores**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais da Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.

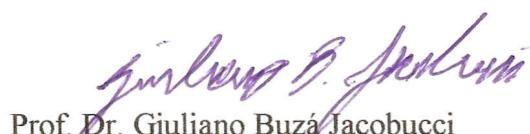
Aprovada em 27 de fevereiro de 2012.

  
Prof. Dr. Marcos Callisto

UFMG

  
Profa. Dra. Celine de Melo

UFU

  
Prof. Dr. Giuliano Buzá Jacobucci  
(Orientador)

UFU

UBERLÂNDIA  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

B898a Bruno, Cyntia Goulart Corrêa, 1986-  
2012 Avaliação da contaminação de córregos de Cerrado por metais  
pesados utilizando-se larvas de Odonata como bioindicadores /  
Cyntia Goulart Corrêa Bruno. -- 2012.  
78 f. : il.

Orientador: Giuliano Buzá Jacobucci.

Co-orientador: Juliano José Corbi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recur-  
sos Naturais.

Inclui bibliografia.

1. Ecologia - Teses. 2. Ecossistemas aquáticos - Teses. 3. Me-  
tais pesados - Teses. 4. Água - Efeito dos metais pesados - Teses.  
I. Jacobucci, Giuliano Buzá. II. Corbi, Juliano José. III. Universi-  
dade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Eco-  
logia e Conservação de Recursos Naturais. IV. Título.

---

CDU: 574

*Dedico este trabalho aos meus pais, Elmar  
e Maria Inez, que com amor e afinco  
sempre batalharam pela minha formação e  
acreditaram em mim. Amo vocês!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, força maior, pela dádiva da vida e pela saúde e proteção constantes, em todos os momentos dessa jornada;

Aos meus queridos pais Elmar e Maria Inez, meus exemplos de vida e luta, que concederam as bases para minha formação pessoal e profissional. Obrigada pelo amor sem medidas, pela preocupação, dedicação, cuidado e atenção constantes;

Ao meu querido irmão Gustavo, obrigada pela amizade, sinceridade e momentos compartilhados. Desejo-lhe todo o sucesso do mundo nesse início de carreira!

Ao meu amor Helder, exemplo de vida, força e resiliência. Obrigada pelo amor, companheirismo e carinho e pelos inúmeros momentos compartilhados;

A todos os meus familiares pela confiança e torcida;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Giuliano Buzá Jacobucci (Instituto de Biologia/UFU), exemplo de seriedade e competência profissional. Obrigada pelos conselhos e sugestões sempre pertinentes, pela presença constante no campo da orientação e por acreditar em meu potencial;

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Juliano José Corbi (Deptº de Hidrobiologia/UFSCar), por tornar possível a extração e as análises dos metais pesados, por ensinar as técnicas de extração e pelo esclarecimento das dúvidas;

Ao Prof. Ademir dos Santos (Instituto de Química/UNESP Araraquara), pela leitura dos metais pesados nas larvas e nos sedimentos;

Ao Prof. Dr. Alcimar do Lago Carvalho (Museu Nacional/UFRJ), pela confirmação da identificação das larvas de Odonata;

Aos professores: Dr. Marcos Callisto, Dra. Celine de Melo e Dra. Fernanda Helena Nogueira Ferreira por gentilmente terem aceitado participar de minha banca examinadora;

À Profa. Dra. Kátia Facure pela disposição de sempre ajudar e esclarecer as dúvidas sobre as análises multivariadas e estatísticas;

Ao Prof. Dr. Claudio Vieira da Silva e à MSc. Adele Aud Rodrigues (laboratório de Imunologia/UFU), por disponibilizarem o freezer para armazenar meus materiais e o liofilizador, para secá-los;

Ao geógrafo José Fernando Pinese Júnior pela confecção do mapa;

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ao Instituto de Biologia e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, pela formação acadêmica e pela qualidade e competência de seu quadro de funcionários;

À Maria Angélica da Silva, secretária do PPGERN, pela disposição, simpatia e esclarecimentos das mil e uma dúvidas surgidas durante o mestrado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado;

Aos motoristas da UFU, sempre educados e dispostos durante o transporte aos pontos de coleta. À Rêzinha, Fernanda, Regina e ao Prof. Giuliano, que muitas vezes disponibilizaram seus próprios carros para as idas a campo;

Aos meus colegas de laboratório e de campo, em especial à turma da “água doce”, pela disposição - muitas vezes tiveram que acordar cedo por minha culpa! - e auxílio nas coletas de campo. Rêzinha e Fernanda (obrigada pela revisão da dissertação também!), Aline, Jaque, Ana Lícia, Flávio e Regina, muito obrigada pela companhia e pela ajuda!

Às minhas amigas queridas e indispensáveis Adele, Fernanda, Rêzinha, Ana Carolina, Millena, Tatizinha, Pólen, Claudete, Laíce, Lucilene, Karla, Paula, Nathália, Camila, Juju e Livinha. Muito obrigada pela amizade, força e otimismo!

À 13<sup>a</sup> turma de mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais (2010/2012), pelos momentos e “sufocos” compartilhados e pelas amizades construídas.

Às amizades feitas no PET/BIO-UFU. Mesmo que se passem anos, sempre levarei comigo as lembranças e os aprendizados;

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse possível, o meu **MUITO OBRIGADA!**

*"Há quem diga que todas as noites são de sonhos. Mas há também quem garanta que nem todas, só as de verão. Mas, no fundo, isso não tem muita importância. O que interessa mesmo não são as noites em si, e sim, os sonhos. Sonhos que o homem sonha sempre. Em todos os lugares, em todas as épocas do ano, dormindo ou acordado."*

William Shakespeare

## SUMÁRIO

RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	xi
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	xiii
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
ÁREA DE ESTUDO .....	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	9
CAPÍTULO 1. Relação entre a presença de metais pesados no sedimento e a estrutura de assembléias de larvas de Odonata em córregos de Cerrado .....	15
RESUMO .....	15
ABSTRACT .....	17
1.1 INTRODUÇÃO .....	19
1.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	21
Área de estudo.....	21
Coleta e avaliação de metais pesados no sedimento .....	21
Coleta e identificação das larvas de Odonata.....	22
Análise de dados.....	23
1.3 RESULTADOS .....	24
1.4 DISCUSSÃO.....	36
1.5 CONCLUSÃO .....	41
1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
CAPÍTULO 2. Avaliação da contaminação de córregos de Cerrado por metais pesados utilizando-se sedimento e larvas de Odonata como indicadores .....	53
RESUMO .....	53
ABSTRACT .....	55
2.1 INTRODUÇÃO .....	57
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	59
Área de estudo.....	59

Coleta e avaliação de metais pesados no sedimento .....	59
Coleta e avaliação de metais pesados em larvas de Odonata .....	60
Análise de dados.....	61
2.3     RESULTADOS.....	61
2.4     DISCUSSÃO.....	68
2.5     CONCLUSÃO .....	71
2.6     REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	77

## **RESUMO**

BRUNO, C. G. G. 2012. Avaliação da contaminação de córregos de Cerrado por metais pesados utilizando-se larvas de Odonata como bioindicadores. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. UFU. Uberlândia-MG. 92p.

Os ecossistemas aquáticos são os principais receptáculos de poluentes e contaminantes, oriundos de atividades industriais, agrícolas e do lançamento de esgotos. Dentre as diversas substâncias potencialmente nocivas ao ambiente, os metais pesados são uma ameaça aos ecossistemas aquáticos e à biota. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a contaminação de córregos de Cerrado por metais pesados utilizando-se larvas de Odonata como bioindicadores, a partir de parâmetros biológicos e da avaliação da concentração de metais nos sedimentos e nas larvas. As coletas foram realizadas entre outubro de 2010 e agosto de 2011. Foram calculados os parâmetros abundância de indivíduos, riqueza de táxons e os índices de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e de equidade de Pielou ( $J'$ ). A presença de metais no sedimento e nas larvas foi avaliada por espectrofotometria de absorção atômica e espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado, respectivamente. Foi feita análise de cluster para o conjunto dos córregos quanto às concentrações dos metais Cu, Zn, Ni, Fe e Mn nos sedimentos, e as concentrações de Cu, Zn e Ni no sedimento foram comparadas com uma tabela de valores-guia. A Análise de Redundância Canônica (RDA) visou discriminar quais metais mais contribuíram para a variância dos parâmetros biológicos. A significância dos metais pesados sobre a fauna de Odonata foi avaliada através de Análise de Correspondência Canônica (CCA). A Análise de Componentes Principais (PCA) buscou determinar os padrões mais importantes das concentrações de Cu, Zn, Fe e Mn nas larvas e nos sedimentos e, para avaliar o potencial de bioacumulação dos metais pelas larvas, foi calculado o fator de bioacumulação (BAF). A análise de cluster promoveu a formação de grupos de córregos devido à maior ou menor concentração de metais no sedimento, o que pode ter ocorrido por influência da presença ou ausência de vegetação ripária e de atividades agropecuárias no entorno dos córregos. A comparação com a tabela de valores-guia indicou que os córregos em que foram registradas as maiores concentrações de metais no sedimento foram também os que apresentaram valores acima dos limites indicados para pelo menos um dos metais avaliados. A CCA indicou que a maioria dos táxons de Odonata apresentou distribuição oposta aos vetores

dos metais pesados, enquanto a família Libellulidae foi abundante em córregos sujeitos à maior influência antrópica. Houve baixa similaridade entre os padrões de distribuição dos diagramas de PCA para sedimento e larvas, o que indica importância de avaliações não só no sedimento, como também de organismos para obtenção de resultados mais amplos acerca da contaminação por metais pesados. O BAF mostrou uma tendência para bioacumulação de Zn e Mn pelas larvas de Gomphidae, indicando que estas são capazes de concentrar metais em seu organismo, podendo refletir a condição ambiental de onde vivem e assim servir como ferramentas importantes em estudos de biomonitoramento. Os resultados desta pesquisa ressaltam o potencial da ordem Odonata para estudos ambientais, uma vez que demonstraram ser capazes de refletir as condições de seus ambientes quanto à concentração de metais pesados.

**Palavras-chave:** macroinvertebrados bentônicos, indicadores biológicos, bioacumulação, poluição.

## **ABSTRACT**

BRUNO, C. G. G. 2012. Assessment of heavy metal contamination in Brazilian savanna's streams using Odonata larvae as bioindicators. MSc. thesis. Federal University of Uberlândia. Uberlândia-MG. 92p.

The aquatic ecosystems are the main receptors of pollutants and contaminants from industrial and agricultural activities and of the discharge of sewage. Among the various substances potentially harmful, heavy metals are a threat to the aquatic ecosystems and the biota. This research aimed to evaluate the contamination of Cerrado's streams by heavy metals using Odonata's larvae as bioindicators, by analyzing biological parameters and evaluating the concentration of metals in the sediments and in the larvae. Samples were collected between October 2010 and August 2011. For the fauna, the abundance of individuals, richness of taxa and the diversity index of Shannon-Wiener ( $H'$ ) and Pielou's equity index ( $J'$ ) were calculated. The presence of metals in the sediment and in the larvae was measured by atomic absorption spectrometry and atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, respectively. Cluster analysis was performed for the set of streams for the concentrations of Cu, Zn, Ni, Fe and Mn in sediments, and concentrations of Cu, Zn and Ni in the sediment were compared with a table of guide values. Canonical Redundancy Analysis (RDA) was performed to discriminate metals that contributed most to the variance of the biological parameters. Significance of heavy metals on the fauna of Odonata was evaluated by Canonical Correspondence Analysis (CCA). A Principal Component Analysis (PCA) was performed to determine the most important patterns in the concentrations of Cu, Zn, Fe and Mn in the larvae and in the sediments and the bioaccumulation factor (BAF) was calculated to assess the potential for bioaccumulation of metals by the larvae. The Cluster analysis promoted the formation of groups of streams due to the greater or lesser concentration of heavy metals in the sediment, which may have been influenced by the presence or absence of riparian vegetation and agricultural activities in the surrounding areas of the streams. The comparison with the table of guide values indicated that the streams which showed the highest concentrations of metals in the sediment were also those who had values above the limits given for at least one of the metals evaluated. The CCA indicated that most taxa of Odonata presented opposite distribution in relation to the vectors of heavy metals, while the family Libellulidae was abundant in streams subject to greater anthropogenic influence. There

was low similarity between the distribution patterns of the PCA diagrams for the sediment and larvae, which indicates the importance of assessments not only in the sediment, but also in the organisms for the achievement of results more efficient about heavy metal contamination. The BAF showed a tendency to bioaccumulation of Zn and Mn by the Gomphidae larvae, indicating that these metals are able to concentrate on its bodies, reflecting the environmental conditions where these organisms live and thus serving as important tools in biomonitoring studies. The results of this study emphasize the potential of the order Odonata for environmental studies, because they demonstrated to be able to reflect the conditions of their environment with respect to the concentration of heavy metals.

**Keywords:** benthic macroinvertebrates, biological indicators, bioaccumulation, pollution.

## **ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação foi estruturada nas seguintes seções: Introdução Geral, Área de Estudo, Referências Bibliográficas, Capítulos 1 e 2 e Considerações Finais.

A introdução geral contextualiza a temática e os objetivos da pesquisa. Na seção Área de Estudo, os córregos são descritos por meio de um mapa de localização e de figuras de cada um dos córregos pesquisados.

Os capítulos 1 e 2 foram estruturados na forma de manuscrito para posterior submissão em periódicos de reconhecida qualidade nas áreas de Ecologia e Limnologia. O capítulo 1 investiga a relação entre diferentes parâmetros biológicos de assembleias de larvas de Odonata e a presença de metais pesados no sedimento dos córregos pesquisados. Já o capítulo 2 avalia a acumulação de metais pesados no sedimento e em larvas de Odonata de córregos de áreas de Cerrado.

## **INTRODUÇÃO GERAL**

A água é um recurso natural fundamental à vida e a diversas atividades humanas, com destaque para o abastecimento público, dessedentação de animais, geração de energia, irrigação, navegação e aquicultura (MORAES; JORDÃO, 2002). No entanto, com o crescimento exacerbado da industrialização e da urbanização, os cursos d'água e sua biota associada vêm sendo expostos a intensas e diversas combinações de distúrbios de origem antrópica (SANTANA; BARRONCAS, 2007; FREIRE et al., 2008). A ocupação desordenada do espaço urbano, a descarga de efluentes domésticos e industriais, a intensificação de atividades agrícolas, a supressão de vegetação e o aumento da impermeabilização do solo, dentre outras, são ações que têm modificado os ecossistemas, ocasionando mudanças na qualidade ambiental e na capacidade de recuperação e autodepuração dos corpos hídricos, além da perda de suas características naturais e de diversidade biológica (SHEPP; CUMMINS, 1997; LUCHETA et al., 2010).

Dentre as principais alterações ambientais decorrentes de atividades antrópicas, estão o assoreamento e homogeneização do leito de rios e córregos, diminuição da diversidade de habitats e microhabitats e eutrofização artificial (GOULART; CALLISTO, 2003). Além disso, observa-se um aumento da quantidade e complexidade de resíduos tóxicos lançados nos corpos d'água, podendo provocar graves consequências à saúde ambiental e humana (BITTON; DUTTKA, 1986).

Apesar dos ecossistemas aquáticos não apresentarem capacidade infinita de depuração (CLARK, 1992), estes continuam sendo os principais receptáculos de poluentes e contaminantes, os quais podem ser lançados diretamente na água por meio de descargas de efluentes ou transportados indiretamente pela chuva ou na atmosfera (RODRIGUES et al., 2005; COSTA et al., 2008; LAILSON-BRITO et al., 2008). As atividades industriais e agrícolas e a utilização de agrotóxicos, muitas vezes sem critério e controle, e o lançamento de esgotos doméstico e industrial sem tratamento adequado têm provocado um incremento no conteúdo de diversas substâncias potencialmente nocivas ao ambiente, como por exemplo, os metais pesados (THORNTON, 1995).

Metais são todos os elementos químicos que apresentam ligações químicas fortes entre seus átomos (ligação metálica) e as seguintes características físicas: condução de eletricidade, brilho, maleabilidade e flexibilidade (BACCAN, 2004). Os metais pesados, dentre as diversas substâncias potencialmente nocivas ao ambiente, são considerados como um dos contaminantes mais comuns nas águas e sua origem pode

ser natural ou antrópica (CORBI et al., 2006). Algumas fontes antropogênicas responsáveis pelo lançamento de metais pesados no ambiente são: atividades de mineração, fundição e refinamento, agricultura (aplicação de fertilizantes e pesticidas), uso sistemático de compostos de metal, queima de combustíveis fósseis e de biomassa na zona rural, incineração de resíduos industriais e urbanos, lixiviação de depósitos de lixo e emissões veiculares (FÖRSTNER, 1980; CORBI et al., 2008).

Substâncias como os metais pesados, geralmente pouco ou não degradáveis e com potencial acumulativo, tendem a se adsorver, principalmente nos materiais particulados e nos sedimentos, e também a se acumular em plantas e animais aquáticos (bioacumulação), penetrando nestes por meio da superfície corporal e de estruturas respiratórias, e também pela ingestão de material particulado e água, criando uma condição de toxicidade (BAIRD, 2002; MELVILLE; BURCHETT, 2002; ADRIANO et al., 2004). Tais substâncias, dependendo da quantidade no ambiente, de características físico-químicas e também dos organismos em que se acumulam, podem ser transferidas a outros organismos através de cadeias alimentares e ainda passar por um aumento em suas concentrações à medida que atingem níveis tróficos elevados, num fenômeno conhecido como biomagnificação (CONNELL, 1989; LINDEGARTH; UNDERWOOD, 2002).

Elevadas concentrações de metais pesados são uma ameaça constante aos ecossistemas aquáticos e à biota, sendo seus efeitos os mais variados possíveis, tais como modificações nas características e dinâmica das populações (reprodução, migração, restabelecimento e mortalidade), na estrutura e função das comunidades (alteração na diversidade de espécies, modificações nas relações predador-presa) e na função do ecossistema (alterações nos processos de respiração e fotossíntese e no fluxo de nutrientes) (COSTA et al., 2008). Tais efeitos podem provocar impactos persistentes e prolongados, ao reduzir drasticamente ou até mesmo eliminar espécies intolerantes, tendo, portanto, efeitos relevantes sobre a diversidade e estrutura trófica de comunidades biológicas, em especial as que vivem associadas aos sedimentos (GRAY, 2002; BOENING, 1999; LINDEGARTH; UNDERWOOD, 2002).

Os sedimentos são camadas de partículas minerais e orgânicas finamente granuladas que ficam em contato com a parte inferior dos cursos d'água (COSTA et al., 2008). Estas camadas ou compartimentos abrigam uma diversidade de espécies bentônicas, assim denominadas por viverem pelo menos parte de seu ciclo associadas ao

sedimento. Além disso, os sedimentos têm um importante papel, pois podem refletir a contaminação do ambiente, ao funcionarem como um sistema de estoque de poluentes (FILGUEIRAS et al., 2004; KASPER et al., 2007). Dessa forma, podem contribuir significativamente para a acumulação de metais em organismos, como, por exemplo, insetos da ordem Odonata, cujo estágio inicial do ciclo de vida é marcado pela fase bentônica.

Os Odonata, conhecidos popularmente como libélulas, são predadores oportunistas (larvas e adultos) e constituem uma ordem de Insecta bem conhecida, abundante e amplamente distribuída no mundo, apresentando alta diversidade nos trópicos (KALKMAN et al., 2008). A ordem se subdivide em três subordens, a saber: Anisoptera, Zygoptera e Anisozygoptera, sendo a última não registrada no Brasil (CORBET, 1980; FERREIRA-PERUQUETTI, 2004). Suas larvas são aquáticas, estando presentes em diversos tipos de corpos d'água, como rios, lagos, corredeiras, poças temporárias ou brejos, enquanto os adultos são aéreos (CORBET, 1999; GULLAN; CRANSTON, 2005; FERREIRA-PERUQUETTI, 2004).

As libélulas possuem ciclo de vida longo e sua fase larval pode alcançar até dois anos, estando, dessa forma, sujeitas a alterações ambientais e podendo responder fortemente a mudanças no habitat e na qualidade da água, uma vez que requerem ambientes não-contaminados e bem oxigenados para sobrevivência (HILTON, 1985). Devido a estas características, portanto, os Odonata podem servir como valiosos bioindicadores em estudos de avaliação de impactos ambientais (CORBET, 1980; CORBET, 1983; CLAUSNITZER et al., 2009).

Em países como o Brasil, estudos que analisem a ação de impactos antrópicos sobre a ordem Odonata são ainda incipientes (FERREIRA-PERUQUETTI; DE MARCO JR. 2002; CORBI et al., 2008). No entanto, pesquisas desenvolvidas na Europa, Austrália e nos Estados Unidos, por exemplo, têm investigado respostas de Odonata (larvas e adultos) a alterações antrópicas, e constatado que estes organismos são especialmente úteis na avaliação da qualidade de habitats, uma vez que têm gerado resultados comparáveis em nível local, regional e até em larga escala, sendo capazes de informar condições ambientais tanto do presente quanto ocorridas no passado (WATSON et al., 1982; GORHAM; VODOPICH, 1992; SAMWAYS; STETLER 1996; JAKAB et al., 2002). Assim, diversos autores têm reconhecido os Odonata como excelentes bioindicadores de qualidade ambiental e apesar de serem menos sensíveis

que outros insetos aquáticos, são relativamente fáceis de estudar, auxiliando em diagnósticos e programas de monitoramento (BROWN JR., 1997; CORBET, 1993, 1999; D'AMICO et al., 2004; BRIED et al., 2007; KALKMAN et al., 2008; ELTJON et al., 2010).

Devido à sua estreita associação com os sedimentos, seus ciclos de vida relativamente longos, vida sedentária e abundância no ambiente aquático, a ordem Odonata pode ser usada como indicadora de alterações relativas à contaminação por metais pesados (WAYLAND; CROSLEY, 2006). São organismos-chave na cadeia alimentar e representam um importante elo na transferência de metais a níveis tróficos superiores. Além disso, por serem predadores, podem acumular mais metais que outros insetos aquáticos, como herbívoros e detritívoros (BENKE, 1976; CORBI et al., 2008).

Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivos avaliar a acumulação de metais pesados no sedimento e em larvas de Odonata e a relação entre a concentração de metais pesados e a estrutura de assembleias de larvas de Odonata em córregos de Cerrado.

## ÁREA DE ESTUDO

Foram selecionados 14 córregos situados no Triângulo Mineiro e localizados nos municípios de Uberlândia, Uberaba e Araguari, região representativa do bioma Cerrado, que apresenta intensas atividades antrópicas, principalmente agropecuárias e industriais (Tabela I). No capítulo 1, foram investigados 12 córregos, e no capítulo 2, sete córregos dos 14 selecionados. O clima da região é tropical e, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Aw megatérmico, com chuvas no verão e seca de inverno (EMBRAPA, 1982).

A escolha dos córregos visou amostrar de forma representativa a variabilidade do uso do solo e de condições ambientais na região. A Figura 1 traz o mapa com a localização dos córregos estudados e a Figura 2 (a-n) ilustra, com imagens, cada córrego estudado. Em cada córrego, foram selecionados trechos de aproximadamente 100 m para o desenvolvimento da pesquisa.

Tabela I. Nomes dos córregos pesquisados, com suas respectivas legendas e coordenadas geográficas.

CÓRREGOS	LEGENDA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Panga	PA	19°10'51,3"S 48°23'42,6"O
Cabeceira do Lageado	CL	18°59'24,7"S 48°18'07,3"O
São José	SJ	18°51'26,4"S 48°13'50,2"O
Água Fria	AF	18°29'47,4"S e 48°22'42,5"O
Sucupira Cassu	CA	19°40'40,8"S 48°02'37,3"O
Glória	GL	18°58'57,0"S 48°12'33,6"O
Areia	AR	19°05'39,3"S 48°21'49,0"O
Terra Branca	TB	18°50'20,2"S 48°11'38,1"O
Marimbondo	MA	18°49'49,3"S 48°09'51,6"O
Capim Branco	CB	18°52'32,7"S 48°20'35,6"O
Óleo	OL	18°54'53,5"S 48°18'35,7"O
Bons Olhos	BO	18°56'56,0"S 48°18'00,4"O
Lobo	LO	18°52'41,0"S 48°17'18,7"O
Liso	LI	18°53'18,7"S 48°18'26,4"O

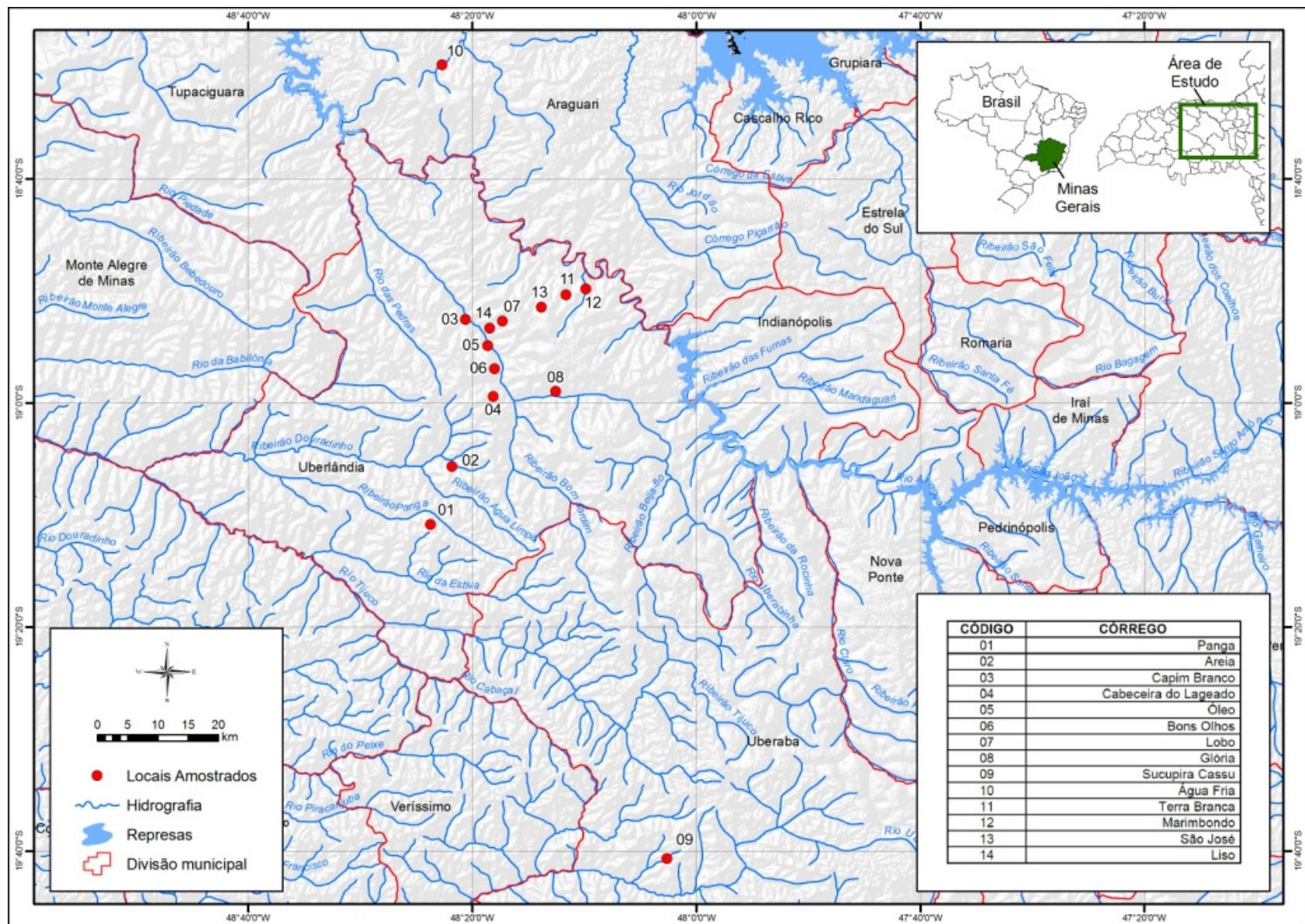
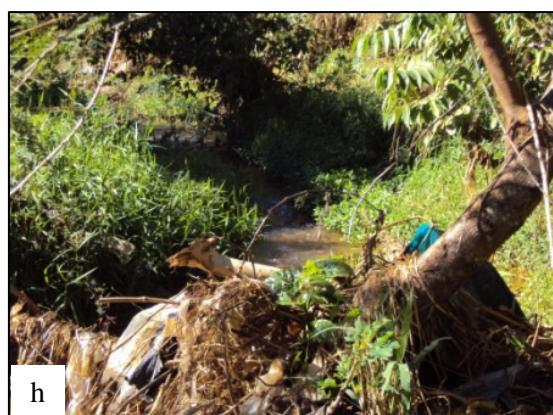
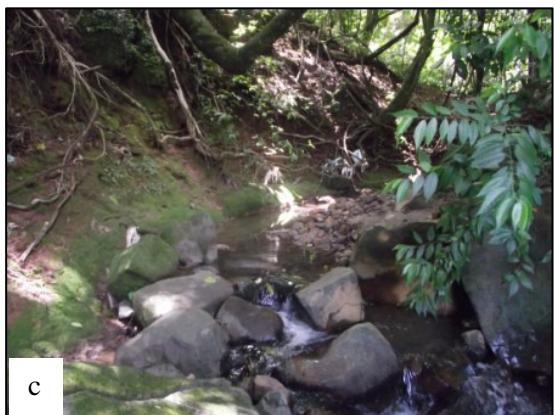


Figura 1. Localização dos 14 córregos estudados nesta pesquisa, 2012. (Autor: PINSE JÚNIOR, J. F.).



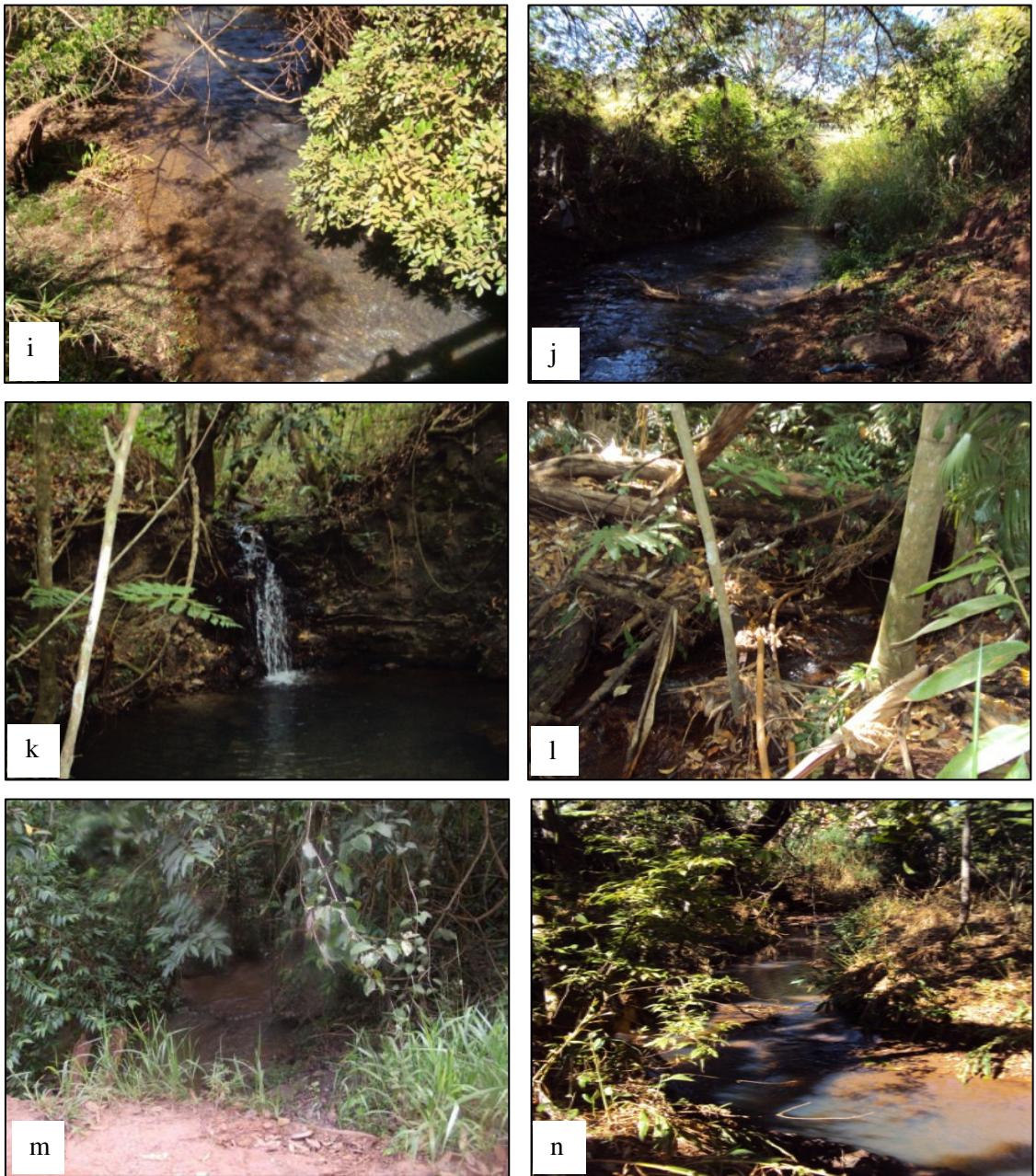


Figura 2. Imagens dos córregos pesquisados. a) Água Fria; b) Areia; c) Bons Olhos; d) Cabeceira do Lageado; e) Capim Branco; f) Glória; g) Liso; h) Lobo; i) Marimbondo; j) Óleo; k) Pangá; l) São José; m) Sucupira Cassu; n) Terra Branca. Fotos: Cyntia Goulart Corrêa Bruno e Regina Célia Gonçalves (2011).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ADRIANO, D. C.; WENZEL, W. W.; VANGRONSVELD, J.; BOLAN, N. S. Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. **Geoderma**, v. 122, p. 121-142, 2004.

BACCAN, N. Metais Pesados: Significado e Uso da Terminologia. In: **Anais do IX encontro nacional sobre contaminantes inorgânicos**, IPEN, São Paulo, 2004.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2.ed., 2002.

BENKE, A. C. Dragonfly production and prey turnover. **Ecology**, v. 57, p. 915-927, 1976.

BITTON, G.; DUTTKA, B. J. **Toxicity testing using microorganisms**. CRC Press Inc.: Bcca Raton, Florida, 1986, 168p.

BOENING, D. W. An evaluation of bivalves as biomonitor of heavy metals pollution in marine waters. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 55, p. 459-470, 1999.

BRIED, J. T.; HERMAN, B. D.; ERVIN, G. N. Umbrella potential of plants and dragonflies for wetland conservation: a quantitative case study using the umbrella index. **Journal of Applied Ecology**, v. 44, p. 833-842, 2007.

BROWN JR., K. S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. **Journal of Insect Conservation**, Birmingham, v. 1, n. 1, p. 25-42, 1997.

CLARK, R. B. **Marine Pollution**. Clarendon Press: Oxford, 172p.,1992.

CLAUSNITZER, V.; KALKMAN, V. J.; RAM, M.; COLLEN, B.; BAILLIE, J. E. M.; BEDJANI, M.; DARWALL, W. R. T.; DIJKSTRA, K. D.; DOW, R.; HAWKING, J.; KARUBE, H.; MALIKOVA, E.; PAULSON, D.; SCHÜTTE, K.; SUHLING, F.;

VILLANUEVA, R.; VON ELLENRIEDER, N.; WILSON, K. Odonata enter the biodiversity crisis debate: the first global assessment of an insect group. **Biological Conservation**, v. 142, n. 8, p. 1864-1869, 2009.

CONNELL, D. W. Biomagnification by aquatic organisms - a proposal. **Chemosphere**, v. 19, p.1573-1584, 1989.

CORBET, P. S. Biology of Odonata. **Annual Reviews of Entomology**, v. 25, p. 189-217, 1980.

CORBET, P. S. **A biology of dragonflies**. London: Classey, 247p., 1983.

CORBET, P. S. Are Odonata useful as bio-indicators? **Libellula**, v. 12, p. 91-102, 1993.

CORBET, P. S. **Dragonflies: Behaviour and ecology of Odonata**. Essex: Harley Books, 829p., 1999.

CORBI, J. J.; TRIVINHO-STRIXINO, S.; SANTOS, A.; DEL GRANDE, M. Diagnóstico ambiental de metais e organoclorados em córregos adjacentes a áreas de cultivo de cana-de-açúcar (estado de São Paulo, Brasil). **Química Nova**, v. 29, n.1, p. 61-65, 2006.

CORBI. J. J.; TRIVINHO-STRIXINO, S.; SANTOS, A. Environmental evaluation of metals in sediments and dragonflies due to sugar cane cultivation in Neotropical streams. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 195, p. 325–333, 2008.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

D'AMICO, F.; DARBLADE, S.; AVIGNON, S.; BLANC-MANEL, S.; ORMEROD, S. J. Odonates as indicators of shallow lake restoration by liming: comparing adult and larval responses. **Restoration Ecology**, v. 12, n. 3, p. 439-446, 2004.

ELTJON, H.; ANILA, P.; DRITAN, T.; KASTRIOT, M. The impact of environmental conditions on the biodiversity of aquatic insects, Odonata, from aquatic ecosystems of Karavasta and Spillea, in Albania. **BALWOIS 2010.** International Scientific Conference on Water, Climate and Environment: Ohrid, Republic of Macedonia, 2010.

EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação dos solos - EPAMIG (Belo Horizonte, MG). Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. **Boletim de Pesquisa**, Rio de Janeiro, n. 1, p. 34-43, 1982.

FERREIRA-PERUQUETTI, P. S.; DE MARCO JUNIOR, P. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 2, p. 317-327, 2002.

FERREIRA-PERUQUETTI, P. S. F. **Odonata (libélulas) do município de Luís Antônio, São Paulo, Brasil: Relação com o solo e riqueza faunística.** 49f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, 2004.

FILGUEIRAS, A. V.; LAVILLA, I.; BENDICHO, C. Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study. **Science of the Total Environment**, v. 330, p. 115–129, 2004.

FÖRSTNER, U. Inorganic pollutants, particularly heavy metals in estuaries. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (Ed.). **Chemistry and Biochemistry of Estuaries.** Chichester: Wiley, p. 307– 348, 1980.

FREIRE, M. M.; SANTOS, V. G.; GINUINO, I. S. F.; ARIAS, A. R. L. Biomarcadores na avaliação da saúde ambiental dos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n.3, p. 347-354, 2008.

GORHAM, C.; VODOPICH, D. Effects of acidic pH on predation rates and survivorship of damselfly nymphs. **Hydrobiologia**, v. 242, p. 51-62, 1992.

GOULART, M. D.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista FAPAM**, n.2, p.153-163, 2003.

GRAY, J. S. Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. **Marine Pollution Bulletin**, v. 45, p. 46-52, 2002.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **The insects: an outline of entomology**. Oxford: Blackwell Science, 3.ed., 405p., 2005.

HILTON, D. F. J. Dragonflies (Odonata) of Cypress Hills Provincial Park, Alberta and their biogeography significance. **Canadian Entomology**, v. 117, p. 1127-1136, 1985.

JAKAB, T.; MÜLLER, Z.; DÉVAI, G. Y.; TÓTHMÉRÉSZ, B. Dragonfly assemblages of a shallow lake type reservoir (Tisza-Tó, Hungary) and its surroundings. **Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae**, v. 48, p.161-171, 2002.

KALKMAN, V. J.; CLAUSNITZER, V.; DIJKSTRA, K. D. B.; ORR, A. G.; PAULSON, D. R.; VAN TOL, J. Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, p. 351–363, 2008.

KASPER, D.; BOTARO, D.; PALERMO, E. F. A.; MALM, O. Mercúrio em peixes – fontes e contaminação. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 2, p. 228-239, 2007.

LAILSON-BRITO, J.; DORNELES, P. R.; SILVA, V. M. F.; MARTIN, A. R.; BASTOS, W. R.; AZEVEDO-SILVA, C. E.; AZEVEDO, A. F.; TORRES, J. P. M.; MALM, O. Dolphins as indicators of micropollutant trophic flow in amazon basin. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 531-541, 2008.

LINDEGARTH, M.; UNDERWOOD, A. J. A manipulative experiment to evaluate predicted changes in intertidal, macro-faunal assemblages after contamination by heavy

metals. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 274, p. 41-64, 2002.

LUCHETA, F.; FEIDEN, I. R.; GONÇALVES, S. P.; GULARTE, J. S.; TERRA, N. R. Evaluation of the Gravataí River sediment quality (Rio Grande do Sul, Brazil) using *Daphnia magna* (Straus, 1820) as the test-organism for toxicity assays. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 22, n. 4, p. 367-377, 2010.

MELVILLE, F.; BURCHETT, M. Genetic variation in *Avicennia marina* in three estuaries of Sydney (Australia) and implications for rehabilitation and management. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, p. 469-479, 2002.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

RODRIGUES, L.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. **Biocenoses em Reservatórios:** Padrões espaciais e temporais. São Paulo: Rima, 333p., 2005.

SAMWAYS, M. J.; STETLER, N. S. Dragonfly (Odonata) distribution patterns in urban and forested landscapes, and recommendations for riparian management. **Biological Conservation**, v. 78, n. 3, p. 279-288, 1996.

SANTANA; BARRONCAS. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 111-118, 2007.

SHEPP, D. L.; CUMMINS, J. D. Restoration in an urban watershed: Anacostia River of Maryland and the district of Columbia. In: WILLIAMS, J. E.; WOOD, C.A.; DOMBECK, M. P. (Ed.). **Watershed restoration: principles and practices**. Bethesda: American Fisheries Society, p. 297-317, 1997.

THORNTON, I. **Metals in the Global Environment: Facts and Misconceptions**. International Council on Metals and the Environment, Ottawa, Canada, 116 p., 1995.

WATSON, J.; ARTHINGTON, A.; CONRICK, D. Effect of sewage effluent on dragonflies (Odonata) of Bulimba Creek, Brisbane. **Australian Journal of Marine & Freshwater Research**, v. 33, n. 3, p. 517-528, 1982.

WAYLAND, M.; CROSLEY, R. Selenium and other trace elements in aquatic insects in coal mine-affected streams in the rocky mountains of Alberta, Canada. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 50, p. 511-522, 2006.

## **CAPÍTULO 1. Relação entre a presença de metais pesados no sedimento e a estrutura de assembleias de larvas de Odonata em córregos de Cerrado**

### **RESUMO**

Os metais pesados, assim como outros contaminantes, podem ser incorporados aos sedimentos dos cursos d'água e causar impactos persistentes e de longo prazo em assembleias de organismos com hábitos bentônicos, como os pertencentes à ordem Odonata, ou ainda serem transferidos ao longo da cadeia alimentar a outros organismos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a relação entre diferentes parâmetros biológicos de assembleias de larvas de Odonata e a presença dos metais pesados Cu, Fe, Mn, Ni e Zn no sedimento de doze córregos situados em áreas de Cerrado. As coletas foram realizadas entre outubro de 2010 e maio de 2011. Para a fauna de Odonata, foram calculados os parâmetros abundância de indivíduos, riqueza de táxons e os índices de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e de equidade de Pielou ( $J'$ ). A presença de metais no sedimento foi avaliada por espectrofotometria de absorção atômica. Foi feita análise de cluster para o conjunto dos córregos quanto à concentração dos metais Cu, Zn, Ni, Fe e Mn nos sedimentos, e as concentrações de Cu, Zn e Ni no sedimento foram comparadas com uma tabela de valores-guia. Uma Análise de Redundância Canônica (RDA) foi realizada para discriminar quais metais mais contribuíram para a variância dos parâmetros biológicos e a significância dos metais pesados sobre os táxons de Odonata foi avaliada através de Análise de Correspondência Canônica (CCA). Os maiores valores de abundância tiveram contribuição de representantes da família Libellulidae e os maiores valores de riqueza e dos índices de diversidade ( $H'$ ) e equidade ( $J'$ ) se associaram principalmente à presença de vegetação ripária, que pode ter proporcionado maior heterogeneidade ambiental. A análise de cluster promoveu a formação de dois grupos de córregos em função da maior ou menor concentração de metais pesados no sedimento, o que pode ter ocorrido por influência da presença ou ausência de vegetação ripária e de atividades agropecuárias no entorno dos córregos. A comparação com a tabela de valores-guia indicou que os córregos onde foram registradas as maiores concentrações de metais no sedimento foram também os que apresentaram valores acima dos limites indicados para pelo menos um dos metais avaliados. A RDA não evidenciou forte associação entre a concentração de metais pesados no sedimento e os parâmetros biológicos avaliados. A CCA indicou que a

maioria dos táxons de Odonata apresentou distribuição oposta aos vetores dos metais pesados, enquanto a família Libellulidae foi mais abundante em córregos sujeitos à maior influência antrópica. Os resultados sugerem que pesquisas futuras considerem a avaliação de variáveis além da concentração de metais nos sedimentos para verificar alterações na estrutura de assembleias de Odonata.

**Palavras-chave:** macroinvertebrados bentônicos, contaminação, Libellulidae, descritores biológicos.

## **ABSTRACT**

Heavy metals, like other contaminants, can be incorporated into the sediment of water bodies and cause persistent and long-term impacts to assemblages of organisms with benthic habits, such as the order Odonata, or also can be transferred along the chain food to other organisms. The aim of this research was to evaluate the relationship between different biological parameters of Odonata's larvae assemblages and the presence of the heavy metals Cu, Fe, Mn, Ni and Zn in the sediments of twelve streams located in areas of Brazilian savanna. Samples were collected between October 2010 and May 2011. For the fauna of Odonata, the abundance of individuals, richness of taxa and the diversity index of Shannon-Wiener ( $H'$ ) and Pielou's equity index ( $J'$ ) were calculated. The presence of metals in the sediment was measured by atomic absorption spectrometry. Cluster analysis was performed for the set of streams for the concentrations of Cu, Zn, Ni, Fe and Mn in sediments, and concentrations of Cu, Zn and Ni in the sediment were compared with a table of guide values. Canonical Redundancy Analysis (RDA) was performed to discriminate metals that contributed most to the variance of the biological parameters and the significance of heavy metals on the fauna of Odonata was evaluated by Canonical Correspondence Analysis (CCA). The highest values of abundance were due to representatives of the family Libellulidae and the highest values of richness and diversity and equity indices are mainly associated with the presence of riparian vegetation, which might have allowed greater environmental heterogeneity. The Cluster analysis promoted the formation of groups of streams due to the greater or lesser concentration of heavy metals in the sediment, which may have been influenced by the presence or absence of riparian vegetation and agricultural activities in the surrounding areas of the streams. The comparison with the table of guide values indicated that the streams which showed the highest concentrations of metals in the sediment were also those who had values above the limits given for at least one of the metals evaluated. The RDA did not show a strong association between the concentration of heavy metals in the sediment and the biological parameters evaluated. The CCA indicated that most taxa of Odonata presented opposite distribution in relation to the vectors of heavy metals, while the family Libellulidae was more abundant in streams subject to greater anthropogenic influence. The results suggest that future researches also consider the evaluation of other variables in addition to the

concentration of metals in sediments to determine changes in assemblage structure of Odonata.

**Keywords:** benthic macroinvertebrates, contamination, *Libellulidae*, biological parameters.

## **1.1 INTRODUÇÃO**

A utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores tem sido cada vez mais usada e aceita como uma importante ferramenta na avaliação da saúde dos corpos hídricos (CALLISTO, 2000; GOULART; CALLISTO, 2003; BAPTISTA, 2008). Estes organismos habitam o fundo de rios, lagos e reservatórios e estão associados a diversos tipos de substratos como sedimentos minerais, detritos, macrófitas aquáticas e algas filamentosas (ROSENBERG; RESH, 1993). Os macroinvertebrados bentônicos são fundamentais em diversos processos biológicos, pois participam da decomposição de matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes e reduzem o tamanho de partículas orgânicas, facilitando dessa forma a ação de microorganismos decompõsores (CALLISTO; ESTEVES, 1995; WHILES; WALLACE, 1997). Além disso, são componentes vitais da cadeia alimentar, tanto de ecossistemas lóticos quanto lênticos, por fazerem parte da dieta de diversos organismos, como peixes, anfíbios e aves (CUMMINS; MERRITT, 2001).

Diversos estudos têm avaliado o potencial bioindicador de macroinvertebrados bentônicos (CALLISTO; ESTEVES, 1998; CORBI; TRIVINHO-STRIXINO, 2008; GUIMARÃES et al., 2009; CID et al., 2010; MASSON et al., 2010), e concluído que a estrutura e função dessas comunidades refletem com eficiência condições ambientais de cursos d'água. A composição das comunidades também se altera de forma previsível com o aumento de influências antrópicas sobre o meio, uma vez que estes organismos costumam passar parte ou todo seu ciclo de vida na água, e são diretamente expostos às condições do ambiente (DOHERTY et al., 2000; HELGEN; GERNES, 2001).

Os Odonata, conhecidos popularmente como libélulas, constituem um grupo diversificado, abundante e ubíquo, no qual está representado um amplo espectro de espécies, associadas a diferentes condições ambientais (BEDÊ; MACHADO, 2002; KALKMAN et al., 2008). Suas larvas, por serem aquáticas e possuírem hábito bentônico, estão incluídas no grupo dos macroinvertebrados bentônicos (CORBET, 1999). Seu ciclo de vida pode alcançar até dois anos, estando as larvas, principalmente, sujeitas a alterações ambientais e podendo a variações que se manifestem sobre os corpos d'água e/ou cobertura vegetal circundante, como, por exemplo, variações de pH e oxigênio dissolvido, desmatamento, erosão e contaminação por metais pesados (HILTON, 1985). Nesse sentido, a ordem Odonata apresenta potencial para estudos de monitoramento e avaliação de impactos ambientais (CORBET, 1980; CORBET, 1983;

FERREIRA-PERUQUETTI; DE MARCO JR, 2002; CLAUSNITZER et al., 2009), e diversos autores já os reconheceram como excelentes ferramentas bioindicadoras (BROWN JR., 1997; CORBET, 1999; D'AMICO et al., 2004; KALKMAN et al., 2008; ELTJON et al., 2010).

As atividades antrópicas e os resíduos gerados por estas, sejam de origem industrial, doméstica ou agrícola, têm provocado impactos sobre os ecossistemas aquáticos. O aporte de substâncias tóxicas ou de elementos essenciais em altas concentrações, como os metais pesados, pode provocar prejuízos à biota aquática, como alterações na estrutura, organização e comportamento das comunidades, além da possibilidade de contaminação em diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar (KARR, 1991).

Considerados um dos contaminantes mais comumente encontrados em cursos d'água, os metais pesados podem ter origem natural ou antrópica, sendo esta última principalmente oriunda do lançamento de efluentes industriais, além de atividades agrícolas (CORBI et al., 2006). Os metais pesados constituem uma grande ameaça à biota aquática, pois podem causar drástica redução ou eliminação de espécies sensíveis ou intolerantes, tendo, portanto, efeitos significativos sobre a diversidade, riqueza e a estrutura trófica de comunidades biológicas (GRAY, 1997).

Os metais pesados, assim como outros contaminantes, podem ser incorporados aos sedimentos dos cursos d'água e causar impactos persistentes e de longo prazo em assembleias de organismos com hábitos bentônicos, como os macroinvertebrados, ou ainda serem transferidos ao longo da cadeia alimentar a outros organismos (PETERSON, 1986; LINDEGARTH, UNDERWOOD, 2002).

O aumento crescente de sustâncias tóxicas em corpos d'água, como os metais pesados, aponta para a necessidade da avaliação dos efeitos destas substâncias sobre os organismos, para que assim seja possível medir os danos causados e obter um espectro amplo de informações sobre o ecossistema, além de evitar que sejam atingidos níveis mais altos da organização ecológica (METCALFE, 1989; FREIRE et al., 2008).

Respostas ecológicas podem ser utilizadas para avaliar os efeitos de poluentes sobre a biota aquática (CLEMENTS, 1991). Para tais avaliações, podem ser utilizadas diferentes métricas, como abundância, riqueza taxonômica e densidade, além de índices, como o de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e o de equidade de Pielou ( $J'$ ), que refletem a estrutura e composição da comunidade direta ou indiretamente influenciada

por impactos, como a presença de metais, no ambiente aquático (KREBS, 1989; ALLAN, 1995).

Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a relação entre diferentes parâmetros biológicos descritores de assembleias de larvas de Odonata e a presença dos metais pesados Cu, Fe, Mn, Ni e Zn no sedimento de córregos localizados em áreas de Cerrado. Estes metais foram escolhidos em função de seu potencial tóxico e por serem constituintes de resíduos comuns geralmente depositados no solo ou lançados nos corpos d'água em decorrência de atividades antrópicas.

## **1.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

Foram selecionados 12 córregos situados no Triângulo Mineiro (Óleo – OL; São José – SJ; Sucupira Cassu – CA; Areia – AR; Bons Olhos – BO; Lobo – LO; Cabeceira do Lageado – CL; Panga – PA; Capim Branco – CB; Marimbondo – MA; Terra Branca - TB; Liso - LI), região representativa do bioma Cerrado, que apresenta intensas atividades antrópicas, principalmente agropecuárias e industriais. O clima da região é tropical e, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Aw megatérmico, com chuvas no verão e seca de inverno (EMBRAPA, 1982).

A escolha dos córregos visou amostrar de forma representativa a variabilidade do uso do solo e de condições ambientais da região.

### **Coleta e avaliação de metais pesados no sedimento**

Para as coletas de sedimento, foram selecionados trechos de 100 metros em cada um dos córregos selecionados. As amostras de sedimento, coletadas de maneira representativa, foram devidamente armazenadas e conservadas em gelo até o transporte ao laboratório.

Após as coletas, as amostras de sedimento foram congeladas em freezer a -20°C e posteriormente liofilizadas. Os procedimentos para extração dos metais pesados Cu, Fe, Mn, Ni e Zn foram realizados no Laboratório de Química Medicinal do Centro Universitário de Araraquara (UNIARA) e seguiram metodologia descrita por Santos (1999). Em bêqueres com capacidade para 100 mL, foram adicionados 3,0 g de amostra de sedimento liofilizado de cada córrego. Em seguida, foi adicionado aproximadamente 10 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) em cada bêquer. O mesmo procedimento foi realizado

para a amostra controle, denominada branco, para avaliar a presença de contaminação por metais no ácido nítrico e na água destilada utilizada durante os procedimentos.

Após a adição de HNO<sub>3</sub>, os recipientes contendo sedimento foram dispostos sobre um hotplate, a uma temperatura aproximada de 90°C, durante duas horas e meia. Este aparelho tem a função de aquecer e decompor as amostras para promover a dissolução dos metais pesados contidos na amostra. Finalizado o período sobre o hotplate, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente e filtradas em papel filtro, sendo transferidas para balões volumétricos com capacidade para 100 mL, os quais foram encaminhados ao Laboratório de Química Analítica da Universidade Estadual Paulista, campus de Araraquara (UNESP/Araraquara), para avaliação da presença de metais pesados, por meio de espectrofotometria de absorção atômica.

### **Coleta e identificação das larvas de Odonata**

Para as coletas de larvas para análise da estrutura das assembleias de Odonata, foram selecionados trechos de 100 metros em cada um dos 12 córregos selecionados. Cada trecho foi dividido em segmentos de cinco metros, totalizando 20 segmentos por córrego, e em cada córrego foi realizado o sorteio de cinco segmentos dentre os 20 totais (adaptado de FERREIRA-PERUQUETTI, 2004).

Em cada segmento sorteado, foram coletadas três sub-amostras de sedimento, utilizando-se rede manual tipo “D” com malha de 0,25 mm. O procedimento de coleta consistiu no arraste da rede junto ao substrato do corpo d’água e à vegetação marginal. Cada sub-amostra foi representada pelas larvas obtidas durante dois minutos de esforço de coleta, totalizando um esforço amostral de seis minutos por segmento e 30 minutos por trecho (adaptado de FERREIRA-PERUQUETTI, 2004).

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos etiquetados, fixado em formol a 10% e encaminhado ao Laboratório de Ecologia da Universidade Federal de Uberlândia para triagem e identificação dos organismos ao nível taxonômico de gênero, utilizando-se chaves de identificação específicas (CARVALHO; NESSIMIAN, 1998; CARVALHO; CALIL, 2000; COSTA et al., 2004; MUGNAI et al., 2010). Posteriormente, o material foi encaminhado a especialista da Universidade Federal do Rio de Janeiro, para confirmação da identificação.

Para obtenção dos parâmetros estruturais das assembleias, foram calculados os seguintes parâmetros biológicos: abundância de indivíduos, riqueza de gêneros e índices de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e de equidade de Pielou ( $J'$ ).

### Análise de dados

Foi feita uma análise de agrupamento tipo cluster para o conjunto dos córregos e das concentrações de metais pesados nos sedimentos. Adotou-se o método de ligação do tipo UPGMA (média de grupo) e também foi calculado o coeficiente de correlação cofenética, para verificar a proporção expressa com que os resultados representam os dados originais.

Também foi realizada Análise de Redundância Canônica (RDA), em que se buscou discriminar quais variáveis ambientais, representadas nesse estudo pelas concentrações de metais pesados, mais contribuíram para a variância dos parâmetros biológicos, e que percentagem desta variância foi explicada por estas variáveis. No diagrama de ordenação da RDA o comprimento dos vetores é proporcional à sua importância e o ângulo entre um determinado vetor e cada eixo de ordenação representa o seu grau de correlação com o eixo (TER BRAAK; ŠMILAUER, 2002).

Uma Análise de Correspondência Canônica (CCA) foi utilizada para avaliar a relação entre a abundância das larvas de Odonata e as concentrações de metais pesados nos córregos pesquisados. Todas as análises foram realizadas no programa Fitopac 2.0 e todos os valores das concentrações de metais nos sedimentos foram “estandardizados” para redução da discrepância entre eles (SHEPHERD, 2004).

Os resultados da concentração dos metais Cu, Zn e Ni foram comparados com uma tabela de valores-guia adotada pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) e pelo projeto QualiSed (MOZETO et al., 2006). Esta tabela contém as siglas TEL e PEL, que significam, respectivamente, Threshold Effect Level e Probable Effect Level e expressam a probabilidade de ocorrência de efeito para a biota. O menor valor, denominado TEL, representa a concentração abaixo da qual raramente é esperada a ocorrência de efeitos para os organismos, e o maior valor, PEL, refere-se à concentração acima da qual frequentemente é esperado efeito para os organismos. No intervalo entre TEL e PEL ocasionalmente é esperado efeito para a biota (MOZETO et al., 2006).

### **1.3 RESULTADOS**

Foram registrados 101 indivíduos pertencentes à ordem Odonata, distribuídos em 21 gêneros (Tabela I).

Os maiores valores de abundância foram registrados nos córregos LI e OL (23 e 16 indivíduos, respectivamente) (Figura 1a), sendo que a família Libellulidae teve contribuição significativa para estes valores (65,2% em LI e 31,3% em OL). Os maiores valores de riqueza de gêneros foram registrados nos córregos LI e SJ, com sete táxons, e CA, AR e OL, com cinco táxons (Figura 1b). Com relação ao índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ), os valores mais elevados ocorreram nos córregos SJ, LI e OL (1,807; 1,608; 1,461, respectivamente) (Figura 1c) e do índice de equidade de Pielou ( $J'$ ) ocorreram nos córregos CA, BO e LO, todos com valor máximo (1) (Figura 1d).

Tabela I. Composição taxonômica e abundância de larvas de Odonata em córregos de Cerrado, 2010 e 2011 (CL – Cabeceira do Lageado, PA – Panga, SJ – São José, CA – Sucupira Cassu, AR – Areia, CB – Capim Branco, MA – Marimbondo, TB – Terra Branca, BO – Bons Olhos, LI – Liso, LO – Lobo, OL – Óleo).

CÓRREGOS													
GRUPOS TAXONÔMICOS	CL	PA	SJ	CA	AR	CB	MA	TB	BO	LI	LO	OL	
<b>Aeshnidae</b>													
<i>Castoraeschna</i>	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Calopterygidae</b>													
<i>Mnesarete</i>	1	1	2	1	2	1	-	-	-	-	-	-	6
<b>Coenagrionidae</b>													
<i>Argia</i>	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oxyagrion</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	
Não identificado	-	-	-	1	-	-	-	1	-	7	2	2	
<b>Cordulidae</b>													
<i>Aeschnosoma</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neocordulia</i>	1	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Não identificado	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Gomphidae</b>													
<i>Gomphoides</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phyllocycla</i>	-	-	-	-	1	2	1	-	-	-	-	-	-
<i>Phyllogomphoides</i>	-	-	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Zonophora</i>	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Progomphus</i>	-	-	1	-	4	1	5	3	-	-	-	-	-

GRUPOS TAXONÔMICOS	CL	PA	SJ	CA	AR	CB	MA	TB	BO	LI	LO	OL
<b>Libellulidae</b>												
<i>Anatya</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
<i>Dythemis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
<i>Elasmothemis</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	4
<i>Erythrodiplax</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-
<i>Orthemis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-
<i>Perithemis</i>	-	-	1	-	-	-	-	1	-	0	-	1
<i>Tramea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Não identificado	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<b>Abundância total</b>	4	4	15	5	9	7	7	5	2	23	4	16

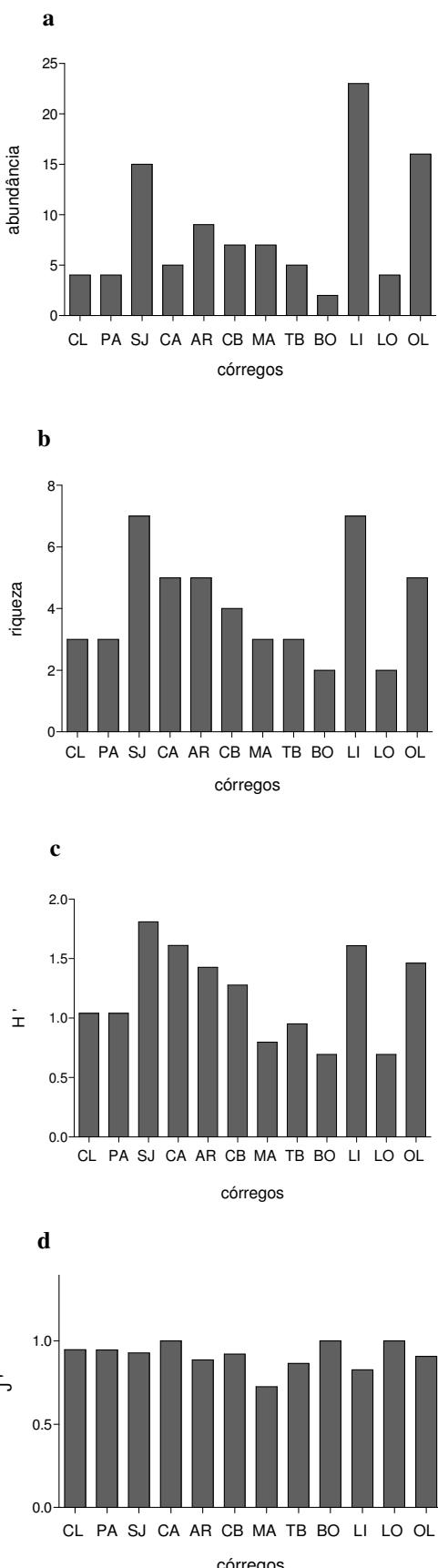
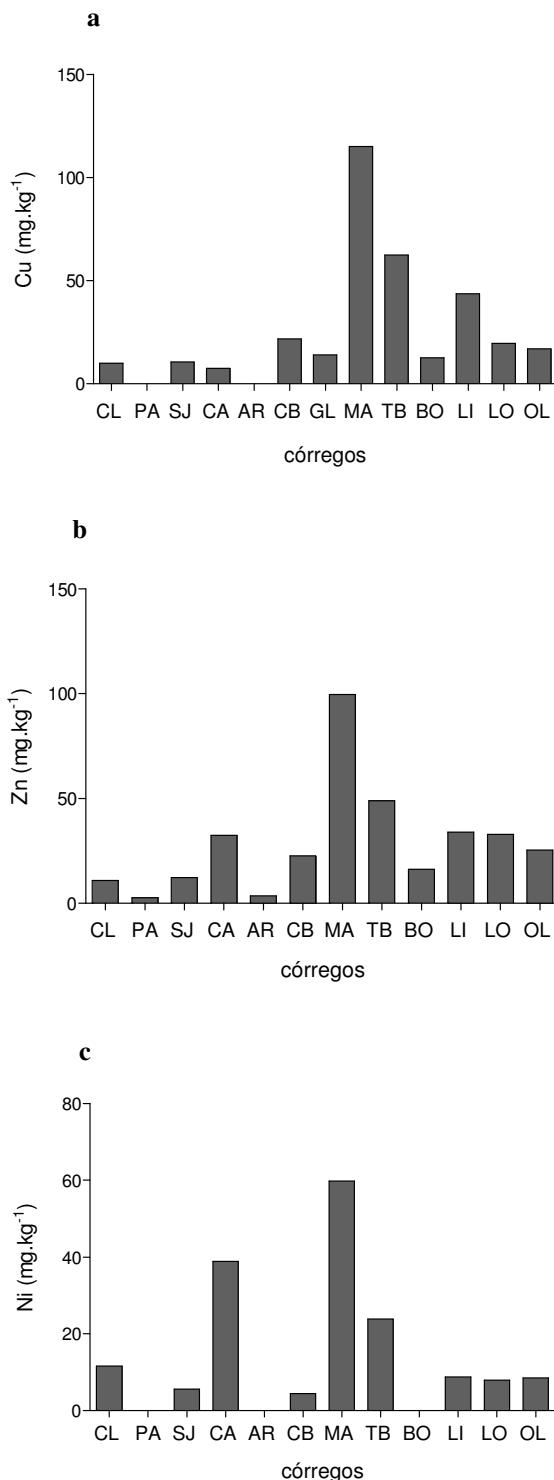


Figura 1 (a-d). Valores dos parâmetros biológicos das assembleias de larvas de Odonata dos córregos pesquisados. a) abundância; b) riqueza de gêneros; c) índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ); d) índice de equidade de Pielou

Com relação à concentração de metais no sedimento, as três maiores concentrações de Cu foram registradas, em ordem decrescente, nos córregos MA, TB e LI (Figura 2a); de Zn em MA, TB e LI (Figura 2b); de Ni em MA, CA e TB (Figura 2c); de Fe em CB, LI, TB (Figura 2d) e de Mn em TB, MA e CB (Figura 2e).



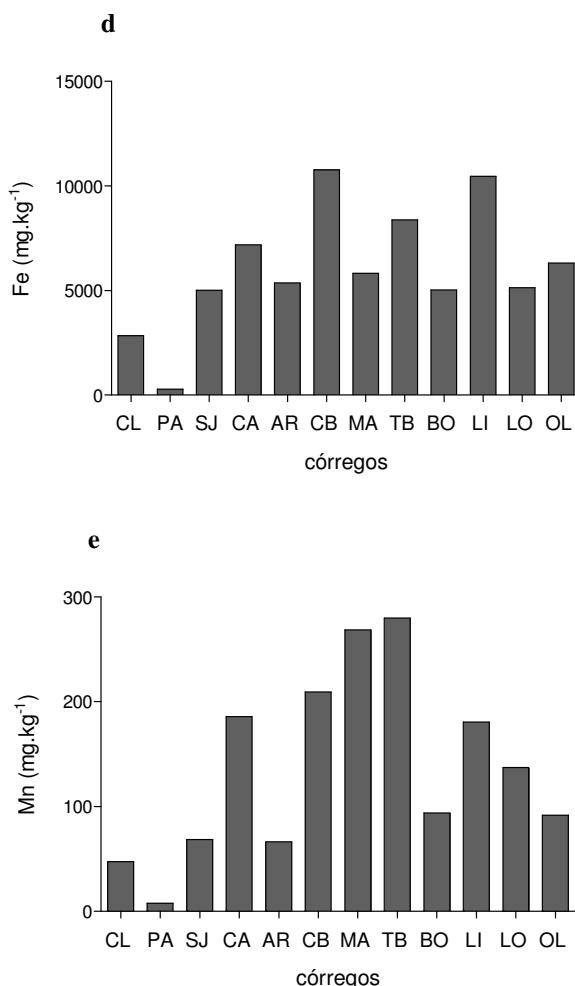


Figura 2 (a-e). Concentrações de metais pesados no sedimento dos córregos pesquisados ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). a) Cobre (Cu); b) Zinco (Zn); c) Níquel (Ni); d) Ferro (Fe); e) Manganês (Mn).

A análise de cluster para a concentração de metais pesados nos sedimentos indicou a formação de dois grupos de córregos e o isolamento do córrego MA dos demais. Os córregos SJ, BO, AR, CL, LO e OL formaram o grupo das concentrações mais baixas, os córregos PA, CB, LI, TB, CA formaram o grupo onde foram registradas elevadas concentrações de metais pesados no sedimento e o córrego MA ficou isolado por ter apresentado as concentrações mais elevadas para a maioria dos metais, dentre os córregos com concentrações elevadas (Figura 3).

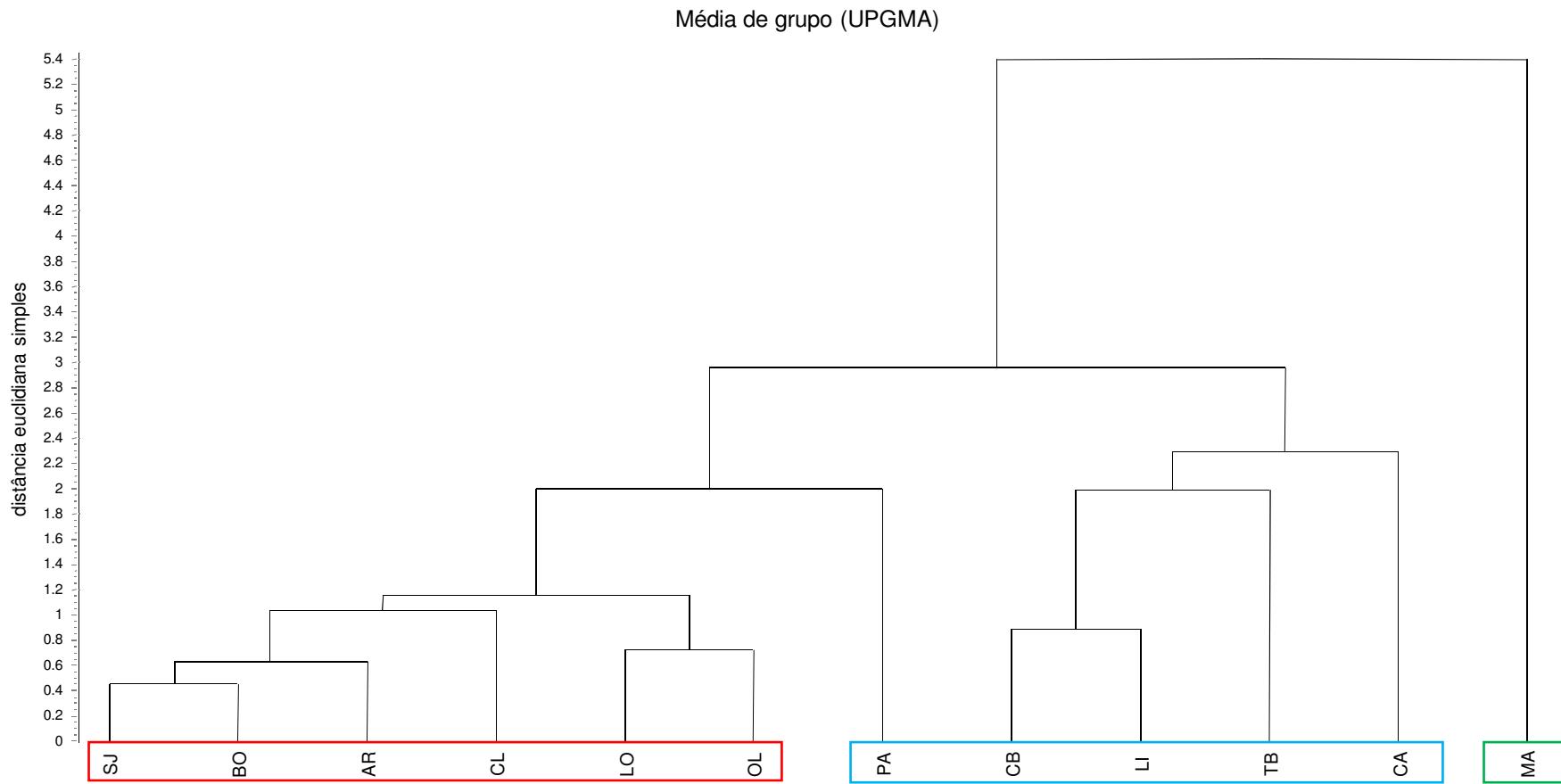


Figura 3. Agrupamento dos córregos quanto à concentração de metais pesados, por análise do tipo cluster, usando média de grupo (UPGMA) como método de ligação (correlação cofenética = 0,9006). Contorno vermelho: córregos com as menores concentrações de metais pesados; contorno azul: córregos com concentrações elevadas de metais pesados; contorno verde: córrego com as concentrações mais elevadas para a maioria dos metais. Legenda: SJ - São José; BO - Bons Olhos; AR – Areia; CL - Cabeceira do Lageado; LO – Lobo; OL – Óleo; PA – Panga; CB - Capim Branco; LI – Liso; TB - Terra Branca; CA – Sucupira Cassu; MA – Marimbondo.

Comparando-se as concentrações de Cu, Zn e Ni registradas no sedimento com a tabela de valores-guia (MOZETO et al., 2006), o córrego MA apresentou valor acima de PEL para Ni, CA valor acima de TEL para Cu e acima de PEL para Ni, TB apresentou valores acima de TEL para Cu e Ni e LI valores acima de TEL para Cu (Tabela II).

Tabela II. Valores-guia para a concentração dos metais pesados Cu, Zn e Ni e respectivas concentrações nos córregos pesquisados.

Metais	TEL*	PEL**	CL	PA	MA	AR	CB	SJ	CA	TB	BO	LI	LO	OL
Cu	35,70	197,00	9,95	nd	7,45	nd	21,75	13,94	<u>114,96</u>	<u>62,40</u>	12,62	<u>43,63</u>	19,54	16,94
Zn	123,10	315,00	10,94	2,61	32,49	<sup>3,6</sup> 2	22,64	17,60	99,68	48,92	16,27	33,94	32,79	25,35
Ni	18,00	35,900	11,61	nd	<b>38,86</b>	nd	4,45	3,32	<b>59,81</b>	<u>23,81</u>	nd	8,76	7,95	8,45

\*TEL - *Threshold Effect Level*; \*\*PEL - *Probable Effect Level*; nd: não-detectado. Sublinhado: viola TEL; **Negrito**: viola PEL. CL - Cabeceira do Lageado; PA – Panga; MA – Marimbondo; AR – Areia; CB - Capim Branco; SJ - São José; CA – Sucupira Cassu; TB - Terra Branca; BO - Bons Olhos; LI – Liso; LO – Lobo; OL – Óleo.

Os dois primeiros eixos da RDA explicaram 73,69% da variância nos dados das variáveis, sendo 50,13% explicado pelo eixo 1 e 23,56% pelo eixo 2 (Figura 4).

No diagrama da RDA, foi possível verificar que os vetores dos parâmetros biológicos (abundância, riqueza, H' e J') apresentaram grande comprimento e que os córregos LI, OL, CB, SJ, AR e CA apresentaram distribuição no mesmo sentido dos vetores dos parâmetros biológicos, o que denota alta associação entre os pontos e estes parâmetros, uma vez que o comprimento dos vetores é proporcional à sua importância. Quanto aos vetores dos metais, os parâmetros biológicos, com exceção de J', ficaram na mesma direção do vetor de Fe e aproximadamente perpendiculares aos vetores de Ni, Mn e Cu.

Os córregos PA, BO, TB, LO, CL se distribuíram na mesma direção do vetor do parâmetro J', porém tiveram distribuição oposta aos vetores riqueza, abundância e H', por terem apresentado os valores mais baixos destes parâmetros. O córrego MA apresentou distribuição oposta a todos os parâmetros biológicos, mas este padrão se deve principalmente à sua relação fortemente positiva com os metais Ni, Mn e Cu, ou seja, que neste córrego as concentrações destes metais foram elevadas.

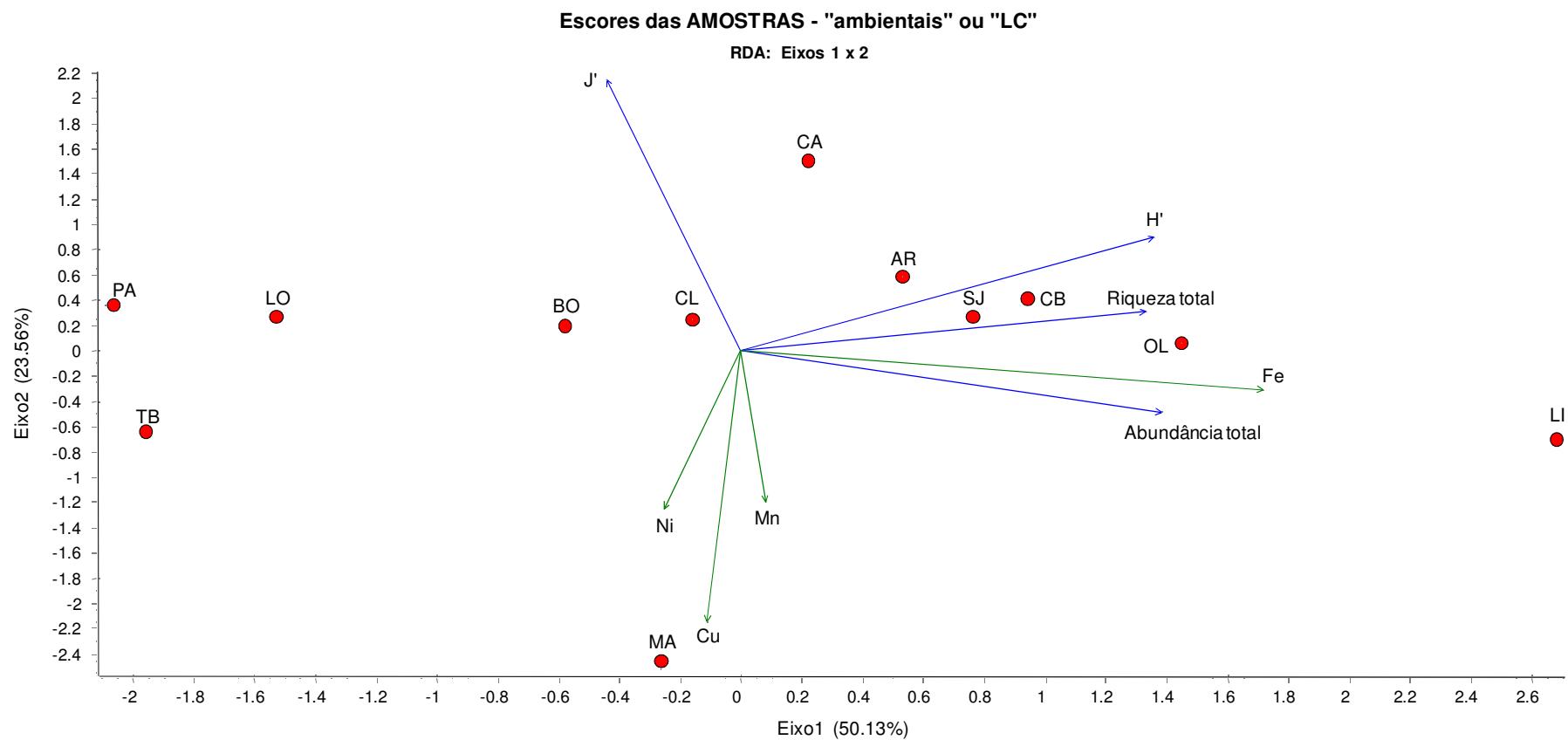


Figura 4. Diagrama de Ordenação dos pontos através da Análise Canônica de Redundância (RDA), considerando as concentrações de metais pesados e os parâmetros biológicos (riqueza de gêneros, abundância,  $H'$  e  $J'$ ). Legenda: OL – Óleo; SJ - São José; CA – Sucupira Cassu; AR – Areia; BO - Bons Olhos; LO – Lobo; CL - Cabeceira do Lageado, PA – Panga; CB - Capim Branco; MA – Marimbondo; TB - Terra Branca; LI – Liso;  $H'$  – índice de diversidade de Shannon-Wiener;  $J'$  – índice de equidade de Pielou; Fe – ferro; Cu - cobre; Mn – manganês; Ni – níquel.

Na análise de correspondência canônica (CCA), os dois primeiros eixos explicaram 21,7% da variância nos dados das variáveis analisadas. No diagrama desta análise, os gêneros que tiveram maior proximidade aos vetores dos metais Fe, Mn, Cu e Zn foram *Erythrodiplax*, *Tramea*, *Orthemis*, Coenagrionidae não identificado (NI), *Dythemis*, *Argia* e *Phyllocycla*. Os táxons *Progomphus*, *Perithemis*, *Anathya* e Libellulidae não identificado (NI) tiveram maior proximidade aos vetores de Ni. Por outro lado, os táxons *Oxyagrion*, *Aeschnosoma*, *Neocordulia*, *Elasmothemis*, *Castoraeschna*, *Mnesarete*, *Zonophora*, *Gomphoides*, *Phyllogomphoides* e Cordulidae não identificado (NI) distribuíram-se mais distantes dos metais pesados, ficando próximos aos córregos OL, SJ, AR, CA, CL e PA, córregos estes em que foram registradas, em geral, as menores concentrações de metais pesados (Figura 5 e Tabela III).

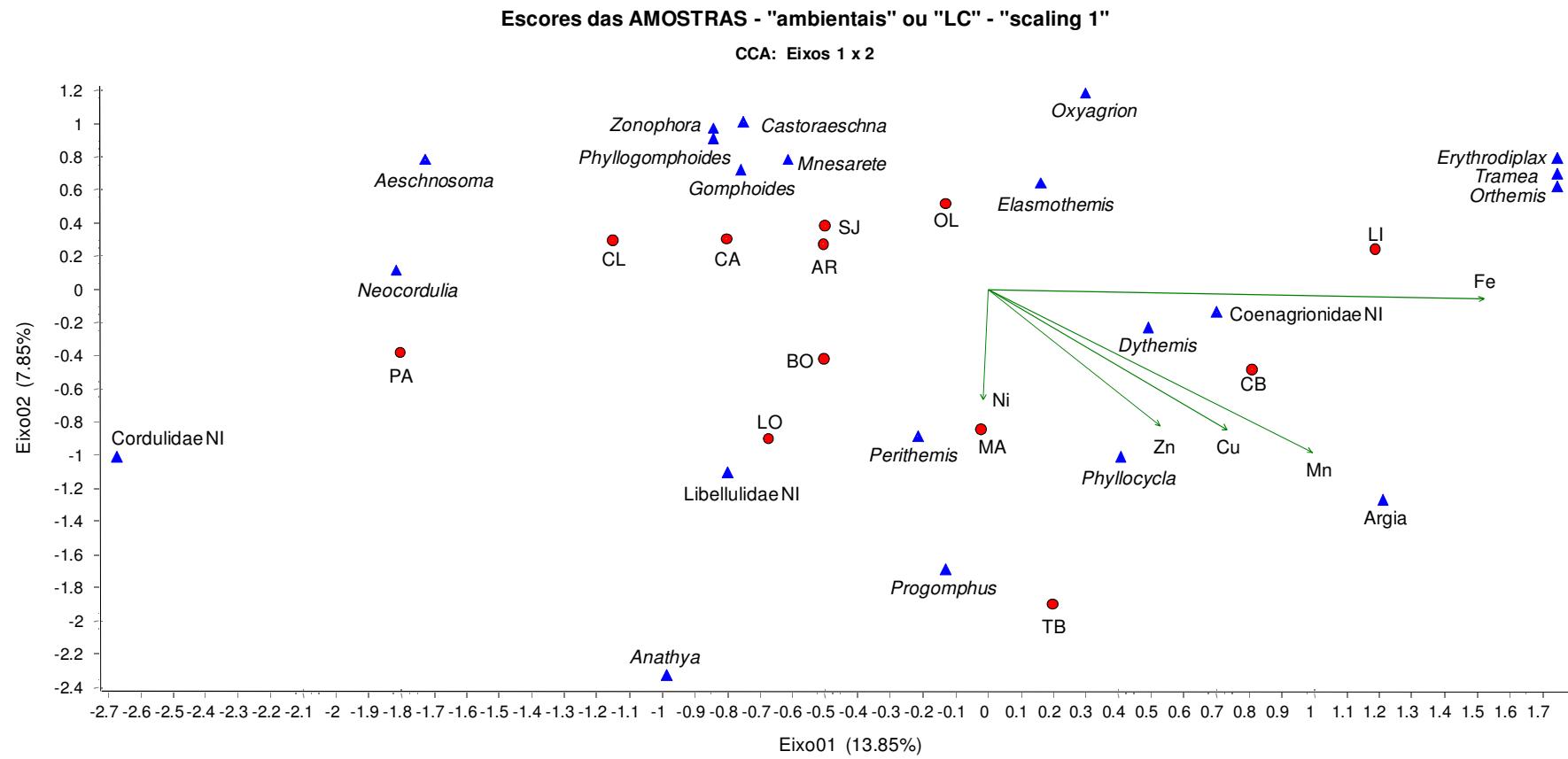


Figura 5. Diagrama de Ordenação dos dois primeiros eixos da Análise de Correspondência Canônica (CCA), considerando as concentrações de metais pesados e os gêneros de Odonata nos córregos pesquisados. Legenda: OL – Óleo; SJ - São José; CA – Sucupira Cassu; AR – Areia; BO - Bons Olhos; LO – Lobo; CL - Cabeceira do Lageado, PA – Panga; CB - Capim Branco; MA – Marimbondo; TB - Terra Branca; LI – Liso; Fe – ferro; Cu - cobre; Mn – manganês; Ni – níquel.

Tabela III. Correlações entre os táxons e os dois primeiros eixos da CCA, nos córregos pesquisados.

Táxons	Eixo 1	Eixo 2
<i>Castoraeschna</i>	-0,752	1,012
<i>Mnesarete</i>	-0,615	0,784
<i>Oxyagrion</i>	0,297	1,185
<i>Argia</i>	1,212	-1,271
Coenagrionidae NI	0,701	-0,136
Cordulidae NI	-2,703	-1,011
<i>Neocordulia</i>	-1,817	0,115
<i>Anathya</i>	-1,011	-2,388
<i>Aeschnosoma</i>	-1,726	0,786
<i>Phyllocycla</i>	0,408	-1,013
<i>Phyllogomphoides</i>	-0,843	0,912
<i>Gomphoides</i>	-0,758	0,723
<i>Progomphus</i>	-0,132	-1,688
<i>Zonophora</i>	-0,842	0,970
<i>Elasmothemis</i>	0,160	0,645
<i>Tramea</i>	1,777	0,643
<i>Erythrodiplax</i>	1,777	0,643
Libellulidae NI	-0,799	-1,104
<i>Dythemis</i>	0,489	-0,230
<i>Orthemis</i>	1,777	0,643
<i>Perithemis</i>	-0,216	-0,883

## 1.4 DISCUSSÃO

Os córregos LI e OL apresentaram os maiores valores de abundância, sendo que a família Libellulidae teve contribuição importante para estes valores, o que pode ser verificado pelas altas porcentagens. Ao longo destes córregos, são visíveis processos de assoreamento e erosão das margens e suas áreas são, em sua maioria, desprovidas de

vegetação ciliar (FARIAS et al., 2009, ROSOLEN et al., 2009). Osborn; Samways (1996) verificaram que a presença reduzida de vegetação ripária, ao mesmo tempo em que promove queda na riqueza de muitas espécies sensíveis, pode favorecer a dominância de indivíduos que necessitam destas condições, como várias espécies da família Libellulidae. Segundo May (1991), em invertebrados com padrão corporal grande, como é o caso de Libellulidae, a termorregulação é realizada possivelmente pela radiação solar, portanto esta família tende a ser mais encontrada em áreas abertas. Dalzochio et al. (2011), pesquisando aspectos da distribuição de Odonata na região da Serra da Bodoquena, registraram elevada ocorrência de Libellulidae, dado que a maioria de suas áreas de amostragem eram circundadas principalmente por áreas abertas (pastagens) e por florestas ripárias degradadas. Corbi (2006) também verificou que, em córregos sem vegetação ripária, houve maior quantidade de larvas de Odonata, principalmente da família Libellulidae. Ferreira-Peruquetti; Fonseca-Gessner (2003) verificaram que muitos gêneros, também pertencentes à família Libellulidae, apresentaram preferência por habitats degradados, o que também ocorreu no presente estudo.

Os maiores valores de riqueza e do índice de diversidade ( $H'$ ) no córrego SJ e do índice de equidade ( $J'$ ) em CA podem estar associados às características destes córregos, que apresentam margens íntegras e estáveis, sem sinais de erosão e/ou assoreamento do leito, e vegetação ripária preservada. Segundo Conrad et al. (1999); Jonsen; Taylor (2000), tanto larvas quanto adultos de Odonata possuem preferência pela continuidade de habitats naturais para seu movimento e sobrevivência. De acordo com Moore; Chutter (1988), a vegetação marginal serve como importante biótopo às larvas de Odonata, uma vez que promove o aumento da heterogeneidade ambiental. Segundo Hart (1978) e O'Connor (1991), a complexidade estrutural do substrato permite uma maior disponibilidade de recursos e habitats, o que favorece o estabelecimento de um maior número de espécies, resultando consequentemente em elevados índices de diversidade.

Por outro lado, os altos valores de  $H'$  em LI e OL não traduziram a realidade destes córregos, uma vez que estes estão sujeitos a uma série de perturbações antrópicas em função da alta urbanização do entorno. Este resultado pode ter sido influenciado pelos altos valores de abundância nestes córregos, pois, para o cálculo de  $H'$ , são consideradas a abundância e a riqueza de táxons. Quanto ao índice de equidade de

Pielou ( $J'$ ), seu valor foi coerente para o córrego CA, que apresentou uma distribuição e abundância de táxons de maneira mais equitativa. Por outro lado, os altos valores de  $J'$  registrados nos córregos BO e LO, sob influência de urbanização, não condizem com a realidade amostrada nestes córregos, em que os valores de abundância e riqueza foram baixos.

Os córregos LI, OL, BO e LO caracterizam-se por áreas desmatadas e de intensa urbanização, sujeitas ao lançamento dos mais diversos tipos de efluentes, tanto domésticos quanto industriais, que podem provocar inúmeros impactos nos cursos d'água (GUIMARÃES, 2008; BRUNO, 2011). Segundo Milam (2001), a perda de habitats terrestres adjacentes é uma ameaça à maioria dos representantes da ordem Odonata e, de acordo com Conrad et al. (1999) e Jonsen; Taylor (2000), os representantes da ordem Odonata respondem negativamente à fragmentação de habitats, a modificações hidrológicas e alterações nas propriedades físico-químicas da água. De acordo com TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI (2008), certas condições como baixas concentrações de oxigênio podem selecionar as comunidades bióticas, sobrevivendo apenas organismos mais tolerantes, que não requerem águas limpas e bem oxigenadas (MEDEIROS; ROCHA, 1997).

A análise de cluster promoveu a formação de dois grupos e de um córrego isolado. Em um dos grupos - formado pelos córregos SJ, BO, AR, CL, LO e OL - foram registradas, em geral, as menores concentrações de metais pesados. Nestes córregos a presença de vegetação ripária foi mais evidente, o que vem ao encontro de observações de Corbi (2006), que registraram baixos valores de metais pesados em áreas com vegetação preservada. No outro grupo - formado pelos córregos PA, CB, LI, TB, CA - foram registradas concentrações elevadas de metais nos sedimentos e o córrego MA, que ficou isolado no diagrama, apresentou as maiores concentrações de Cu, Zn, Ni e a segunda maior concentração de Mn. As altas concentrações nestes córregos estão relacionadas à forte influência de atividades agropecuárias em seu entorno, que incluem desmatamento da vegetação e uso de agrotóxicos e fertilizantes em seus sistemas, nos quais são adicionadas importantes quantidades de metais pesados (NRIAGU; PACYNA, 1988; SILVA, 2005). De acordo com Johnson et al. (1997), a intensidade de uso do solo pode alterar a estrutura dos canais d'água, afetando não só a qualidade da água em termos físicos e químicos, como também influenciando a

distribuição de Odonata, uma vez que suas larvas são sensíveis à variação da qualidade da água (CLAUSNITZER et al., 2009).

A comparação dos resultados das concentrações de metais com a tabela de valores-guia confirma o padrão observado pela análise de cluster para quase todos os córregos que apresentaram elevadas concentrações (LI, TB, CA, MA), uma vez que estes apresentaram valores acima de TEL e/ou PEL para os metais Cu, Zn e Ni. Embora estes metais sejam considerados essenciais e façam parte do metabolismo da maior parte dos seres vivos, em altas concentrações podem representar riscos ao ecossistema (LAMPARELLI, 2001). Kiffney; Clements (1993), por exemplo, observaram mudanças significativas em comunidades de invertebrados expostas a concentrações críticas de Cu e Zn. Abel (1989) incluiu os metais Cu, Zn e Ni em uma lista de toxicidade para organismos aquáticos, cuja ordem decrescente, também com outros metais, foi a seguinte: Hg, Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Al, and Co.

O córrego CA, apesar de situado em área de reserva, possui mais da metade de sua área de entorno destinada ao cultivo de cana-de-açúcar, portanto o elevado valor de Ni deve estar relacionado ao aporte de substâncias oriundas da cultura da cana para os cursos d'água. O desmatamento de áreas para cultivo propicia a entrada de metais no ambiente aquático de produtos lixiviados advindos de áreas com atividade agrícola, além de causar impactos, como redução no poder de dissipaçāo da energia erosiva, perda de produtividade, biodiversidade, dentre outros (FEARNSIDE, 2005; CORBI et al., 2006). Segundo Beasley; Kneale (2002), a presença de metais pesados pode ter efeitos negativos sobre a vida aquática, como declínio de taxas de crescimento e reprodução, redução do tamanho de populações e mudanças na estrutura de comunidades.

Nos córregos MA, TB, LI e CB, além da agricultura, há extensas áreas de pastagem em seu entorno. Segundo Maier (1987), desmatamentos para abertura de pastagens e conseqüentes processos erosivos podem contribuir para a degradação de cursos d'água e a contaminação de sedimentos, além de interferir na sobrevivência da fauna associada. Lee Foote; Hornung (2005) verificaram que tanto larvas quanto adultos de Odonata podem servir como indicadores biológicos acerca do impacto da criação de gado e do pisoteamento sobre a vegetação de cursos d'água adjacentes e a comunidade bentônica. Seus resultados sugerem que as atividades de pastagem prejudicam as larvas de Odonata pela remoção de refúgios contra predação – como a vegetação emergente –

ou por meio da alteração de habitats para oviposição, pois, mesmo que os adultos de Odonata estejam próximos aos cursos d'água, estes não necessariamente encontram habitats adequados para oviposição.

Apesar das maiores concentrações de ferro terem sido registradas nos córregos CB, LI, TB e CA, este metal apresentou altas concentrações em praticamente todos os pontos amostrados, indicando que o tipo de solo da região, predominantemente Cerrado, é rico neste metal. Segundo Walter (2006), grande parte do bioma Cerrado está recoberta por crostas ferruginosas, lateríticas, que em mistura com material quartzítico formam solos areno-argilosos, muito pobres em nutrientes e com altos teores de óxidos de ferro. Segundo Barreto (1999), o ferro é um elemento muito frequente na superfície da Terra e consequentemente seus compostos são encontrados em praticamente todos os corpos d'água. Este padrão também foi observado por Corbi et al. (2006), em que o ferro apresentou-se em elevadas concentrações em todos os córregos, relacionando-se ao tipo de solo da região estudada.

Os resultados da RDA, em que os vetores dos metais ficaram relativamente próximos ou na mesma direção dos vetores dos parâmetros biológicos, sugerem que os parâmetros analisados das assembleias não fornecem indicadores adequados acerca da qualidade de sedimentos dos córregos pesquisados. Outra possibilidade é que os valores de concentração de metais no sedimento e as diferenças dessas concentrações entre os córregos não foram suficientes para gerar alterações estruturais perceptíveis nas assembleias de Odonata. Masson et al. (2010), investigando relações entre a estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos e parâmetros abióticos, constataram que granulometria, carbono orgânico dissolvido, concentrações de nitrogênio e fósforo e concentrações de enxofre no sedimento explicaram mais claramente alterações na abundância e riqueza de comunidades do que concentrações de metais no sedimento, a qual teve baixa influência sobre tais alterações. Além disso, alguns estudos já indicaram que as condições do habitat também podem exercer maior influência do que a contaminação de sedimentos sobre a estrutura de comunidades de macroinvertebrados como, por exemplo, a biomassa de macrófitas aquáticas, a penetração de luz solar e a concentração de nutrientes na coluna d'água, dentre outros (CLEMENTS et al., 1992; GOWER et al., 1994; TESSIER et al., 2008).

A CCA indicou que a maioria dos gêneros de Odonata apresentou, no diagrama, distribuição oposta aos vetores dos metais pesados. Este padrão pode indicar que

*Oxyagrion*, *Aeschnosoma*, *Neocordulia*, *Elasmothemis*, *Castoraeschna*, *Mnesarete*, *Zonophora*, *Gomphoides*, *Phyllogomphoides* e *Cordulidae* NI tendem a responder indiretamente à concentração de metais pesados, uma vez que são sensíveis a ambientes degradados e com pouca vegetação ciliar, e que consequentemente podem conter maior quantidade de metais no sedimento devido ao carreamento de substâncias tóxicas aos cursos d'água. De acordo com Lenz (1991) e Müller et al. (2003), as larvas de Odonata são indicadores sensíveis de mudanças estruturais de seus habitats e de mudanças na qualidade da água causadas por fatores bióticos e/ou abióticos. Foi constatado, também, que a maioria dos táxons supracitados ocorreu em córregos sob menor influência de atividades antrópicas e onde foram registradas baixas concentrações de metais pesados (SJ, CL e PA), o que denota que áreas mais preservadas favorecem uma maior ocorrência desses táxons (JONSEN; TAYLOR, 2000).

A CCA também indicou que os táxons *Erythrodiplax*, *Orthemis*, *Tramea*, *Dythemis*, *Phylocycla*, *Argia*, *Perithemis*, *Anathya*, *Progomphus*, *Coenagrionidae* NI e *Libellulidae* NI apresentaram distribuição na mesma direção dos vetores Zn, Mn, Cu, Fe e Ni. Estes táxons, sendo a grande maioria pertencente à família Libellulidae, foram mais abundantes em córregos sujeitos a maior influência antrópica. Ferreira-Peruquetti; Fonseca-Gessner (2003) verificaram, por exemplo, que os gêneros *Erythrodiplax*, *Orthemis* e *Tramea* apresentaram preferência por habitats degradados, o que também ocorreu no presente estudo.

## 1.5 CONCLUSÃO

Nos córregos com atividades predominantemente agropecuárias no entorno, foram registradas as maiores concentrações de metais pesados, indicando que estes córregos são fortemente influenciados por atividades que adotam, em geral, produtos que levam metais pesados em sua composição, como fertilizantes e agrotóxicos, e consequentemente são carreados para os cursos d'água adjacentes, podendo afetar a biota associada.

Os resultados também permitiram verificar que alguns gêneros de Odonata estiveram presentes apenas em córregos mais íntegros, sob menor influência de atividades antrópicas, com margens estáveis e vegetação ripária predominante, denotando uma relação de dependência de organismos com a qualidade do habitat.

No entanto, a fraca relação entre os parâmetros biológicos (riqueza, abundância, H' e J') e a presença dos metais pesados no sedimento de córregos indica que a estrutura das assembleias de Odonata pode não ter sido um indicador tão bom da contaminação de metais pesados quanto poderia ser para outros parâmetros ambientais. Nesse sentido, para que seja possível a visualização de resultados mais significativos, sugere-se que sejam feitas comparações entre córregos que apresentem diferenças mais evidentes de concentração de metais pesados no sedimento. Além disso, propõe-se que pesquisas futuras considerem a avaliação de outras variáveis ambientais como as características do habitat, a carga de nutrientes na coluna d'água e/ou à concentração de oxigênio dissolvido e sua relação com a fauna de Odonata.

## **1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABEL, P. D. **Water pollution biology.** Chichester: Ellis Horwood, 1989.

ALLAN, J. D. **Stream ecology: structure and function of running waters.** London: Chapman & Hall, 388p., 1995.

BAPTISTA, D. F. Uso de macroinvertebrados em procedimentos de biomonitoramento em ecossistemas aquáticos. **Oecologia brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.12, n.3, p. 425-441, 2008.

BARRETO, A. S. **Estudo da distribuição de metais em ambiente lótico, com ênfase na assimilação pelas comunidades biológicas e na sua quantificação no sedimento e na água.** 276f. Tese de Doutorado (Escola de Engenharia de São Carlos). Universidade de São Paulo, 1999.

BEASLEY, G.; KNEALE, P. Reviewing the impact of metals and PAHs on macroinvertebrates in urban watercourses. **Progress in Physical Geography**, v. 26, p. 236-270, 2002.

BEDÊ, L. C.; MACHADO, A. B. M. Diagnóstico da condição ambiental em ambientes úmidos na região do Parque Nacional da Serra da Canastra-MG, utilizando libélulas como indicadores ecológicos. **Relatório final.** Ministério do Meio Ambiente, 2002.

BROWN JR., K. S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. **Journal of Insect Conservation**, Birmingham, v. 1, n. 1, p. 25-42, 1997.

BRUNO, C. G. C. **Avaliação da qualidade de cursos d'água: uma abordagem comparativa utilizando-se comunidades de macroinvertebrados bentônicos e parâmetros ambientais.** Monografia (Especialização em Gestão de Recursos Hídricos). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2011.

CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A. Distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um ecossistema amazônico impactado por rejeito de bauxita. Lago Batata (Pará, Brasil). **Oecologia Brasiliensis**, v.1, p. 335-348, 1995.

CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A. Categorização funcional dos macroinvertebrados bentônicos em quatro ecossistemas lóticos sob influência das atividades de uma mineração de bauxita na Amazônia central (Brasil). In: NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (Ed.). **Ecologia de insetos aquáticos**. Rio de Janeiro, PPGE-UFRJ, Series Oecologia Brasiliensis, v. 5, 309p., 1998.

CALLISTO, M. Macroinvertebrados bentônicos. In: BOZELLI, R. L., ESTEVES, F. A.; ROLAND, F. (Ed.). **Lago Batata: impacto e recuperação de um ecossistema amazônico**. Rio de Janeiro, Instituto de Biologia - SBL, p.139-152, 2000.

CARVALHO, A. L.; NESSIMIAN, J. L. Odonata do estado do Rio de Janeiro, Brasil: Habitats e hábitos das larvas. In: NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (Ed.). **Ecologia de insetos aquáticos**. Série Oecologia Brasiliensis. Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, p. 3-28, 1998.

CARVALHO, A. L.; CALIL, E. R. Chaves de identificação para as famílias de Odonata (Insecta) ocorrentes no Brasil, adultos e larvas. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 41, n. 15, p. 223-241, 2000.

CID, N.; IBÁÑEZ, C.; PALANQUES, A.; PRAT, N. Patterns of metal bioaccumulation in two filter-feeding macroinvertebrates: Exposure distribution, inter-species differences and variability across developmental stages. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 2795–2806, 2010.

CLAUSNITZER, V.; KALKMAN, V. J.; RAM, M.; COLLEN, B.; BAILLIE, J. E. M.; BEDJANI, M.; DARWALL, W. R. T.; DIJKSTRA, K. D.; DOW, R.; HAWKING, J.; KARUBE, H.; MALIKOVA, E.; PAULSON, D.; SCHÜTTE, K.; SUHLING, F.; VILLANUEVA, R.; VON ELLENRIEDER, N.; WILSON, K. Odonata enter the

biodiversity crisis debate: the first global assessment of an insect group. **Biological Conservation**, v. 142, n. 8, p. 1864-1869, 2009.

CLEMENTS, W. H. Community responses of stream organisms to heavy metals: A review of observational and experimental approaches. In: NEWMAN, M. C.; MCINTOSH, A. W. (Ed.). **Metal Ecotoxicology: Concepts & Applications**. Chelsea: Lewis Publishers, 399p., 1991.

CLEMENTS, W. H.; CHERRY, D. S.; VAN HASSEL, J. H. Assessment of the impact of heavy metals on benthic communities at the Clinch River (Virginia): evaluation of an index of community sensitivity. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 49, p.1686-1694, 1992.

CONRAD, K. F.; WILLIAMS, K. H.; HARVEY, I. F.; THOMAS, C. J.; SHERRATT, T. N. Dispersal characteristics of seven odonate species in an agricultural landscape. **Ecography**, v. 22, p.524-531, 1999.

CORBET, P. S. Biology of Odonata. **Annual Reviews of Entomology**, v. 25, p. 189-217, 1980.

CORBET, P. S. **A biology of dragonflies**. London: Classey, 247p., 1983.

CORBET, P. S. **Dragonflies: Behaviour and ecology of Odonata**. Essex: Harley Books, 829p., 1999.

CORBI, J. J. **Influência de práticas de manejo de solo sobre os macroinvertebrados aquáticos de córregos: ênfase para o cultivo de cana-de-açúcar em áreas adjacentes**. 92p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, SP, 2006.

CORBI, J. J.; TRIVINHO-STRIXINO, S.; SANTOS, A.; DEL GRANDE, M. Diagnóstico ambiental de metais e organoclorados em córregos adjacentes a áreas de

cultivo de cana-de-açúcar (estado de São Paulo, Brasil). **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 61-65, 2006.

CORBI, J. J.; TRIVINHO-STRIXINO, S. Relationship between sugar cane cultivation and stream macroinvertebrate communities. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 51, n. 4, p. 769-779, 2008.

COSTA, J. M., SOUZA, L. O. I., OLDRINI, B. B. Chave para a identificação das famílias e gêneros das larvas conhecidas de Odonata do Brasil: Comentários e registros bibliográficos. **Publicações Avulsas do Museu Nacional**, n. 99, p. 1-44, 2004.

CUMMINS, K. W.; MERRITT, R. W. Application of invertebrate functional feeding and habitat groups to wetland ecosystem function and biomonitoring. In: RADER, R. B.; BATZER, D. P.; WISSINGER, S. (Ed.). **Biomonitoring and management of North American freshwater wetlands**. NY: John Wiley & Sons Inc., 376p., 2001.

D'AMICO, F.; DARBLADE, S.; AVIGNON, S.; BLANC-MANEL, S.; ORMEROD, S. J. Odonates as indicators of shallow lake restoration by liming: comparing adult and larval responses. **Restoration Ecology**, v. 12, n. 3, p. 439-446, 2004.

DALZOCHIO, M. S.; COSTA, J. M.; UCHÔA, M. A. Diversity of Odonata (Insecta) in lotic systems from Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 1, p.88–94, 2011.

DOHERTY, S. M.; COHEN, M.; LANE, C.; LINE, L.; SURDICK, J. **Biological criteria for inland freshwater wetlands in Florida: a review of technical and scientific literature (1990-1999)**. Report to the United States Environmental Protection Agency, Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 2000.

ELTJON, H.; ANILA, P.; DRITAN, T.; KASTRIOT, M. The impact of environmental conditions on the biodiversity of aquatic insects, Odonata, from aquatic ecosystems of Karavasta and Spillea, in Albania. **BALWOIS 2010**. International Scientific

Conference on Water, Climate and Environment: Ohrid, Republic of Macedonia, 139p., 2010.

EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação dos solos-EPAMIG (Belo Horizonte, MG). Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. **Boletim de pesquisa**, Rio de Janeiro, n. 1, p. 34-43, 1982.

FARIAS, E. M. C.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, M. S. M.; SOUZA, M. M. O.; SOARES, A. M. O córrego do Óleo em Uberlândia-MG: caracterização e condições de conservação ambiental. **Revista da Católica**, Uberlândia, v. 1, n. 2, p. 105-118, 2009.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 113-123, 2005.

FERREIRA-PERUQUETTI, P. S.; DE MARCO JR, P. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 2, p. 317-327, 2002.

FERREIRA-PERUQUETTI, P. S. F. **Odonata (libélulas) do município de Luís Antônio, São Paulo, Brasil: Relação com o solo e riqueza faunística**. 49f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, 2004.

FERREIRA-PERUQUETTI, P. S.; FONSECA-GESSNER, A. A. Comunidade de Odonata (Insecta) em áreas de cerrado e monocultura no nordeste do Estado de São Paulo, Brasil: relação entre o uso do solo e a riqueza faunística. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 2, 2003.

FREIRE, M. M.; SANTOS, V. G.; GINUINO, I. S. F.; ARIAS, A. R. L. Biomarcadores na avaliação da saúde ambiental dos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 347-354, 2008.

GOULART, M. D.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista FAPAM**, Pará de Minas, n.2, p.153-163, 2003.

GOWER, A. M.; MYERS, G.; KENT, M.; FOULKES, M. E. Relationships between macroinvertebrate communities and environmental variables in metal-contaminated streams in south-west England. **Freshwater Biology**, v. 32, p.199–221, 1994.

GRAY, J. S. Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. **Biodiversity and Conservation**, v. 6, p. 153– 175, 1997.

GUIMARÃES, R. M. **Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade ambiental de afluentes do Rio Uberabinha, Uberlândia - MG.** 99 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

GUIMARÃES, R. M.; FACURE, K. G.; PAVANIN, L. A.; JACOBUCCI, G. B. Water quality characterization of urban streams using benthic macroinvertebrate community metrics. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 21, n. 2, p. 217-226, 2009.

HART, D. D. Diversity in stream insects: regulation by rock size and microspatial complexity. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 20, p. 1376-1381, 1978.

HELGEN, J. C.; GERNES, M. C. Monitoring the condition of wetlands: indexes of biological integrity using invertebrates and vegetation. In: RADER, R. B.; BATZER, D. P.; WISSINGER, S. (Ed.). **Biomonitoring and management of North American freshwater wetlands.** NY: John Wiley & Sons Inc., 376p., 2001.

HILTON, D. F. J. Dragonflies (Odonata) of Cypress Hills Provincial Park, Alberta and their biogeography significance. **Canadian Entomology**, v. 117, p. 1127-1136, 1985.

JOHNSON, L. B.; RICHARDS, C.; HOST, G.; ARTHUR, J. W. Landscape influences on water chemistry in Midwest stream ecosystems. **Freshwater Biology**, London, v. 37, p. 193-208, 1997.

JONSEN, I. D.; TAYLOR, P. D. Fine-scale movement behaviors of Calopterygid damselflies are influenced by landscape structure: An experimental manipulation. **Oikos**, v. 88, p. 1-9, 2000.

KALKMAN, V. J.; CLAUSNITZER, V.; DIJKSTRA, K. D. B.; ORR, A. G.; PAULSON, D. R.; VAN TOL, J. Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, p. 351–363, 2008.

KARR, J. Biological integrity: a long neglected aspect of water resource management. **Ecological Applications**, v. 1, n. 1, p. 66-84, 1991.

KIFFNEY, P. M.; CLEMENTS, W. H. Bioaccumulation of heavy metals by benthic invertebrates at the Arkansas River, Colorado. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 12, p. 1507-1517, 1993.

KREBS, C. J. **Ecological Methodology**. New York: Harper Collins, 652p., 1989.

LAMPARELLI, M. L.; COSTA, M. P.; PRÓSPERI, V. A.; BEVILÁCQUA, J. E.; ARAÚJO, R. P. A.; EYSINK, G. G. L.; POMPÉIA, S. Sistema Estuarino de Santos e São Vicente. **Relatório Técnico CETESB**. São Paulo, 2001.

LEE FOOTE, A.; HORNUNG, C. L. R. Odonates as biological indicators of grazing effects on Canadian prairie wetlands. **Ecological Entomology**, v. 30, n. 3, p.273–283, 2005.

LENZ, N. The importance of abiotic and biotic factors for the structure of odonate communities of ponds (Insecta: Odonata). **Faunistisch-Ökologische Mittelungen Kiel**, v. 6, p.175–189, 1991.

LINDEGARTH, M.; UNDERWOOD, A. J. A manipulative experiment to evaluate predicted changes in intertidal, macro-faunal assemblages after contamination by heavy metals. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 274, p. 41– 64, 2002.

MAIER, M. H. Ecologia da Bacia do Rio Jacaré Pepira: qualidade da água do rio principal. **Ciência e cultura**, Campinas, v. 39, n. 2, p.164-185, 1987.

MASSON, S.; DESROSIERS, M.; PINEL-ALLOUL, B.; MARTEL, L. Relating macroinvertebrate community structure to environmental characteristics and sediment contamination at the scale of the St. Lawrence River. **Hydrobiologia**, v. 647, p. 35-50, 2010.

MAY, M. L. Thermal adaptations of dragonflies. **Odonatologica**, v. 5, p.71-88, 1991.

MEDEIROS, M. B.; ROCHA, A. J. A. Caracterização das comunidades de macroinvertebrados bentônicos do córrego Riacho Fundo - Brasília/DF, visando a utilização destas como bioindicadores de ambientes alterados. In: LEITE, L. L.; SAITO, C. H. (Org.). **Contribuição ao Conhecimento Ecológico do Cerrado**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, p. 135-141, 1997.

METCALFE, J. L. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrates communities: history and present status in Europe. **Environmental Pollution**, v. 60, p. 101-139, 1989.

MILAM, J. Ode to odonates: Dragonflies and damselflies in distress. **National Wetlands Newsletter**, v. 23, n. 3, p. 3-4, 24-25, 2001.

MOORE, C. A.; CHUTTER, F. M. **A survey of the conservation status and benthic biota of the major rivers of the Kruger National Park**. Contract report. National Institute for Water Research, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, 1988.

MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. (Eds). **Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce.** Cubo editora, 224p., 2006.

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Technical Books, 1.ed., 176 p., 2010.

MÜLLER, Z.; JAKAB, T.; TÓTH, A.; DÉVAI, G. Y.; SZÁLLASSY, N.; KISS, B.; HORVÁTH, A. Effect of sports fisherman activities on dragonfly assemblages on a Hungarian river foodplain. **Biodiversity and Conservation**, v.11, p.167–179, 2003.

NRIAGU, J. O.; PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace elements. **Nature**, v. 333, p.134-139, 1988.

O`CONNOR, N. A. The effects of habitat complexity on the macroinvertebrates colonising wood substrates in a lowland stream. **Oecologia**, v. 85, p. 504-512, 1991.

OSBORN, R.; SAMWAYS, M. J. Determinants of adult dragonfly assemblage patterns at new ponds in South Africa. **Odonatologica**, v. 25, p.49-58, 1996.

PETERSON, R. C. J. Population and guild analysis for interpretation of heavy metal pollutionin streams. In: CAIRNS JR, J. (Ed.) **Community Toxicity Testing.** American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Spec Tech Publ. 920 p., 1986.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. (Ed.). **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates.** New York: Chapman Hall, p. 1-9, 1993.

ROSOLEN, V.; HERPIN, U.; COELHO, N. M. M.; COELHO, L. M.; BRITO, J. L. S.; SILVA, L. A.; LIMA, S. C. Qualidade dos sedimentos no rio Uberabinha (Uberlândia,

MG) e implicações ambientais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 151-159, 2009.

SANTOS, A. **Distribuição de metais no reservatório de captação de água superficial Anhumas Américo Brasiliense - SP.** 147f. Tese (Doutorado em Química Analítica). Universidade de São Paulo, 1999.

SHEPHERD, G. J. **FITOPAC 2: manual do usuário.** Campinas: UNICAMP, 2004. 91p.

SILVA, A. M. **Avaliação ecotoxicológica do agrotóxico permethrina através de ensaios de toxicidade com invertebrados aquáticos.** 162f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear-Materiais). São Paulo, 2005.

TER BRAAK, C.J.F.; ŠMILAUER, P. **CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide:** Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, NY, USA, 2002.

TESSIER, C.; CATTANEO, A.; PINEL-ALLOUL, B.; HUDON, C.; BORCARD, D. Invertebrate communities associated with metaphyton and emergent and submerged macrophytes in a large river. **Aquatic Sciences**, v. 70, p.10-20, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo, Oficina de textos, 631p., 2008.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas.** Tese de Doutorado (Ecologia). Universidade de Brasília, 2006.

WHILES, M. R.; WALLACE, J. B. Leaf litter decomposition and macroinvertebrate communities in headwater streams draining pine and hardwood catchments. **Hydrobiologia**, v. 353, p. 107-119, 1997.

## **CAPÍTULO 2. Avaliação da contaminação de córregos de Cerrado por metais pesados utilizando-se sedimento e larvas de Odonata como indicadores**

### **RESUMO**

A concentração de metais pesados tem aumentado de forma generalizada nos corpos d'água em níveis que ameaçam a biota aquática. Uma vez lançados no ambiente, podem desencadear uma série de interações, as quais podem resultar em diferentes formas de ação sobre a biota e provocar efeitos deletérios quando níveis elevados são atingidos. Os objetivos desta pesquisa foram avaliar a acumulação dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn e Ni no sedimento e em larvas de Odonata de córregos de áreas de Cerrado, comparar a contaminação dos córregos pelos metais pesados, utilizando-se o sedimento e as larvas e avaliar o potencial de bioacumulação dos metais pesados pelas larvas de Odonata utilizando-se o fator de bioacumulação (BAF). Foram estudados sete córregos, nos quais foram selecionados trechos de 100 metros para as coletas, que ocorreram entre os meses de abril e agosto de 2011. As coletas de sedimento foram feitas manualmente e das larvas foram realizadas com auxílio de rede tipo D. Somente larvas da família Gomphidae foram obtidas em quantidade suficiente para as análises de metais, e estas foram feitas por meio de espectrometria de emissão atômica com plasma induutivamente acoplado, enquanto o sedimento foi submetido à espectrofotometria de absorção atômica. Para comparar a contaminação dos córregos pelos metais pesados, foi feita uma Análise de Componentes Principais (PCA) para ordenar os pontos amostrados quanto à concentração de metais pesados no sedimento e nas larvas. Para avaliar o potencial de bioacumulação dos metais pesados pelas larvas foi calculado o fator de bioacumulação (BAF). Foram registradas elevadas concentrações de Mn, Cu, Zn e Fe no sedimento dos córregos Marimbondo, Terra Branca e Água Fria e elevadas concentrações de manganês nas larvas de Gomphidae dos córregos Marimbondo, Areia e Terra Branca, o que pode ter ocorrido por influência das diversas atividades agropecuárias da região de entorno. As altas concentrações de ferro no sedimento de Capim Branco, Terra Branca e Sucupira Cassu e de ferro e zinco nas larvas dos córregos Capim Branco, Sucupira Cassu e Marimbondo podem ter ocorrido por influência de cultivos de cana-de-açúcar no entorno. O cobre foi detectado apenas em larvas do córrego Terra Branca e sua presença pode estar relacionada ao aporte de efluentes domésticos de uma estação de tratamento de esgotos situada nas proximidades do

córrego. Houve baixa semelhança entre os padrões de distribuição dos diagramas de PCA para sedimento e larvas, o que indica importância de avaliações não só no sedimento, como também de organismos para obtenção de resultados mais amplos acerca da contaminação por metais pesados. O BAF mostrou uma tendência para bioacumulação de Zn e Mn pelas larvas de Gomphidae, indicando que estas são capazes de concentrar metais em seu organismo, podendo refletir a condição ambiental de onde vivem e assim servir como ferramentas importantes em estudos de biomonitoramento. Os resultados desta pesquisa ressaltam o potencial da ordem Odonata para estudos ambientais, uma vez que demonstraram ser capazes de refletir as condições de seus ambientes quanto à concentração de metais pesados.

**Palavras-chave:** libélulas, Gomphidae, fator de bioacumulação (BAF), biomonitoramento.

## **ABSTRACT**

The concentration of heavy metals has increased widely in water bodies at levels that threaten the aquatic biota. Once released into the environment, they can promote a series of interactions which may result in different forms of action on the biota and cause deleterious effects when at high levels. The aims of this research were to evaluate the accumulation of the heavy metals Cu, Zn, Fe, Mn and Ni in the sediment and in the larvae of Odonata of streams located in the Brazilian savanna, to compare stream contamination by heavy metals using the sediment and larvae and to assess the potential for bioaccumulation of heavy metals by the larvae of Odonata using the bioaccumulation factor (BAF). We studied seven streams, and for sampling we selected stretches of 100 meters on each stream. The samplings occurred between April and August 2011. The sediment were sampled manually and larvae were sampled using type D net. Only larvae of Gomphidae family were obtained in sufficient quantity for metal analysis, and these were made by means of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, while the sediment was subjected to atomic absorption spectrophotometry. To compare stream contamination by heavy metals, we made a Principal Component Analysis (PCA) to sort the sample points on the concentration of heavy metals in sediment and larvae. To assess the potential for bioaccumulation of heavy metals by the larvae we calculated the bioaccumulation factor (BAF). We recorded high concentrations of Mn, Cu, Zn and Fe in the sediment of streams Marimbondo, Terra Branca and Agua Fria and high concentrations of manganese in the larvae of the streams Marimbondo, Areia and Terra Branca, which may have occurred due to the influence of the various agricultural activities of the surrounding region. The high concentrations of iron in the sediment of the streams Capim Branco, Terra Branca and Sucupira Cassu and iron and zinc in the larvae of the streams Capim Branco, Sucupira Cassu, Gloria and Marimbondo may have been influenced by cultures of sugar cane in the surroundings. Copper was detected only in larvae of the stream Terra Branca, and its presence may be related to the contribution of domestic sewage from a sewage treatment plant located nearby the stream. There was low similarity between the distribution patterns of the PCA diagrams for the sediment and larvae, which indicates the importance of assessments not only in the sediment, but also in the organisms to obtain more reliable results on heavy metal contamination. The BAF showed a tendency of Zn and Mn bioaccumulation by Gomphidae larvae, indicating that these metals are

able to concentrate on its bodies, reflecting the environmental conditions where these organisms live and thus serving as important tools in biomonitoring studies. The results of this study emphasize the potential of the order Odonata for environmental studies, because they demonstrated to be able to reflect the conditions of their environment with respect to the concentration of heavy metals.

Keywords: dragonflies, Gomphidae, bioaccumulation factor (BAF), biomonitoring.

## **2.1 INTRODUÇÃO**

Atividades antropogênicas, que geram descargas de efluentes industriais e de esgoto doméstico, mineração, aplicação de fertilizantes e pesticidas, dentre outras fontes, têm provocado um incremento no conteúdo de diversas substâncias potencialmente nocivas ao ambiente, como por exemplo, os metais pesados (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; THORNTON, 1995). A concentração de metais pesados e outros contaminantes têm aumentado de forma generalizada nos corpos d'água em níveis que ameaçam a biota aquática, assim como organismos terrestres, incluindo o homem (RODRIGUES et al., 2005; COSTA et al., 2008). Uma vez lançadas no ambiente, tais substâncias podem desencadear uma série de interações entre si e com os constituintes do meio, como a água e os sedimentos, que podem resultar em diferentes formas de ação sobre a biota e provocar efeitos deletérios quando níveis elevados são atingidos (ZAMBONI, 1993; COSTA et al., 2008).

Os sedimentos são importantes sítios de acumulação de metais pesados em ambientes aquáticos e podem contribuir de maneira significativa para a concentração de metais nos organismos bentônicos como os macroinvertebrados, num processo conhecido como bioacumulação. Segundo Guerra-García et al. (2010), os sedimentos tendem a acumular contaminantes em concentrações mais elevadas do que aquelas da coluna d'água, produzindo efeitos negativos à biota bentônica e aos organismos que se alimentam do bentos ou do próprio sedimento. Os metais podem ser incorporados aos organismos de diversas maneiras, seja pela absorção de água intersticial, pela ingestão de itens alimentares contaminados, ou pela ingestão incidental de sedimento contaminado durante o processo de alimentação (MERRITT; CUMMINS, 1984; KASPER et al., 2007; CORBI et al., 2008). A bioacumulação, dependendo do nível, pode resultar em uma série de danos aos indivíduos afetados, em função do tempo em que os metais pesados permanecem ativos no organismo (BRYAN; LANGSTON, 1992).

Segundo Winner et al. (1980), a fauna de invertebrados aquáticos pode responder, de maneira previsível e indicativa, a poluentes específicos, como os metais pesados. O acúmulo de metais pesados nos invertebrados pode causar redução na abundância e na diversidade de espécies, além de alterações na composição dos táxons, com aumento de espécies generalistas e redução de especialistas (CLEMENTS, 1991).

Estudos de avaliação de metais pesados e bioacumulação por macroinvertebrados bentônicos em diferentes ambientes aquáticos têm registrado correlação significativa entre a concentração de metais pesados no sedimento e em organismos de ambientes aquáticos (KLAVINŠ et al., 1998; BESSER et al., 2001; CHIBA et al., 2011). Outras pesquisas, com enfoque em diferentes usos do solo, incluindo a comparação de áreas impactadas e áreas preservadas, e a contaminação por metais pesados em organismos, também vêm sendo desenvolvidas e têm gerado resultados preocupantes quanto à contaminação ambiental, na maioria dos casos oriunda de atividades agrícolas, como, por exemplo, o cultivo de cana de açúcar, além de atividades mineradoras e/ou industriais (OMETO et al., 2000; FERREIRA-PERUQUETTI; FONSECA-GESSNER, 2003; CORBI et al., 2010).

Devido à estreita associação com os sedimentos, ciclos de vida relativamente longos, vida sedentária e abundância no ambiente aquático, a ordem Odonata, especialmente em sua fase larval, pode ser utilizada como indicadora de contaminação por metais pesados (CAIRNS; PRATT, 1993; WAYLAND; CROSLEY, 2006; LAILSON-BRITO et al., 2008). Estes organismos podem permanecer no ambiente aquático por longos períodos e são expostos a diversas variações de parâmetros ambientais, podendo refletir, dessa forma, o estado de conservação ou degradação de um ecossistema, permitindo respostas integradas sobre os efeitos de possíveis contaminações (MOULTON, 1998; SILVA et al., 2007). Além disso, representam um importante elo na transferência de metais a níveis tróficos superiores e, por serem organismos predadores, podem acumular mais metais que outros insetos aquáticos, como herbívoros e detritívoros (CORBI et al., 2008).

Devido à importância dos metais como poluentes de ecossistemas aquáticos e da escassez de estudos sobre o comportamento destes poluentes nos organismos que habitam estes ambientes, os objetivos deste estudo foram: 1) Avaliar a acumulação dos metais pesados Cu, Zn, Fe, Mn e Ni no sedimento e em larvas de Odonata de córregos de áreas de Cerrado; 2) Comparar a contaminação dos córregos pelos metais pesados, utilizando-se o sedimento e as larvas; 3) Avaliar o potencial de bioacumulação dos metais pesados pelas larvas de Odonata utilizando-se o fator de bioacumulação (BAF). Os metais Cu, Zn, Fe e Mn foram escolhidos devido ao seu potencial tóxico e por serem constituintes de resíduos comuns geralmente depositados no solo ou lançados nos corpos d'água, decorrentes de atividades antrópicas.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

Foram selecionados quatorze córregos situados no Triângulo Mineiro (Panga, Cabeceira do Lageado, São José, Água Fria, Sucupira Cassu, Glória, Areia, Terra Branca, Marimbondo, Capim Branco, Óleo, Bons Olhos, Lobo e Liso), região representativa do bioma Cerrado, que apresenta intensas atividades antrópicas, principalmente agropecuárias e industriais. O clima da região é tropical e, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Aw megatérmico, com chuvas no verão e seca de inverno (EMBRAPA, 1982).

### **Coleta e avaliação de metais pesados no sedimento**

Para as coletas de sedimento, foram selecionados trechos de 100 metros em cada um dos sete córregos selecionados. As amostras de sedimento, coletadas de maneira representativa, foram devidamente armazenadas e conservadas em gelo até o transporte ao laboratório.

Após as coletas, as amostras de sedimento foram congeladas em freezer a -20°C e posteriormente liofilizadas. Os procedimentos para extração dos metais pesados Cu, Fe, Mn, Zn e Ni foram realizados no Laboratório de Química Medicinal do Centro Universitário de Araraquara (UNIARA) e seguiram metodologia descrita por Santos (1999). Em bêqueres com capacidade para 100 mL, foram adicionados 3,0 g de amostra de sedimento liofilizado de cada córrego. Em seguida, foi adicionado aproximadamente 10 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) em cada bêquer. O mesmo procedimento foi realizado para a amostra controle, denominada branco, para avaliar a presença de contaminação por metais no ácido nítrico e na água destilada utilizada durante os procedimentos.

Após a adição de  $\text{HNO}_3$ , os recipientes contendo sedimento foram dispostos sobre um hotplate, a uma temperatura aproximada de 90 °C, durante duas horas e meia. Este aparelho tem a função de aquecer e decompor as amostras para promover a dissolução dos metais pesados contidos na amostra. Finalizado o período sobre o hotplate, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente e filtradas em papel filtro, sendo transferidas para balões volumétricos com capacidade para 100 mL, os quais foram encaminhados ao Laboratório de Química Analítica da Universidade Estadual Paulista, campus de Araraquara (UNESP/Araraquara), para avaliação da presença de metais pesados em espectrofotômetro de absorção atômica.

## **Coleta e avaliação de metais pesados em larvas de Odonata**

Para avaliar a acumulação de metais pesados nas larvas de Odonata, foram realizadas coletas com rede tipo D em trechos dos córregos selecionados. Para realização das coletas, foram selecionados trechos de 100 metros em cada um dos córregos. As coletas ocorreram entre os meses de abril e agosto de 2011, e as larvas foram coletadas até obtenção de biomassa suficiente para realização das análises de metais (mínimo de 0,1g de massa seca por família, em cada córrego).

As larvas de Odonata coletadas foram separadas em campo e armazenadas em recipientes plásticos, os quais foram conservados em gelo durante o transporte até o Laboratório de Ecologia da Universidade Federal de Uberlândia. Em laboratório, as larvas foram identificadas em nível taxonômico de família, utilizando-se chaves de identificação específicas (CARVALHO; NESSIMIAN, 1998; CARVALHO; CALIL, 2000; COSTA et al., 2004; MUGNAI et al., 2010). Somente larvas da família Gomphidae foram obtidas em quantidade suficiente para análises em apenas sete dos quatorze córregos amostrados (AF - Água Fria; AR - Areia; CB - Capim Branco; GL - Glória; MA - Marimbondo; CA - Sucupira Cassu; TB - Terra Branca). Após a separação, as larvas foram congeladas em freezer a -20°C.

Para possibilitar o processamento e análise dos metais, as larvas foram liofilizadas e homogeneizadas com auxílio de um triturador. Os procedimentos para extração dos metais pesados Cu, Fe, Mn e Zn foram realizados no Laboratório de Química Medicinal do Centro Universitário de Araraquara (UNIARA) e seguiram metodologia descrita por Santos (1999). As amostras das larvas de Gomphidae (0,1 g por córrego) foram transferidas a bêqueres com capacidade para 100 mL, onde se adicionou 5,0 ml de HNO<sub>3</sub>, para que as amostras pudessem ser decompostas a uma temperatura de 90°C, em um hotplate. Posteriormente, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente e filtradas com papel filtro, e depois foram transferidas para balões volumétricos com capacidade para 25 mL. Os balões contendo as amostras foram encaminhados ao Laboratório de Química Analítica da Universidade Estadual Paulista, campus de Araraquara (UNESP/Araraquara), para análise da presença de metais, por meio de espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado.

## Análise de dados

Para comparar a contaminação dos córregos pelos metais pesados, os pontos amostrados foram ordenados em relação à concentração de metais pesados no sedimento e também nas larvas de Odonata, através de uma Análise de Componentes Principais (PCA), utilizando o programa Fitopac (SHEPHERD, 2004). Os valores das concentrações de metais nos sedimentos foram transformados para redução da discrepância entre eles (SHEPHERD, 2004).

Para avaliar o potencial de bioacumulação dos metais pesados pelas larvas de Odonata foi calculado o fator de bioacumulação (BAF), desenvolvido por Klavinš et al. (1998). O BAF corresponde à razão entre a concentração de uma substância no organismo e a mesma substância no ambiente. A bioacumulação será positiva quando as concentrações de metais nos organismos forem maiores que as concentrações de metais no sedimento. Assim, para valores  $\geq 1$ , a bioacumulação é considerada. O BAF é descrito pela seguinte fórmula:

$$\text{BAF} = \frac{\text{concentração de metais no organismo/tecido}}{\text{concentração de metais no sedimento}}$$

## 2.3 RESULTADOS

As maiores concentrações de cobre, zinco e manganês no sedimento foram registradas nos córregos MA, TB e AF e de ferro foram registradas nos córregos CB, TB e CA, sendo esse último metal registrado em concentrações bastante elevadas (Figuras 1 a-d). Quanto à concentração na fauna, o níquel não foi detectado e o cobre foi registrado apenas nas larvas do córrego TB, o zinco foi registrado em maiores concentrações em larvas dos córregos CB, CA, GL e MA. As maiores concentrações de ferro foram registradas nos córregos CB, CA, GL e de manganês foram registradas nos córregos MA, AR, TB (Figuras 2 a-d).

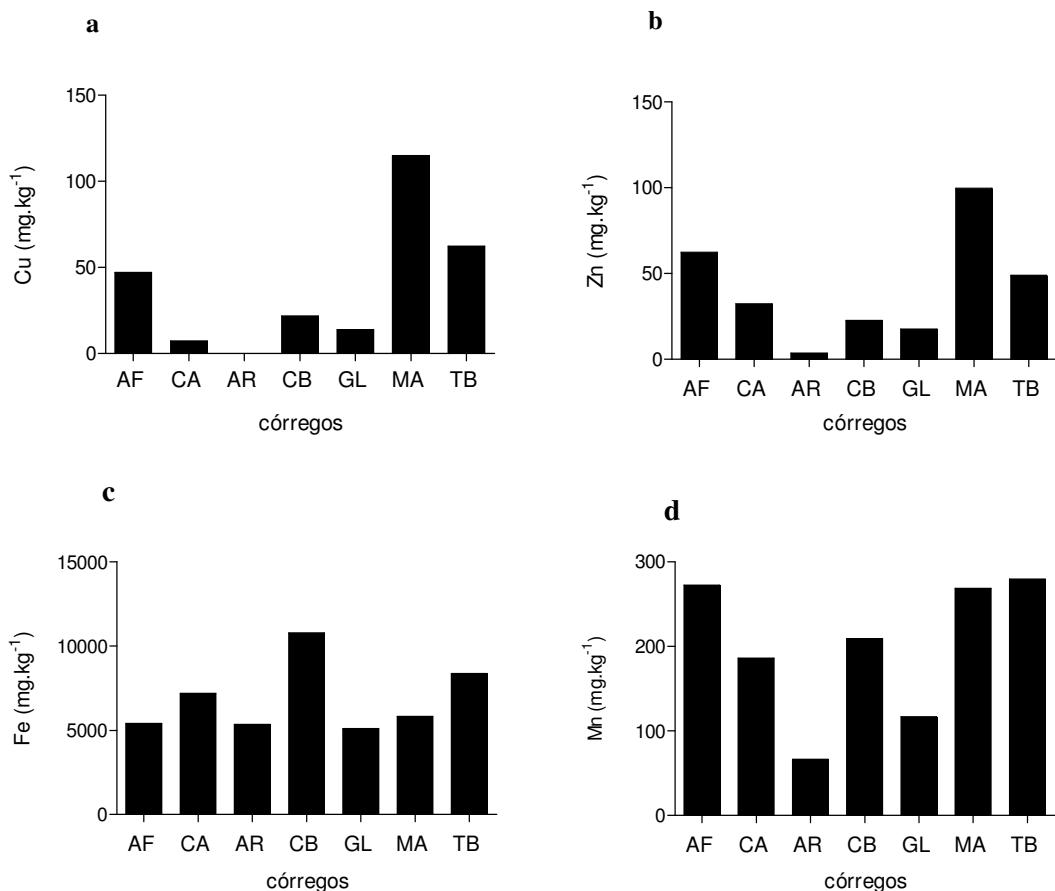


Figura 1 (a-d). Concentrações de metais pesados nos sedimentos dos córregos pesquisados. a) concentração de Cu; b) concentração de Zn; c) concentração de Fe; d) concentração de Mn. (AF - Água Fria; AR - Areia; CB - Capim Branco; GL - Glória; MA - Marimbondo; CA - Sucupira Cassu; TB - Terra Branca).

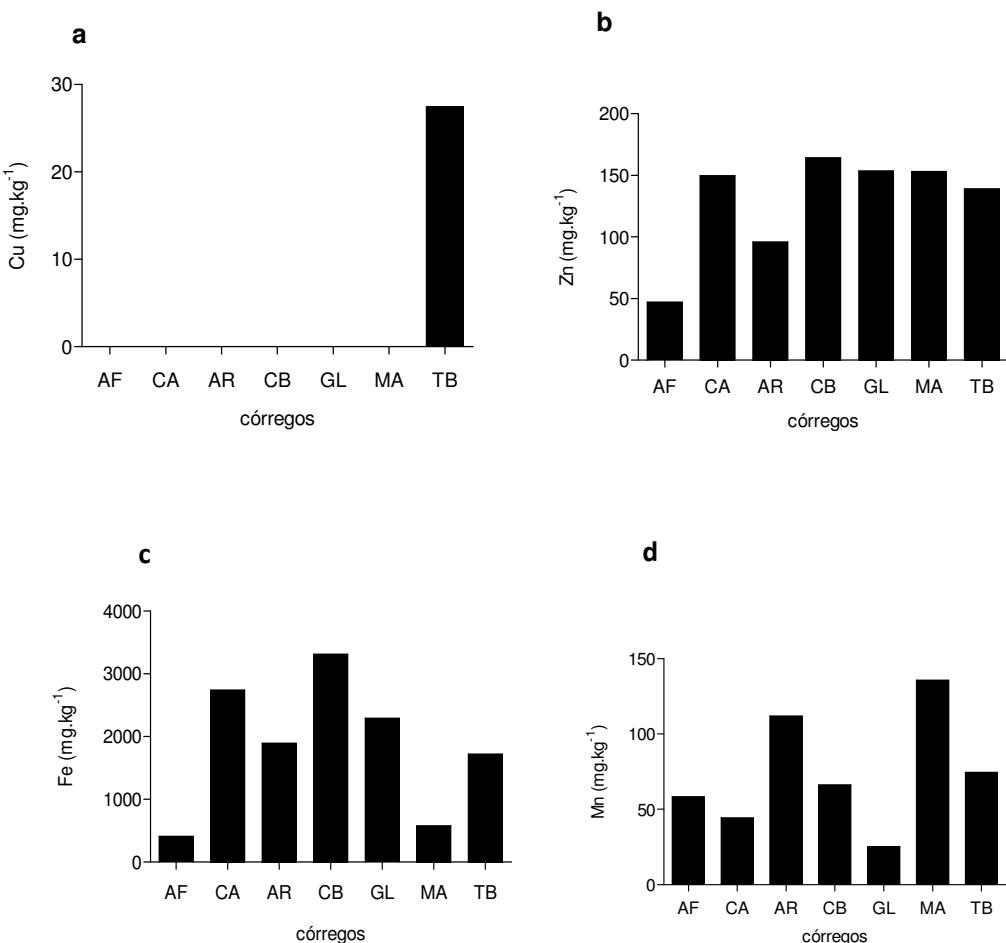


Figura 2 (a-d). Concentrações de metais pesados nas larvas de Gomphidae coletadas nos córregos pesquisados. a) concentração de Cu; b) concentração de Zn; c) concentração de Fe; d) concentração de Mn (AF - Água Fria; AR - Areia; CB - Capim Branco; GL - Glória; MA - Marimbondo; CA - Sucupira Cassu; TB - Terra Branca).

A ordenação dos córregos quanto à concentração de metais pesados no sedimento, feita pela Análise de Componentes Principais (PCA), explicou 66,96% e 28,29% da variação dos dados nos eixos 1 e 2, respectivamente (Figura 3). Os córregos AR, GL e CA estão distribuídos do lado esquerdo do diagrama, opostos aos vetores dos metais Cu, Zn e Mn, portanto nestes córregos as concentrações destes metais foram baixas. O córrego AR apresentou maior isolamento à esquerda no diagrama, o que significa que neste córrego foram registradas as menores concentrações de metais pesados. Os córregos CB e CA estão na direção do vetor do metal Fe, TB está próximo ao vetor de Mn, AF está próximo aos vetores de Cu e Zn e MA ocorreu mais isolado à

direita no diagrama. Estes padrões indicam que as concentrações destes metais foram mais elevadas nos respectivos córregos.

A PCA feita para a concentração de metais pesados nas larvas de Gomphidae explicou 44,89% e 26,39%, respectivamente (Figura 4). As larvas de Gomphidae dos córregos AF, MA e AR ficaram mais próximas ao vetor de Mn, indicando que as concentrações deste metal nas larvas destes córregos foram elevadas. As larvas do córrego TB ficaram fortemente associadas ao vetor do metal Cu, uma vez que a concentração deste metal foi registrada apenas neste córrego. Já as larvas dos córregos CA, GL e CB ficaram próximas aos vetores dos metais Fe e Zn, indicando alta concentração destes metais nas larvas. Nas tabelas I e II são apresentados os autovetores dos eixos da PCA para a concentração de metais nos sedimentos e na fauna, respectivamente.

As Análises de Componentes Principais foram feitas com o intuito de verificar se sedimento e larvas de Gomphidae demonstrariam padrões de distribuição semelhantes quanto à contaminação dos córregos. No entanto, comparando-se ambos os diagramas, verifica-se que os padrões de distribuição foram, em sua maioria, diferentes. Para o metal Cu, dos sete córregos pesquisados, apenas TB apresentou distribuição semelhante nos dois diagramas; para Fe, apenas CB apresentou padrões semelhantes e para Mn apenas AF e MA tiveram distribuições semelhantes. Para Zn, nenhum córrego apresentou distribuição semelhante de concentração de metais no sedimento e nas larvas.

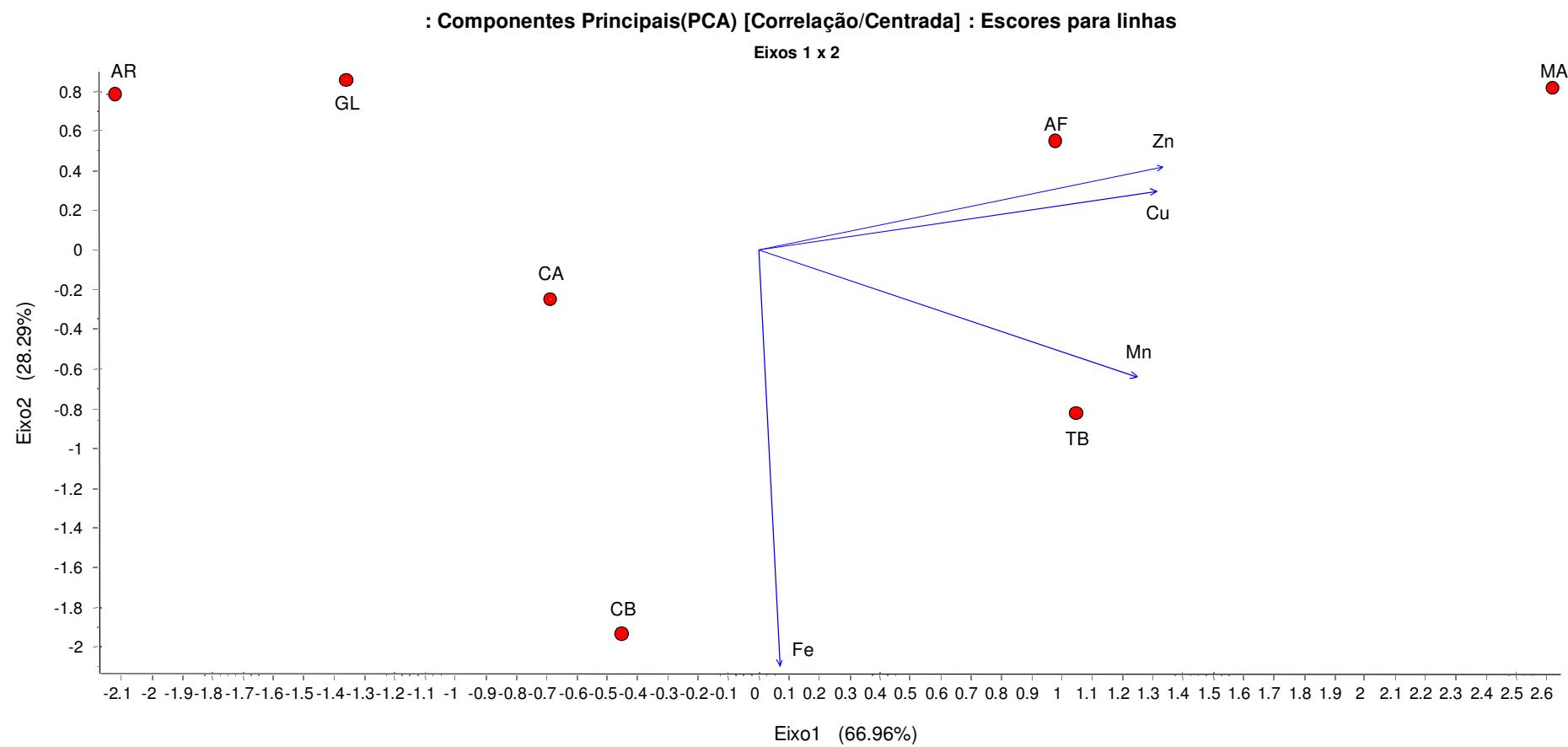


Figura 3. Diagrama de Ordenação dos pontos pela Análise de Componentes Principais (PCA), considerando as concentrações de metais pesados no sedimento dos córregos pesquisados (AF - Água Fria; AR - Areia; CB - Capim Branco; GL - Glória; MA - Marimbondo; CA - Sucupira Cassu; TB - Terra Branca).

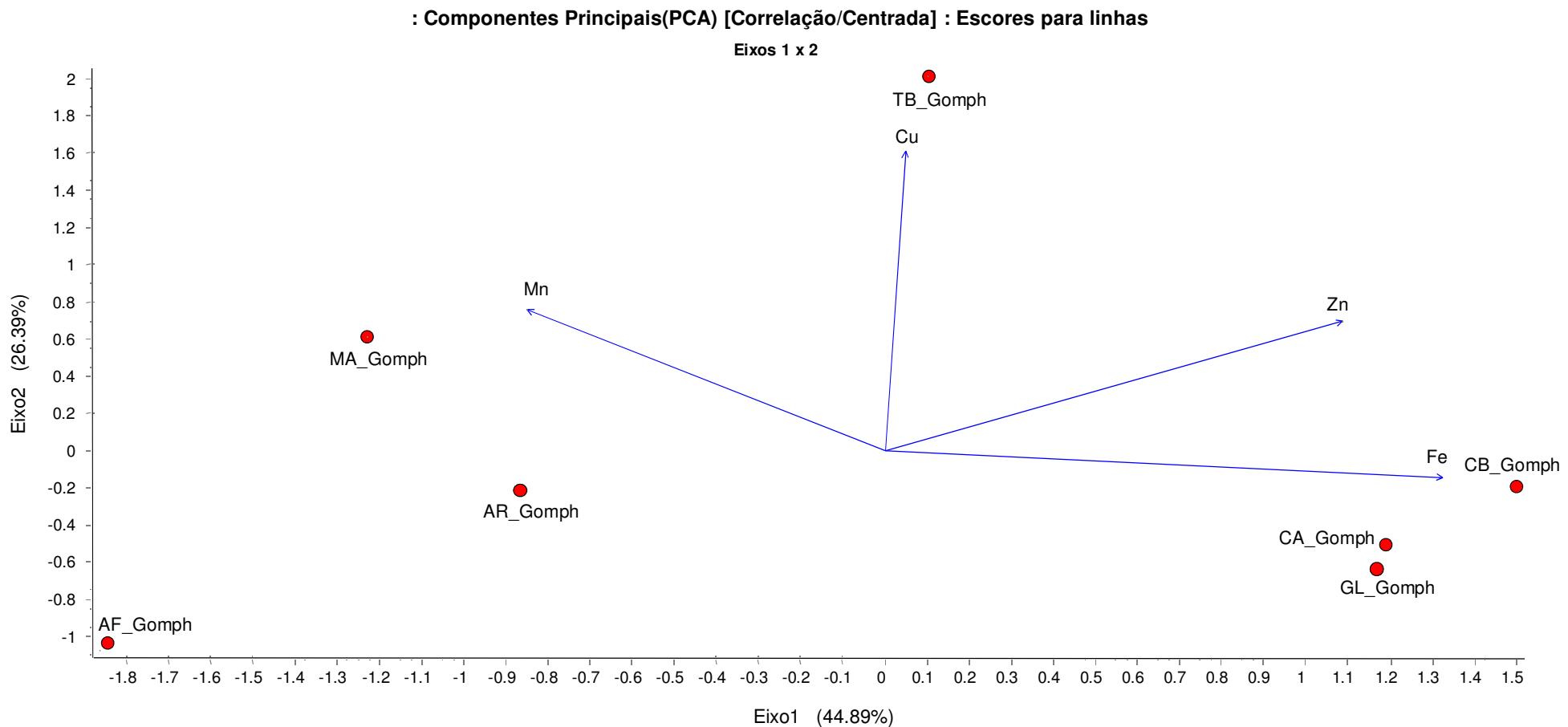


Figura 4. Diagrama de Ordenação dos pontos pela Análise de Componentes Principais (PCA), considerando as concentrações de metais pesados nas larvas da família Gomphidae dos córregos pesquisados. (AF - Água Fria; AR - Areia; CB - Capim Branco; GL - Glória; MA - Marimbondo; CA - Sucupira Cassu; TB - Terra Branca).

Tabela I. Autovetores da Análise de Componentes Principais (PCA) para a concentração de metais no sedimento.

	<b>Metais Eixo1</b>	<b>Eixo2</b>
Cu	0,5828	0,1314
Zn	0,5931	0,1871
Fe	0,0317	-0,9309
Mn	0,5546	-0,2850

Tabela II. Autovetores da Análise de Componentes Principais (PCA) para a concentração de metais nas larvas de Gomphidae.

	<b>Metais Eixo1</b>	<b>Eixo2</b>
Cu	0,0252	0,8411
Zn	0,5679	0,3638
Fe	0,6925	-0,0769
Mn	-0,4442	0,3929

De acordo com os valores de BAF, as concentrações de Zn e Mn nos organismos excederam as concentrações registradas no sedimento dos córregos amostrados, indicando bioacumulação (KLAVINŠ et al. 1998) (Tabela III).

Tabela III. Faixa de valores do fator de bioacumulação (BAF) de cada metal para a família Gomphidae.

	<b>BAF Cu</b>	<b>BAF Zn</b>	<b>BAF Fe</b>	<b>BAF Mn</b>
Gomphidae	0 - 0,440	0,756 - 26,565	0,076 - 0,450	0,214 - 1,688

## **2.4 DISCUSSÃO**

Os córregos MA, TB e AF, cujo sedimento apresentou maior concentração de manganês, cobre e zinco e MA, AR e TB, cujas larvas apresentaram maior concentração de manganês, estão situados em regiões cujo entorno é formado principalmente por pastagem e agricultura. Além disso, a elevada concentração de manganês em larvas do córrego AR pode estar relacionada ao tráfego de veículos da região, uma vez que podem lançar substâncias contendo este metal no ambiente, pois parte deste córrego situa-se próximo a uma rodovia. As altas concentrações de ferro no sedimento de CB, TB e CA e de ferro e zinco nas larvas dos córregos CB, CA, GL e MA podem ter ocorrido devido à influência de cultivos de cana-de-açúcar nas regiões de entorno, além do tráfego de veículos pelas estradas vicinais, que pode lançar substâncias ao solo, as quais podem ser carreadas aos cursos d'água adjacentes. Além disso, as larvas do córrego CB podem ter apresentado concentrações relativamente elevadas de ferro e zinco por influência de atividades agropecuárias, que são intensas na região deste córrego e que geralmente utilizam substâncias contendo metais em sua composição (SILVA et al., 2007).

O cobre, que foi registrado tanto no sedimento quanto nas larvas do córrego TB pode ter relação com o aporte de efluentes domésticos de uma estação de tratamento de esgotos situada em suas proximidades (SILVA et al., 2007). Este metal tem potencial, por exemplo, de afetar o ciclo de vida de organismos aquáticos. Tollett et al. (2009), em experimentos de laboratório, verificaram que larvas da família Libellulidae, quando expostas a altas concentrações de Cu, apresentaram queda significativa no tempo de sobrevivência se comparadas às larvas controle, não expostas ao Cu. Em pesquisa semelhante, Karouna-Renier; Sparling (2001) registraram elevadas concentrações de Cu e Zn em larvas de Odonata oriundas de lagos circundados por áreas comerciais, caracterizadas por elevado volume de tráfego de veículos e por coberturas impermeáveis, que facilitam o aporte de substâncias contendo tais metais aos cursos d'água adjacentes.

As concentrações elevadas de ferro registradas tanto nos sedimentos quanto nas larvas fornecem um indicativo de que este metal é abundante nas regiões estudadas. Corbi et al. (2010) verificaram que larvas de insetos, incluindo Odonata, apresentaram, em geral, um padrão de concentração de metais similar ao do sedimento, com destaque para as elevadas concentrações de ferro nos organismos. Segundo Rosolen et al. (2009), teores elevados de ferro são próprios da constituição químico-mineralógica dos solos

tropicais fortemente intemperizados, assim como os desenvolvidos no município de Uberlândia.

A Análise de Componentes Principais feita para as concentrações de metais no sedimento evidenciou que os vetores de Cu, Mn e Zn separaram os córregos AF, TB e MA dos demais, indicando que o sedimento destes córregos apresentou, em geral, as maiores concentrações destes metais pesados. A região de entorno destes cursos d'água é utilizada para diversas finalidades, como cultivo de cana-de-açúcar, plantações de banana e extensas pastagens, além da própria urbanização (SILVA et al., 2007). Assim, as altas concentrações nestes córregos podem estar relacionadas à influência de atividades antrópicas nas regiões de entorno, que incluem desmatamento da vegetação e uso de agrotóxicos e fertilizantes em seus sistemas, nos quais são adicionadas importantes quantidades de metais pesados, as quais podem ser carreadas para os cursos d'água adjacentes (NRIAGU; PACYNA, 1988; SILVA, 2005). De acordo com Wilcke et al. (1999), há histórico de alta concentração e alta biodisponibilidade de metais como Cu, Mn, Ni e Zn em solos de Uberlândia.

A baixa semelhança entre os padrões de distribuição dos diagramas de PCA para sedimento e larvas indica que a avaliação de metais em larvas e no sedimento não é equivalente e, portanto, não necessariamente fornece a mesma indicação sobre a qualidade de córregos quanto à contaminação por metais pesados. Dessa forma, os resultados demonstram que avaliar a concentração de metais pesados no sedimento não é indicativo do que potencialmente pode estar ocorrendo com os organismos, sendo assim necessário avaliar a concentração em larvas e também em outros organismos aquáticos, para que seja possível a obtenção de resultados mais amplos quanto aos processos de acumulação em organismos e acerca da qualidade de cursos d'água. Ao contrário do que foi observado na presente pesquisa, Corbi et al. (2010) observaram que larvas de insetos aquáticos, incluindo Odonata (Libellulidae) apresentaram, em geral, padrão similar ao sedimento quanto às concentrações de metais pesados, o que pode ter ocorrido pois todos os córregos eram circundados e influenciados pelo mesmo uso de solo, especificamente áreas de cultivo de cana-de-açúcar, e consequentemente estavam sujeitos ao carreamento dos mesmos produtos que continham metais pesados em sua composição, no caso, os agrotóxicos e fertilizantes. Segundo Armas et al. (2005), no estado de São Paulo, onde foi desenvolvida a pesquisa acima mencionada, a cana-de

açúcar representa cerca de 15% do total do manejo do solo rural, e tal cultura é responsável por grande parte das vendas de agrotóxicos e fertilizantes no Brasil.

Apesar das elevadas concentrações de ferro registradas tanto no sedimento quanto nas larvas de Gomphidae, o BAF para a concentração de Fe foi baixo, ou seja, praticamente não houve bioacumulação. Goodyear; McNeill (1999), em pesquisa sobre bioacumulação de metais pesados por macroinvertebrados aquáticos pertencentes a diferentes guildas, inclusive de predadores como Odonata, verificaram que o potencial para bioacumulação de Fe foi baixo, atingindo valores acima de 1 para poucos grupos. Isto pode significar que, apesar das elevadas concentrações de ferro, tanto nos sedimentos quanto nas larvas, a razão concentração larvas/concentração sedimento demonstra que o Fe é um metal com baixo potencial de bioacumulação pelos organismos, podendo indicar então que este metal não apresenta grandes riscos de toxicidade às larvas como os outros metais, em que foram registrados valores de BAF acima de 1 com maior frequência. Um estudo de laboratório conduzido por Tennesen (1993) registrou sucesso de eclosão e desenvolvimento de larvas de *Libellula lydia* e *Pachydiplax longipennis* (Anisoptera: Libellulidae) expostas ao Fe, demonstrando que o Fe pode ter um efeito positivo sobre a biota, ao contrário do observado para outros metais pesados.

Assim como foram constatadas elevadas concentrações de metais nas larvas da presente pesquisa, Corbi et al. (2010), em estudo sobre bioacumulação de metais pesados por organismos aquáticos, verificaram que todos os córregos analisados apresentaram altas concentrações de metais, tanto no sedimento quanto nas larvas de Odonata. Estes pesquisadores registraram grandes quantidades de Al, Cr, Cu, Fe, Zn, Mg e Mn em larvas da família Libellulidae (Odonata). Comparando-se as larvas de Odonata a outros insetos predadores, como os representantes da família Gerridae (Hemiptera), Barreto (1999) demonstrou que larvas de Odonata demonstram com maior eficiência diferenças nas concentrações de ferro, manganês, zinco e cádmio no ambiente. A ordem Odonata possui uma dieta que inclui geralmente quantidades significativas de tecidos de outros organismos, o que pode influenciar na acumulação de consideráveis concentrações de metais pesados. A acumulação, portanto, provavelmente se deve ao hábito alimentar predador e generalista das larvas de Odonata, o que insere esta ordem em boa posição quanto ao potencial para bioindicação de poluição por metais, podendo ser, portanto, uma ferramenta importante em termos de pesquisas com

biomonitoramento (CORBI et al., 2008). Besser et al. (2001) verificaram, por exemplo, que as concentrações de Cd, Cu, Pb e Zn diferiram significativamente entre diversas ordens de invertebrados pesquisados, e discutiram que diferenças nas concentrações entre táxons podem também refletir diferenças na ecologia alimentar.

O Fator de Bioacumulação (BAF) mostrou uma tendência para a bioacumulação de Zn e Mn pelas larvas de Gomphidae, sendo que o metal Zn atingiu valores acima de 1 para as larvas de quase todos os córregos avaliados. Estes valores podem ter relação com a alta associação dos representantes da família Gomphidae com os sedimentos. Esta família geralmente é encontrada em ambientes lóticos deposicionais e os organismos vivem, na maioria das vezes, enterrados sob os sedimentos, expondo apenas algumas partes do corpo, como os olhos e estruturas respiratórias (HYNES, 1970; WESTFALL, 1996). Chiba et al. (2011) encontraram padrões semelhantes, em que o BAF também apresentou tendência para bioacumulação de metais por organismos bentônicos, inclusive da ordem Odonata, para quase todas as espécies de metal investigadas. Muitos metais pesados, quando assimilados por organismos, podem interferir em processos fisiológicos, assim como em aspectos reprodutivos e de sobrevivência, podendo alterar estruturas em nível populacional e de comunidade (BOUDOU; RIBEYRE, 1989).

## 2.5 CONCLUSÃO

A diferença constatada entre os padrões de concentração de metais no sedimento e nas larvas de Gomphidae leva à conclusão de que para se avaliar a contaminação de determinado curso d'água por metais pesados, é importante que sejam feitas avaliações não só do sedimento, como também de organismos, uma vez que cada um pode refletir de maneiras diferentes a qualidade de um ambiente.

O potencial de bioacumulação verificado para Zn e Mn para as larvas de Gomphidae indica que estas são capazes de concentrar metais em seu organismo, podendo refletir a condição ambiental de onde vivem e assim servir como ferramentas importantes em estudos de biomonitoramento.

Os resultados ressaltam o grande potencial da ordem Odonata para estudos relacionados à acumulação de metais pesados, indicando sua aplicabilidade em estudos de biomonitoramento.

## **2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R.; AMÂNCIO, A. V.; CORREA, R. M. L.; GUERCIO, M. A. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 975-982, 2005.

ARNOT, J. A.; GOBAS, F. A. P. C. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic-organisms. **Environmental Reviews**, v. 14, p. 257-97, 2006.

BARRETO, A. S. **Estudo da distribuição de metais em ambiente lótico, com ênfase da assimilação pelas comunidades biológicas e na sua quantificação no sedimento e na água.** 276f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, 1999.

BESSER, J. M.; BRUMBAUGH, W. G.; MAY, T. W.; CHURCH, S. E.; KIMBALL, B. A. Bioavailability of metals in stream food webs and hazards to brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in the upper Animas River watershed, Colorado. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 40, n. 1, p. 48-59, 2001.

BOUDOU, A.; RIBEYRE, F. Fundamental concepts in aquatic ecotoxicology. In: BOUDOU, A.; RIBEYRE, F. (Ed.). **Aquatic Ecotoxicology:** fundamental concepts and methodologies. Boca Raton, Fla.: CRC Press, v. 1, p. 35-75, 1989.

BRYAN, G. W.; LANGSTON, W. J. Bioavailability, accumulation and effects of Heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: A review. **Environmental Pollution**, v. 76, p. 89-131, 1992.

CAIRNS, J.; PRATT, J. R. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In: RESH, D. M.; ROSENBERG, V. H. (Ed.). **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates.** New York: Chapman and Hall, p. 10-27, 1993.

CARVALHO, A. L.; NESSIMIAN, J. L. Odonata do estado do Rio de Janeiro, Brasil: Habitats e hábitos das larvas. In: NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (Ed.). **Ecologia de insetos aquáticos**. Série Oecologia Brasiliensis. Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, p. 3-28, 1998.

CARVALHO, A. L.; CALIL, E. R. Chaves de identificação para as famílias de Odonata (Insecta) ocorrentes no Brasil, adultos e larvas. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 41, n. 15, p. 223-241, 2000.

CHIBA, W. A. C.; PASSERINI, M. D.; TUNDISI, J. G. Metal contamination in benthic macroinvertebrates in a sub-basin in the southeast of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 2, p. 391-399, 2011.

CLEMENTS, W. H. Community responses of stream organisms to heavy metals: A review of descriptive and experimental approaches. In: NEWMAN, M. C.; McIntosh, A. W. (Ed.). **Ecotoxicology of Metals: Current Concepts and Applications**. Chelsea: Lewis Publishers, p. 363-391, 1991.

CORBI, J. J.; TRIVINHO-STRIXINO, S.; SANTOS, A. Environmental evaluation of metals in sediments and dragonflies due to sugar cane cultivation in Neotropical streams. **Water Air & Soil Pollution**, v. 195, p. 325-333, 2008.

CORBI, J. J.; FROELICH, C. G.; TRIVINHO-STRIXINO, S.; SANTOS, A. Bioaccumulation of metals in aquatic insects of streams located in areas with sugar cane cultivation. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 644-648, 2010.

COSTA, J. M., SOUZA, L. O. I., OLDRINI, B. B. Chave para a identificação das famílias e gêneros das larvas conhecidas de Odonata do Brasil: Comentários e registros bibliográficos. **Publicações Avulsas do Museu Nacional**, n. 99, p. 1-44, 2004.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação dos solos-EPAMIG (Belo Horizonte, MG). Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. **Boletim de pesquisa**, Rio de Janeiro, n. 1, p. 34-43, 1982.

FERREIRA-PERUQUETTI, P.; FONSECA-GESSNER, A. A. Comunidade de Odonata (Insecta) em área naturais de Cerrado e monocultura no nordeste do Estado de São Paulo, Brasil: relação entre o uso do solo e a riqueza faunística. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, p. 219-224, 2003.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**. Berlin: Springer-Verlag, 2.ed, 486p., 1981.

GOODYEAR, K. L.; MCNEILL, S. Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macro-invertebrates of different feeding guilds: a review. **The Science of the Total Environment**, v. 229, p. 1-19, 1999.

GUERRA-GARCÍA, J. M.; RUIZ-TABARES, A.; BAEZA-ROJANO, E.; CABEZAS, M. P.; DÍAZ-PAVÓN, J. J.; PACIOS, I.; MAESTRE, M.; GONZÁLEZ, A. R.; ESPINOSA, F.; GARCÍA-GÓMEZ, J. C. Trace metals in Caprella (Crustacea: Amphipoda). A new tool for monitoring pollution in coastal areas. **Ecological Indicators**, v. 10, p. 734–743, 2010.

HYNES, H. A. **The ecology of running waters**. Liverpool: Liverpool University Press, 555p., 1970.

KAROUNA-RENIER, N. K.; SPARLING, D. W. Relationships between ambient geochemistry, watershed land-use and trace metal concentrations in aquatic invertebrates living in stormwater treatment ponds. **Environmental Pollution**, v. 112, p. 183-192, 2001.

KASPER, D.; BOTARO, D.; PALERMO, E. F. A.; MALM, O. Mercúrio em peixes – fontes e contaminação. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 2, p. 228-239, 2007.

KLAVINŠ, M.; BRIEDE, A.; PARBLE, E.; RODINOV, V.; KLAVINA, I. Metal accumulation in sediments and benthic invertebrates in lakes of Latvia. **Chemosphere**, v. 36, n. 15, p. 3043-3053, 1998.

LAILSON-BRITO, J.; DORNELES, P. R.; SILVA, V. M. F.; MARTIN, A. R.; BASTOS, W. R.; AZEVEDO-SILVA, C. E.; AZEVEDO, A. F.; TORRES, J. P. M.; MALM, O. Dolphins as indicators of micropollutant trophic flow in amazon basin. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 531-541, 2008.

MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W. **An Introduction to the Aquatic Insects of North America**. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 2.ed., 722p., 1984.

MOULTON, T. P. Saúde e integridade do ecossistema e o papel dos insetos aquáticos. In: NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (Ed.). **Ecologia de Insetos Aquáticos. Série Oecologia Brasiliensis**. Rio de Janeiro: PPGE-UFRJ, p. 281-298, 1998.

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Technical Books, 1.ed., 176 p., 2010.

NRIAGU, J. O.; PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace elements. **Nature**, v. 333, p.134-139, 1988.

OMETO, J. P. H. B.; MARTINELLI, L. A.; BALLISTER, M. V.; GESSNER, A.; KRISCHE, A. V.; VICTORIA, R. L. The effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates rates in two streams of the Piracicaba river basin South-east Brazil. **Freshwater Biology**, v. 44, p. 327–337, 2000.

RODRIGUES, L.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. **Biocenoses em Reservatórios: Padrões espaciais e temporais**. São Paulo: Rima, 333p., 2005.

ROSOLEN, V.; HERPIN, U.; COELHO, N. M. M.; COELHO, L. M.; BRITO, J. L. S.; SILVA, L. A.; LIMA, S. C. Qualidade dos sedimentos no rio Uberabinha (Uberlândia,

MG) e implicações ambientais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 151-159, 2009.

SANTOS, A. **Distribuição de metais no reservatório de captação de água superficial Anhumas Américo Brasiliense - SP.** 147f. Tese (Doutorado em Química Analítica). Universidade de São Paulo, 1999.

SHEPHERD, G. J. **FITOPAC-SHELL 1.5:** Manual do usuário. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SILVA, A. M. **Avaliação ecotoxicológica do agrotóxico permetrina através de ensaios de toxicidade com invertebrados aquáticos.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear-Materiais). Universidade de São Paulo, 2005.

SILVA, F. L.; MOREIRA, D. C.; BOCHINI, G. L.; RUIZ, S. S. Desempenho de dois índices biológicos na avaliação da qualidade das águas do Córrego Vargem Limpa, Bauru, SP, através de macroinvertebrados bentônicos. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 2, n. 3, p.231-234, 2007.

SILVA, N. G. M. **Modelagem da qualidade da água no trecho de vazão reduzida (TVR) do aproveitamento hidrelétrico de Capim Branco I do Rio Araguari-MG.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

TENNESSEN, K. The common, remarkable Lydia. **Argia**, v. 5, n. 2, p. 16–18, 1993.

THORNTON, I.. **Metals in the Global Environment:** Facts and misconceptions. International Council on Metals and the Environment. Ottawa, Canada, 116 p., 1995.

TOLLETT, V. D.; BENVENUTTI, E. L.; DEER, L. A.; RICE, T. M. Differential toxicity to Cd, Pb, and Cu in dragonfly larvae (Insecta: Odonata). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 56, p. 77–84, 2009.

WAYLAND, M.; CROSLEY, R. Selenium and other trace elements in aquatic insects in coal mine-affected streams in the rocky mountains of Alberta, Canada. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 50, p. 511–522, 2006.

WESTFALL JR, M. J. Odonata. In: MERRITR, R. W.; CUMMINS, K. W. (Ed.). **An introduction to the Aquatic Insects of North America**. 3.ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publishers, 1996.

WILCKE, W.; LIFIENFEIN, J.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Contamination of highly weathered urban soils in Uberlândia, Brazil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 162, p.539-548, 1999.

WINNER, H. E.; BOESEL, M. W.; FARRELL, M. P. Insect Community Structure as an Index of Heavy-Metal Pollution in Lotic Ecosystems. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, p. 647-655, 1980.

ZAMBONI, A. J. **Avaliação da qualidade de água e sedimento do canal de São Sebastião através de testes de toxicidade com *Lytechinus variegatus***. Tese (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados desta pesquisa permitem afirmar que as concentrações de metais pesados nos sedimentos de córregos com atividades predominantemente agropecuárias no seu entorno foram mais elevadas do que em córregos em que estas atividades não são predominantes e que são circundados por áreas mais preservadas, com presença de vegetação ripária.

A fraca relação verificada entre os parâmetros biológicos (riqueza, abundância,  $H'$  e  $J'$ ) e os metais pesados no sedimento indica que a estrutura de assembleias de larvas de Odonata não foi uma boa indicadora de variações na concentração de metais pesados e, portanto, esses parâmetros não refletiram bem a qualidade ambiental dos córregos em relação a esses contaminantes. Nesse sentido, para que seja possível a visualização de resultados mais significativos, sugere-se que sejam realizados estudos

comparativos em córregos com maiores gradientes de variação de metais pesados nos sedimentos, uma vez que as diferenças observadas nas concentrações de sedimentos dos córregos desta pesquisa podem ter sido pequenas para promover alterações nas assembléias de Odonata.

A diferença entre os padrões de concentração de metais no sedimento e nas larvas de Gomphidae avaliadas indica a importância de se avaliar não somente os sedimentos como também a fauna associada, uma vez que cada um pode refletir de maneira diferente a qualidade de determinado ambiente.

O potencial de bioacumulação para as larvas de Gomphidae permite concluir que este grupo é eficiente em concentrar metais em seu organismo, podendo refletir a condição ambiental de seus habitats e servir como ferramenta importante em estudos de biomonitoramento em diferentes escalas espaciais e temporais.

Salienta-se, também, a importância de áreas preservadas e com vegetação ripária abundante para promoção da heterogeneidade de habitats e com isso maior diversidade de organismos, além da proteção dos cursos d'água contra o carreamento de substâncias potencialmente tóxicas, como os metais pesados, oriundas de atividades antrópicas no entorno.

De modo geral, os resultados ressaltam o grande potencial da ordem Odonata para estudos ambientais, pois se trata de um grupo diversificado e ubíquo, no qual está representado um amplo espectro de espécies, associadas a diferentes condições ambientais e capazes de refletir as condições de seus ambientes, no caso desta pesquisa, com relação à concentração de metais pesados, substâncias geralmente nocivas à biota aquática e que merecem a devida atenção.