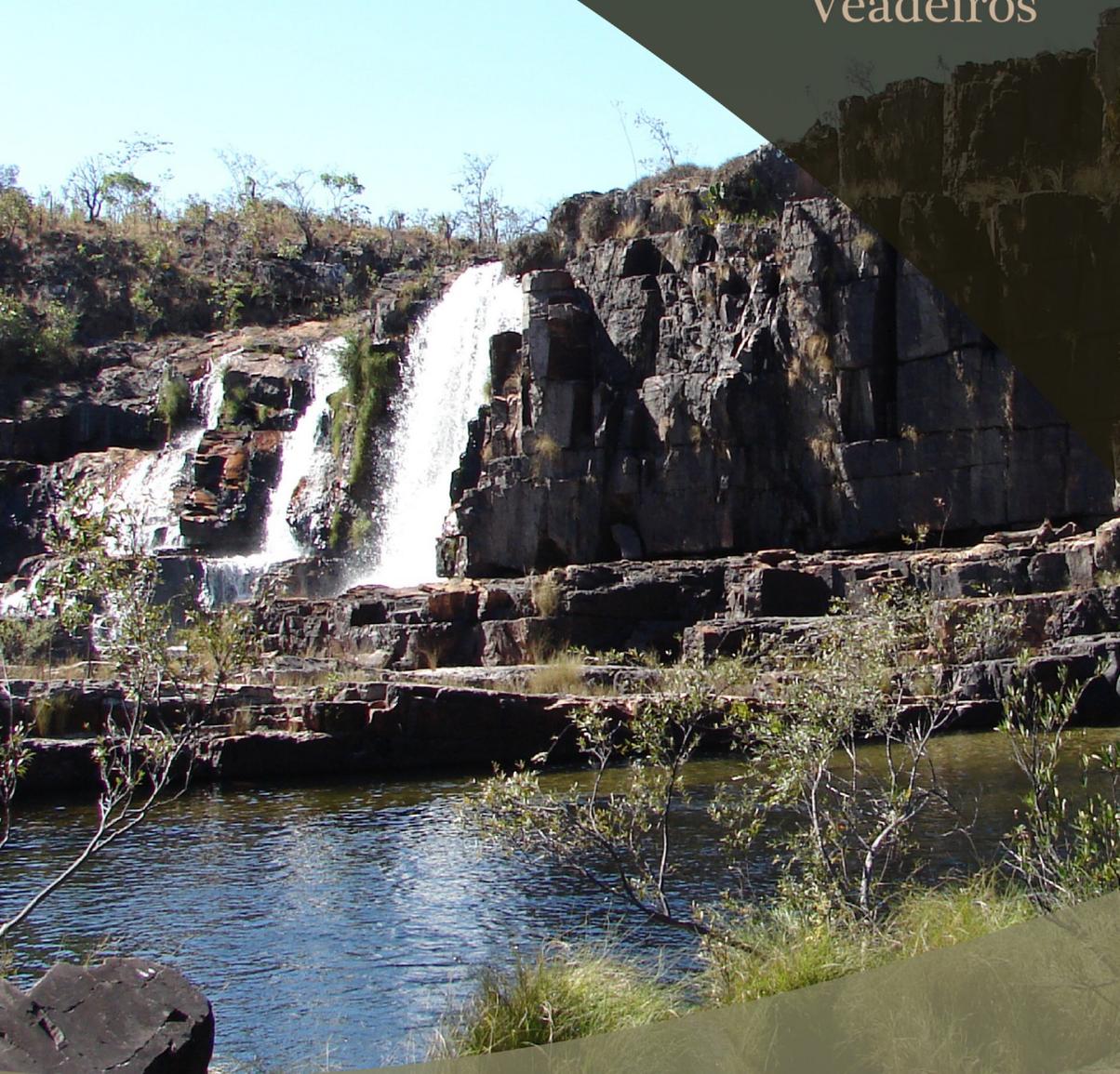


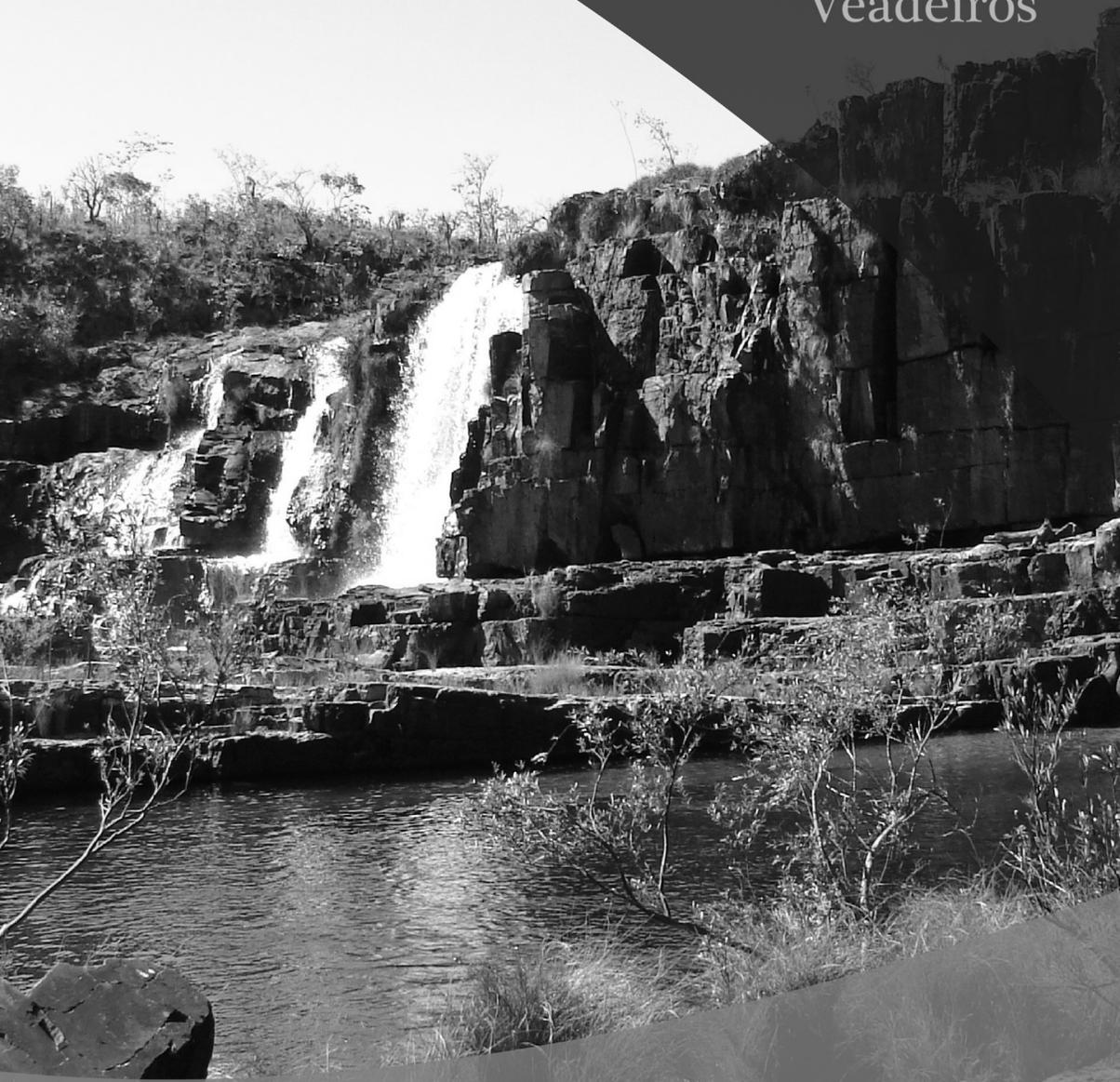
Mapeamento de Indicadores Ambientais e de Diversidade Biológica Aquática da Chapada dos Veadeiros



Claudia Padovesi Fonseca
(organizadora)

 EDITORA
ARTEMIS
2023

Mapeamento de Indicadores Ambientais e de Diversidade Biológica Aquática da Chapada dos Veadeiros



Claudia Padovesi Fonseca
(organizadora)

 EDITORA
ARTEMIS
2023



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizadora	Prof. ^a Dr. ^a Claudia Padovesi Fonseca
Imagem da Capa	Catarata do Rio dos Couros, Chapada dos Veadeiros, GO, Fotografia de: Claudia Padovesi Fonseca (arquivo pessoal)
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México

Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointier Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil



Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.^a Dr.^a Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba
Prof.^a Dr.^a Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
Prof.^a Dr.^a Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof.^a Dr.^a Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.^a Dr.^a Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.^a Dr.^a Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
Prof.^a Dr.^a Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia
Prof.^a Dr.^a Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León*, Espanha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

M297 Mapeamento de indicadores ambientais e de diversidade biológica aquática da Chapada dos Veadeiros / Organizadora Claudia Padovesi Fonseca. – Curitiba, PR: Artemis, 2023.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-87396-86-6

DOI 10.37572/EdArt_030723866

1. Ecossistemas – Veadeiros, Chapada dos (GO). I. Fonseca, Claudia Padovesi.

CDD 580.981

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



DEDICATÓRIA

À Mercedes, minha mãe, pelo amor e
confiança

Aos meus filhos, Ana Luisa e Artur, pela
permissão do recomeço

AGRADECIMENTOS

Este livro é fruto de pesquisas realizadas pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) da Universidade de Brasília (UnB), cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) desde 1997. As atividades do projeto 'Mapeamento de indicadores ambientais e de diversidade biológica aquática da Chapada dos Veadeiros' foram iniciadas em 2011. A sede do Centro de Estudos Avançados do Cerrado (CER) da Universidade de Brasília em Alto Paraíso de Goiás foi fundamental para o apoio logístico das atividades de campo e de laboratório do projeto em andamento.

Agradecemos à secretaria do CER de Alto Paraíso, pelo auxílio nas comunicações e logística para aulas ministradas aos estudantes de ensino médio da região. Estendemos os agradecimentos à diretoria do CER, Maria Júlia Martins Silva (Diretora) e Renato Caparroz (Vice-Diretor).

Agradecemos ao Instituto de Biologia da UnB pela viabilização de veículo e motorista, e que, frequentemente nos auxiliava nas coletas de campo e análise laboratorial.

Agradecemos ao Centro de Estudos Avançados do Cerrado (CER) da Universidade de Brasília pelo apoio logístico no transporte de Brasília a Alto Paraíso, com a disponibilização de veículo e motorista.

Agradecemos ao CER pelas bolsas de iniciação científica voltadas especificamente para estudos na Chapada dos Veadeiros.

Agradecemos a todos os estudantes que participaram das atividades de campo e laboratório durante o período do projeto. O envolvimento de todos na execução das atividades foi fundamental para a troca de conhecimento e produção de resultados com embasamento técnico-científico.

APRESENTAÇÃO

Um mergulho ao centro do Brasil. A partida foi o encontro de duas pesquisadoras amigas e loucas por águas. Que vislumbraram a oportunidade de trabalhar sua fonte de loucura em águas nunca codificadas sob suas especialidades. O convite se estendeu a outras pesquisadoras que embarcaram firmes nessa corrente de loucura. Formamos o quarteto de mulheres na ciência aquática do centro do Brasil: eu, Maria Júlia, Maria Fernanda e Valéria. Navegantes foram convocados a incorporar a tripulação nessa aventura aquática. Estudantes em formação, graduados e técnicos formaram a nossa estimada equipe nas idas ao campo e análise laboratorial de amostras de água e material biológico. A nossa área de estudo são as águas da Chapada dos Veadeiros, no centro do Brasil. Onde as nuvens e os picos dos morros se encostam entre vales, que conferem espetaculares paisagens. Águas que nascem em um contínuo e percorrem vales rochosos e planaltos de vidas seculares. Do encontro das loucas se passaram 12 anos e, nesse momento, o brindamos com a publicação do presente livro.

O livro aborda o mapeamento de indicadores ambientais e de diversidade biológica aquática. O capítulo inicial apresenta bases na biodiversidade aquática que confere o Cerrado como região relevante para abrigo de espécies endêmicas, bem como as ameaçadas de extinção.

Temos mais quatro capítulos que traduzem a indicação de grupos biológicos na qualidade ambiental das águas do Cerrado do Brasil central. As algas de riachos de cabeceira e de interface do Cerrado com outros biomas do Brasil foram mapeadas, e apontaram maior poder de avaliação ambiental local, em detrimento ao efeito da paisagem da bacia hidrográfica. A microfauna de rios foi analisada em dois cursos d'água da Chapada dos Veadeiros. O tipo de sedimento e a heterogeneidade ambiental dos córregos foram os pilares para a diversificação de espécies. Tendência semelhante foi obtida para os macroinvertebrados bentônicos nesses dois cursos d'água. Houve o registro de maior número de organismos em sedimento rochoso e em período sem chuvas. Estratégia reprodutiva de espécies de peixes foi analisada no alto do rio Tocantins em área de influência de represa artificial. Os aspectos reprodutivos foram influenciados pelo represamento do rio, em especial das espécies de peixes migratórias.

Os dois últimos capítulos se referem à caracterização da bacia hidrográfica e condições ambientais, e físicas e químicas das águas de rios da Chapada dos Veadeiros. As águas de três rios indicaram boa qualidade, e os rios se encontram preservados em termos de qualidade química. A principal contribuição química é de origem natural decorrente do intemperismo e lixiviação do solo. Diagnóstico ambiental dos rios e de

suas bacias hidrográficas identificou elementos essenciais para o poder de preservação da região. O Cerrado está bem preservado e ainda tem reduzida atividade humana na área. Entretanto, os cursos d'água são vulneráveis à entrada de sedimentos devido ao acentuado declive do solo e a sua predominância de ser pedregoso.

A publicação desse livro vem ao encontro de suprir lacunas ainda presentes sobre as águas do Cerrado do centro do país, tanto voltadas para o conhecimento da diversidade biológica, bem como obtenção de diagnósticos de condições ambientais de áreas preservadas e ainda prístinas.

Demonstra também a importância de unidades acadêmicas localizadas em municípios da região de coletas de campo, como o Centro de Estudos Avançados do Cerrado da Universidade de Brasília (CER/UnB). A realização desse projeto não seria possível sem a logística fornecida pelo Centro, bem como de suas bolsas aos estudantes vinculados. Alia a formação de recursos humanos e fornece subsídios aos gestores ambientais.

O livro está dirigido a graduandos e graduados em ecologia, biologia e de outras áreas ambientais; técnicos e profissionais de meio ambiente em instituições de pesquisa, de órgãos ambientais, privados e governamentais.

Esperamos que esse livro seja útil para agregar conhecimento e permitir reflexões dirigidas a decisões que efetivamente contribuam para um futuro melhor. Boa leitura!

Brasília, 12 de maio de 2023.

Claudia Padovesi Fonseca
Organizadora

PREFÁCIO

A Chapada dos Veadeiros é uma região onde a natureza é superlativa em todos os aspectos, quanto à biodiversidade, paisagens e belezas cênicas, destinos turísticos, e diversidade cultural e humana. É reconhecida como um dos centros de riqueza e endemismo da biota do Cerrado, e possui grandes áreas naturais, como o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, diversas Reservas Particulares do Patrimônio Natural, a APA do Pouso Alto, e outras áreas protegidas públicas e particulares. Destaca-se ainda a presença do pato-mergulhão, espécie criticamente ameaçada de extinção, e considerado o “embaixador das águas brasileiras” por depender de águas limpas e transparentes para sobreviver.

Os aspectos notáveis da Chapada dos Veadeiros, assim como o pato-mergulhão, são associados à água, sejam os ecossistemas de veredas de buriti, os campos úmidos e campos de murundus, os córregos e rios cristalinos ou dourados, e as incontáveis cachoeiras. Dito isto, é paradoxal que existam pouquíssimas pesquisas científicas sobre os ambientes hídricos da região.

Este livro vem com sucesso cobrir várias lacunas sobre o conhecimento da biota aquática da Chapada dos Veadeiros, graças ao trabalho da coordenadora Profa. Claudia Padovesi Fonseca, e demais colegas da Universidade de Brasília, Profa. Maria Júlia Martins Silva, Profa. Maria Fernanda Nince Ferreira, Profa Valéria Regina Belotto, Carolina Teixeira Puppim Gonçalves, e João Bosco Rodrigues Peres Júnior.

Parabenizo a coordenadora e os autores dos capítulos, e desejo que o livro encontre o sucesso merecido pela qualidade do trabalho e relevância para o conhecimento e conservação da biodiversidade e qualidade de vida humana na Chapada dos Veadeiros.

Roberto Brandão Cavalcanti
Prof. da Universidade de Brasília
Pesquisas em ecologia e conservação da avifauna do Cerrado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ÁREAS DE CERRADO COMO ANÁLISE DE REFERÊNCIA PARA A CONSERVAÇÃO
AQUÁTICA NO BRASIL

Claudia Padovesi Fonseca

Maria Júlia Martins Silva

Carolina Teixeira Puppim Gonçalves

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0307238661

CAPÍTULO 2..... 21

DIVERSIDADE DE ALGAS EM RIACHOS PRÍSTINOS DO CERRADO

Claudia Padovesi Fonseca

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0307238662

CAPÍTULO 3..... 30

MICROFAUNA DE RIOS DA CHAPADA DOS VEADEIROS, BRASIL CENTRAL

Claudia Padovesi Fonseca

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0307238663

CAPÍTULO 4..... 40

MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM RIACHOS DE CABECEIRA DA
CHAPADA DOS VEADEIROS

Maria Júlia Martins Silva

Claudia Padovesi Fonseca

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0307238664

CAPÍTULO 5..... 50

ESTRATÉGIA REPRODUTIVA DE PEIXES TELEÓSTEOS EM UM AMBIENTE
IMPACTADO PELA CONSTRUÇÃO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA NO ALTO RIO
TOCANTINS

Maria Fernanda Nince Ferreira

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0307238665

CAPÍTULO 6..... 59

HIDROGEOQUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DE RIOS DO CERRADO CENTRAL DO BRASIL

Valéria Regina Bellotto

João Bosco Rodrigues Peres Júnior

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0307238666

CAPÍTULO 7..... 72

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS DA CHAPADA DOS VEADEIROS, BRASIL CENTRAL

Claudia Padovesi Fonseca

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0307238667

SOBRE A ORGANIZADORA..... 83

ÍNDICE REMISSIVO 84

CAPÍTULO 1

ÁREAS DE CERRADO COMO ANÁLISE DE REFERÊNCIA PARA A CONSERVAÇÃO AQUÁTICA NO BRASIL¹

Data de submissão: 24/05/2023

Data de aceite: 12/06/2023

Claudia Padovesi Fonseca

Professora Associada da
Universidade de Brasília (UnB)
Líder do Núcleo de Estudos
Limnológicos (NEL) – CNPq
Mestre e Doutora em Área de Limnologia
pela Universidade de São Paulo (USP)
Realizou pós-doutorado na
Universidade de Paris
Pierre e Marie Curie, na França, e na
Universidade de Granada, na Espanha
Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL)
Departamento de Ecologia
Laboratório de Limnologia
Universidade de Brasília (UnB)
Brasília, DF, 70910-900, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-7915-3496>

Maria Júlia Martins Silva

Professora Associada da
Universidade de Brasília, Diretora do
Centro de Estudos do Cerrado da
Chapada dos Veadeiros (UnB Cerrado)
Mestre e Doutora em Zoologia no
Museu Nacional do Rio de Janeiro e na
Universidade de São Paulo
Centro UnB Cerrado
Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL)
Departamento de Zoologia
Laboratório de Bentos
Universidade de Brasília (UnB)
Brasília, DF, 70910-900, Brasil

Carolina Teixeira Puppim Gonçalves

Graduada em Licenciatura e
Bacharelado no curso de
Ciências Biológicas na
Universidade de Brasília (UnB)
Mestre em Zoologia Aplicada (UnB)
Doutora em Ecologia Aquática
Universidade Federal do
Rio Grande do Norte (UFRN)
Foi Analista Ambiental na
Indústria Salineira
Salinas do Nordeste SA - Salinor
Pós-doutoranda na UFRN
Pós-doutoranda
Centro de Biociências
Campus Universitário
Universidade Federal do
Rio Grande do Norte (UFRN)
Av. Sen. Salgado Filho, 3000
Lagoa Nova, Natal - RN
59064-741, Brasil

RESUMO: O Cerrado é reconhecido como um ambiente (hotspot) relevante, sendo biologicamente o mais rico do mundo, com significativo grau de endemismo. A região central do Domínio Cerrado é considerada o “berço das águas” do Brasil, com importantes nascentes de bacias hidrográficas sul-americanas. As atividades antrópicas causaram diversos impactos nas bacias de drenagem, como poluição hídrica e assoreamento de cursos d’água, afetando a biota ribeirinha e aquática. A biodiversidade

¹ Versão em inglês desse artigo foi publicada na revista científica Biodiversity Journal, ano 2015, volume 6, número 4, pp. 805–816.

aquática dessa região ainda é pouco conhecida, apesar de estudos sobre a fauna e a flora terrestre mostrarem uma estimativa de 160 mil espécies. Nesta revisão, a biodiversidade aquática do Domínio Cerrado foi avaliada em levantamento bibliográfico de 2004 a 2012. Os dados obtidos até o momento são esparsos e focados em poucos grupos de organismos, e a riqueza de espécies aquáticas é estimada em 9.580 espécies. Espera-se que pelo menos 22,8% das espécies de peixes do Brasil ocorram no Cerrado, assim como 25,2% dos moluscos bivalves e 41,9% das algas diatomáceas. O endemismo é relevante para alguns grupos, chegando a 25% para peixes e mais de 10% para bivalves e diatomáceas. Com base no potencial de heterogeneidade ambiental dos sistemas aquáticos localizados em áreas altas e protegidas, sua preservação permanente tem sido um desafio para o abrigo de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, revelando um enorme patrimônio genético, como fundamenta este estudo para o Domínio Cerrado na região central Brasileira.

PALAVRAS-CHAVE: Savana brasileira. Áreas preservadas. Biodiversidade aquática. Espécies endêmicas.

CERRADO'S AREAS AS A REFERENCE ANALYSIS FOR AQUATIC CONSERVATION IN BRAZIL

ABSTRACT: The Cerrado is recognized as a relevant hotspot, being biologically the richest one in the world, with a significant degree of endemism. The central region of Cerrado Domain is considered the “water cradle” of Brazil, with important springs from South American watersheds. Human activities caused several impacts on drainage-basins, as water pollution and silting of running waters, affecting riparian and aquatic biota. The aquatic biodiversity of this region is yet poorly known, despite studies on the fauna and flora terrestrial showed an estimate of 160 thousand species. In this review, the aquatic biodiversity of the Cerrado Domain was evaluated on literature survey from 2004 to 2012. Data obtained until now are sparse and focused in some few organism groups, and the aquatic species richness is estimated to 9,580 species. At least 22.8% of fish species in Brazil are expected to occur in Cerrado, as well as 25.2% of bivalve mollusks, and 41.9% of the diatom algae. The endemism is relevant for some groups, reaching 25% for fishes and more than 10% for bivalves and diatoms. Based on the potential of environmental heterogeneity of the aquatic systems located in high and protected areas, their permanent preservation have been a challenge for shelter of endemic and endangered species, revealing a huge genetic patrimony, as grounded by this study for the Cerrado Domain in central Brazil.

KEYWORDS: Brazilian Savanna. Preserved areas. Aquatic biodiversity. Endemic species.

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é a mais extensa savana florestal da América do Sul e compreende 21% do território brasileiro. O Planalto Central brasileiro é coberto pelo Cerrado e se estende por uma área de 2.031.990 km². É biologicamente a mais rica do mundo, com significativo grau de endemismo (MYERS *et al.*, 2000). A UNESCO classificou

o Cerrado como Reserva da Biosfera e é referido como um dos mais importantes ambientes (hotspots) de biodiversidade do mundo, com alta prioridade na conservação da biodiversidade. Este bioma possui 30% da biodiversidade brasileira e pelo menos 5% da riqueza de flora e fauna do mundo (OLIVEIRA & MARQUIS, 2002). A região do Cerrado é considerada o “berço das águas” do Brasil, com importantes nascentes das bacias da América do Sul, como as bacias do Prata, do Amazonas e do São Francisco. A predominância de terras altas no Brasil central proporciona condições para a drenagem das águas superficiais para as regiões mais baixas.

As fontes e nascentes de água de boa qualidade possibilitam a obtenção da água para uso da população, sendo imprescindível a adequação da gestão hídrica. O Brasil detém uma parcela significativa do escoamento superficial mundial (12,7%) e o Brasil central possui recursos hídricos potenciais devido a nascentes preservadas, apesar da crescente ocupação irregular pela população humana (MMA, 1998). A água subterrânea é um recurso renovável, mas é necessário tempo suficiente para permitir a reposição dos aquíferos. Tais áreas devem ser adequadamente manejadas a fim de evitar a contaminação por resíduos que possam se infiltrar e poluir o abastecimento subterrâneo.

Assim, o Cerrado do Brasil central compreende uma região com nascentes e bacias hidrográficas de alto valor, mas seu manejo deve ser direcionado para o acúmulo de água em reservatórios para uso humano regional. O volume de água do continente é finito e as nascentes são distribuídas irregularmente. Atualmente, a disponibilidade hídrica diminui gradativamente devido à degradação ambiental, ao crescimento populacional desordenado e à expansão agrícola (KLINK & MACHADO, 2005).

Nos últimos 35 anos, mais de 50% da área foi transformada em pastagens e terras agrícolas. As taxas de desmatamento têm sido intensas, mas os esforços de conservação têm sido modestos: apenas 2,2% estão sob proteção legal. As práticas de queima para limpar a terra para cultivo e crescimento de pastagens também causaram danos, mesmo em um ecossistema adaptado ao fogo como o cerrado brasileiro. A agricultura do Cerrado é lucrativa e espera-se que sua expansão continue, com melhoras na infraestrutura de transporte. A modificação da paisagem e as ameaças a inúmeras espécies aumentaram as preocupações com a conservação do Cerrado, e avanços como a expansão de áreas protegidas e o desenvolvimento de práticas agrícolas estão sendo aplicadas, beneficiando a subsistência das comunidades locais (KLINK & MACHADO, 2005).

Essas atividades antrópicas causaram diversos impactos nas bacias hidrográficas, como poluição hídrica, assoreamento de cursos d'água e perdas de

mata ciliar e biota aquática. Apesar de estudos sobre a fauna e a flora do Cerrado mostrarem uma estimativa de 160 mil espécies, a biodiversidade dessa região ainda é pouco conhecida. Essa situação é marcada pela diversidade de grupos aquáticos como invertebrados, algas, macrófitas e peixes (MMA, 2007).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho pretende examinar a afirmação da alta biodiversidade brasileira estimada em cerca de 13% das espécies do mundo (LEWINSOHN & PRADO, 2005). Esta pesquisa foi baseada em um levantamento bibliográfico com foco nos ecossistemas aquáticos do Cerrado brasileiro. O Scielo (Scientific Electronic Library Online) e o site do Institute for Scientific Information (Thomson Corporation, 2012) foram explorados usando as palavras-chave “Cerrado” e “biodiversidade” (artigos publicados entre 12 de dezembro de 2004 e 31 de outubro de 2012). A biodiversidade aquática no Cerrado também foi investigada em teses acadêmicas referenciadas pelo IBICT (Biblioteca Digital Brasileira de Teses) de 2005 a 2012.

Foi feita uma comparação entre os dados apresentados neste trabalho e os obtidos por Agostinho et al. (2005), seguida de uma breve caracterização ecológica dos sistemas aquáticos interiores tendo em conta os parâmetros hidrológicos, tais como águas paradas ou correntes, e as principais categorias de zonas húmidas.

3 DISCUSSÃO

3.1 UMA BREVE CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS INTERIORES DO CERRADO

A região central do Domínio Cerrado apresenta uma variedade de ecossistemas aquáticos naturais. Além dos corpos hídricos lóticos (águas correntes) e lênticos (águas estagnadas), existe nesta região outro sistema aquático específico, que está associado a áreas inundáveis inseridas na categoria de zonas úmidas. De acordo com a convenção de Ramsar (1971), considera-se zona úmida toda a extensão de pântanos, poças e turfas, ou quaisquer superfícies aquosas, artificiais ou naturais, permanentes ou temporárias, doces ou salgadas. A ocorrência e extensão de zonas úmidas no Cerrado produz uma ampliação entre os sistemas terrestre e aquático, dando chance à pesquisa científica ainda pouco explorada nessas áreas.

Muitos riachos de baixa ordem fazem parte dos sistemas de drenagem da região central do Cerrado. Trata-se de uma rede hidrográfica dendrítica com pequenos cursos de água cujas cabeceiras emergem nas saias do planalto e cuja extensão se encontra

originalmente protegida por uma densa vegetação ribeirinha. Em condições naturais, suas águas são pobres em nutrientes, levemente ácidas e de baixa condutividade elétrica (até 10 μ S/cm). Devido às ribeiras rasas, de pequena dimensão e normalmente sombreadas, a temperatura da água mantém-se entre os 17 e os 20°C (PADOVESI-FONSECA, 2005). Em riachos mais quentes, a temperatura pode chegar a 25°C durante o verão. A densa cobertura vegetal ciliar impede a incidência direta dos raios solares, reduzindo a produtividade primária realizada pela vegetação aquática. A escassez de luz associada à baixa corrente e poucos nutrientes limitam o desenvolvimento dos organismos aquáticos, principalmente dos flutuantes, influenciando toda a cadeia alimentar. Por outro lado, a presença de mata ciliar regula o aquecimento excessivo da água, fornece a energia alóctone por meio de folhas, frutos e sementes para o sistema hídrico e fornece as condições ambientais para reprodução de diversas espécies. Itens alóctones, como restos vegetais e outros organismos, são fontes adicionais de alimentação para o sistema lótico, ligando e ampliando a teia alimentar. As espécies presentes nessas regiões desempenham um papel importante no estudo da biodiversidade, uma vez que muitas delas ocorrem em condições ambientais distintas, podendo se tornar endêmicas na região do Cerrado (SCHNEIDER *et al.*, 2011).

Atualmente, em muitas áreas, a mata ciliar encontra-se bastante alterada ou é mesmo inexistente; devido à frequência com que tem sido substituído por gramíneas. A erosão das margens, o assoreamento dos cursos d'água, a poluição e a contaminação das águas são as principais consequências do uso antrópico indiscriminado das bacias.

O núcleo do Domínio Cerrado possui inúmeros lagos e lagoas naturais formadas pela ressurgência das águas subterrâneas. Essas águas paradas tendem a ter formas e profundidades bem definidas. Suas características físicas e químicas refletem as condições da bacia hidrográfica, como tipo de solo, relevo e geologia (FONSECA *et al.*, 2014).

As lagoas são elementos transitórios na paisagem, uma vez que aparecem e desaparecem ao longo do tempo geológico. Seu curto prazo de vida está associado a diversos fenômenos, como sedimentos e aportes afluentes na bacia de drenagem, e o acúmulo de materiais em seu fundo. (BEUCHLE *et al.*, 2015).

As lagoas são lagos rasos geralmente com águas transparentes. Como a luz do sol pode atingir seu fundo, eles são bem iluminados e com abundância de plantas aquáticas em suas margens e fundo. A colonização por essas plantas representa uma espécie de heterogeneidade ambiental, afetando o metabolismo da lagoa (POMPÊO & MOSCHINI-CARLOS, 2003) e ampliando os grupos ecológicos e a biodiversidade local residente nessa área.

Esta quantidade vegetal tem uma relação ecológica com a flora e fauna aquática da lagoa. Áreas com espécies de macrófitas representam importantes refúgios, berçários e habitats de alimentação para organismos aquáticos, com a disponibilidade de alimentos e complexidade estrutural proporcionando proteção e diversidade de microhabitats (SÁNCHEZ-BOTERO *et al.*, 2007). Eles também reduzem a ação dos ventos e mantêm a condição da água. Os nutrientes presentes no sedimento das lagoas podem ser absorvidos pelas raízes, ficando disponíveis para a planta. A decomposição vegetal fornece nutrientes que podem ser reaproveitados, e as macrófitas aquáticas podem se tornar as principais produtoras de matéria orgânica da lagoa. A complexidade estrutural do habitat e suas implicações para a estrutura da comunidade e dinâmica da cadeia alimentar foram discutidas por WARFE & BARMUTA (2006).

As lagoas tendem a ficar mais rasas durante a estação seca e, na estação chuvosa, seu nível de água oscila de acordo com o regime de precipitação. Durante a estação chuvosa, muitos deles podem apresentar águas turvas devido ao aporte de sedimentos do solo circundante ou de veios d'água originados nas cabeceiras. (BLEICH *et al.*, 2009). Vários estudos mostraram a influência do regime de precipitação, especialmente durante o longo período seco, sobre os nutrientes e a biota, com a geração de variabilidade espacial que afeta as propriedades da qualidade da água e os produtores primários (*e.g.*, ODEBRECHT *et al.*, 2005).

Muitas dessas lagoas estão situadas em áreas elevadas e protegidas, sendo que parte delas ainda é desconhecida pela população ou mesmo pelos cientistas. Quando localizados em locais altos e dentro de bacias hidrográficas, podem atuar como corredores ecológicos interligando a flora e a fauna de bacias contíguas. Estas áreas são, em geral, o abrigo tanto de espécies endêmicas como também as ameaçadas de extinção, revelando um enorme patrimônio genético (PADOVESI-FONSECA, 2008). Mesmo situadas em áreas preservadas, algumas lagoas já se encontram alteradas devido à ocupação humana e à expansão agrícola.

O desenvolvimento da vegetação é condicionado por vários fatores, como tipo e fertilidade do solo, nível de saturação do solo durante a estação seca, profundidade e flutuação do volume das águas subterrâneas. Em áreas altas e bem drenadas, a cobertura vegetal é típica do Cerrado, composta por uma mistura de gramíneas, arbustos e pequenas árvores. Nas áreas mais baixas, onde o solo está saturado, a cobertura vegetal é geralmente de espécies gramíneas, diferente das do Cerrado. E, nas terras altas úmidas, a vegetação é formada por buritis (*Mauritia vinifera* Mart.), árvores típicas da região (PADOVESI-FONSECA, 2005).

As veredas são formações vegetais muito comuns no Planalto Central Brasileiro que ocorrem em solos permanentemente saturados de água. Possuem uma densa camada vegetal rasteira formada por espécies herbáceas pantanosas que vivem em poças, como gramíneas, Cyperaceae e Pteridophyta. Nos demais estratos da vereda, há uma faixa de buritis, palmeiras proeminentes que ocasionalmente podem atingir mais de 20 m de altura. Esta formação é ecologicamente importante, uma vez que funciona como local de pouso, descanso, abrigo, nidificação e alimentação de aves, servindo também como fonte de alimento para a fauna terrestre e aquática. Para as aves, as veredas têm sido pouco utilizadas pelas espécies endêmicas do Cerrado, mas são o principal requisito de habitat para várias espécies, conforme revisado por TUBELIS (2004). Assim, esta vegetação é um ecossistema importante para a biodiversidade regional, exigindo esforços para sua conservação.

Campos pantanosos são amplamente distribuídos no Brasil central. Ocorrem em terrenos inclinados de vale ao longo das margens da vegetação de galeria. A água subterrânea permanece na superfície do solo durante todo o ano, principalmente na estação chuvosa, e, na estação seca, mantém as camadas subterrâneas encharcadas. Esta vegetação é composta principalmente por gramíneas de estratos herbáceos, e apresenta um solo altamente orgânico e esponjoso (não turfoso). As águas subterrâneas superficiais e profundas tendem a ser ligeiramente ácidas (pH cerca de cinco), pobres em íons (condutividade elétrica abaixo de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$), têm temperaturas mais baixas (até 22°C) e oxigênio suficiente. Tais pastagens contêm solos hidro mórficos mal drenados, conforme discutido por HARIDASAN (2008).

Os campos pantanosos situam-se entre a mata ciliar e os campos cerrados ou veredas. A composição de espécies de gramíneas e caniços em pastagens úmidas é diversificada e apresenta um zoneamento espacial (GOLDSMITH, 1974), onde em áreas menos encharcadas é possível encontrar *Drosera* (planta carnívora), *Sphagnum* (turfa) e *Utricularia* (planta, carnívora). e em locais saturados de água, filamentos complexos de algas se desenvolvem na superfície do solo. (AMARAL *et al.*, 2013).

Dentro dos campos pantanosos, as áreas com solos elevados e expostos são chamadas de murundus. Os murundus são redondos e ligeiramente altos, variando de 1 a 10 m de diâmetro e até dois metros de altura (OLIVEIRA -FILHO, 1992). São formados por erosão diferenciada do solo e, mais frequentemente, são colonizados por cupins (GOLDSMITH, *op. cit.*).

FURLEY (1986) apresenta duas situações que contribuem para a formação dos murundus: uma é pela ressurgência das águas subterrâneas que permanecem próximas

à superfície, mantendo o solo geralmente orgânico encharcado nas terras baixas do vale. A outra possibilidade é pela ciclagem sazonal das chuvas e escoamento superficial da água, que é mais incomum, mas ocorre em áreas mais planas.

Os murundus presentes em áreas limpas apresentam um arranjo espacial descontínuo ao longo de um eixo longitudinal que de alguma forma afeta a abundância e distribuição do organismo aquático. Em um pântano de encosta perto de Brasília, capital do Brasil, foi registrada uma espécie endêmica de Copepoda em uma área de Cerrado, registrada como *Murunducaris juneae* (REID, 1994). (REID, 1993; 1994; CORGOSINHO *et al.*, 2008 e referências). Os murundus são comuns no planalto central do Brasil (REID, 1993) assim como em outras áreas do Domínio Cerrado, mas estudos nessas áreas ainda são necessários para melhorar o conhecimento dos sistemas abióticos e bióticos do cerrado brasileiro.

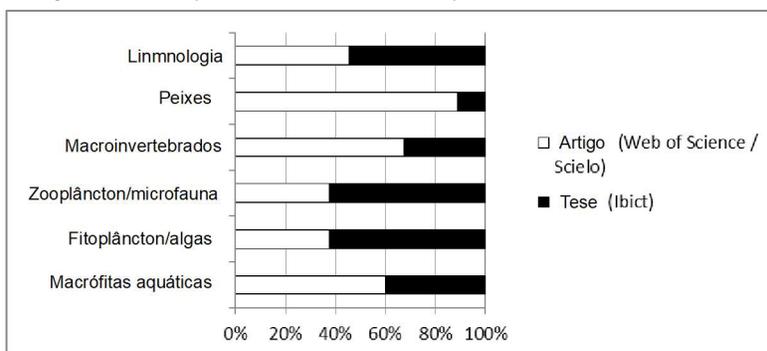
3.2 BIODIVERSIDADE AQUÁTICA

Já é reconhecido o alto grau de endemismo da biota do Cerrado, com excepcional riqueza biológica, detendo 5% da biodiversidade conhecida do planeta (OLIVEIRA & MARQUIS, 2002). Por esse motivo, é considerado um local importante no mundo e um dos biomas mais ricos e ameaçados da Terra. As áreas mais importantes para a preservação biológica estão situadas ao longo do eixo central do Cerrado brasileiro (MMA, 2007).

Uma revisão feita por AGOSTINHO *et al.* (2005) em relação à diversidade de espécies e espécies ameaçadas revelou a dificuldade de se ter um número mais preciso das espécies aquáticas interiores do Brasil. Este levantamento de literatura produziu 217 resultados de 1990 a 2004, enquanto o presente estudo obteve 308, a partir de 2004 a 2012. Esses dois levantamentos mostraram duas tendências principais: a falta de dados da biodiversidade brasileira e a tendência de produzir resultados semelhantes, sejam levantamentos do Brasil ou do Cerrado, embora em diferentes períodos de análise. Entre as 308 pesquisas para o Cerrado, apenas 4% se referiam a organismos de água doce; enquanto AGOSTINHO *et al.* (2005) encontraram 11%.

Como as teses acadêmicas não publicadas foram investigadas, elas revelaram uma predominância de estudos relacionados a macroinvertebrados aquáticos (cerca de 40%), seguidos de fitoplâncton e zooplâncton (15%). As pesquisas envolvendo espécies de peixes e macrófitas aquáticas atingiram apenas seis por cento das teses exploradas (Figura 1).

Figura 1. Aumento potencial da biodiversidade aquática no Domínio Cerrado, Brasil.



A riqueza do cerrado brasileiro é estimada em 9.580 espécies (MMA, 2002; 2004) e, conforme argumentado por AGOSTINHO et al. (2005), o número de espécies aquáticas em suas águas interiores é irregular devido à falta de requisitos básicos para a produção de inventários realistas. O número estimado de espécies nas águas interiores do Brasil e do Cerrado foi representado pela Tabela 1.

Tabela 1. Número estimado de espécies aquáticas no Cerrado e Brasil.

TÁXONS	CERRADO ^a	CERRADO (endêmicas spp) (10 – 25%) ^b	BRASIL	Referências
Macrófitas	100-300**	10 – 75	500–600	Pott et al 2011**; Agostinho et al. 2005
Algas total	2,500	250 – 625	10,000	MMA 2003
Bacillariophyta (diatomáceas)	503**	51 - 126	1,000 – 1,200	Silva et al. 2011**; Lewinsohn & Prado 2005
Chlorophyta	563**	53 – 141	2,500 – 3,500	Freitas & Loverde-Oliveira 2013**; Lewinsohn & Prado 2005
Cyanobacteria	115	12 - 29	460	Sant’Anna et al 2011
Protozoa (Sarcodina)	400	40 - 100	550	MMA 1999
Protozoa (Ciliate)	1,500	150 – 375	≤ 1,500	MMA 1999
Platyhelminthes (Cestoda)	30	3 – 8	120	Rego 2004
Mollusca (Bivalvia)	29	3 - 8	115	MMA 2003; Agostinho et al 2005
Mollusca (Gastropoda)	48	5 – 12	193	MMA 2003; Agostinho et al 2005
Rotifera	137	19	457	MMA 2003
Arthropoda (Acari)	83	8 - 21	332	MMA 2003; Agostinho et al 2005
Crustacea (Copepoda)	31	3 – 8	273 + 36** Total: 309	MMA 2003; Previatelli et al 2013**

TÁXONS	CERRADO ^a	CERRADO (endêmicas spp) (10 – 25%) ^b	BRASIL	Referências
Crustacea (Cladocera)	56**	6 – 14	153	Sousa & Elmoor-Loureiro 2012; MMA 2003
Insecta (Ephemeroptera)	52	-	166	Salles et al 2004
Insecta (Chironomidae)	47	5 - 12	379	Mendes 2014
Insecta (Odonata)	67**	7 -17	800	Galvão et al 2014**; Paulson 2014
Insecta (Plecoptera)	28	-	110	MMA 2003; Agostinho et al 2005
Insecta (Trichoptera)	219 – 230**1	22 – 55	625 +29**2 Total: 406	Paprocki & França 2014; Santos et al 2014 **1; Dumas et al 2010**2
Peixes	800	200 (25%)	3,500	MMA 2003; Agostinho et al 2005
Amphibia	113	32	687	MMA 2002; Lewinsohn & Prado 2005

a: O número estimado correspondeu a 25% do registrado para Brasil.

b: O número estimado correspondeu a 10-25% do registrado para o Cerrado.

** número registrado por referência acoplada para o táxon.

Espera-se que pelo menos 22,8% das espécies de peixes do Brasil ocorram no Cerrado brasileiro, assim como 25,2% dos moluscos bivalves e 41,9% das algas diatomáceas. O endemismo é consideravelmente elevado para alguns grupos no Cerrado, chegando a 25% para peixes e mais de 10% para bivalves e diatomáceas (Tabela 1).

Considerando a alta biodiversidade que o bioma Cerrado apresenta, principalmente para a biota aquática, a diversidade de peixes é bastante expressiva. Estimativas indicam a ocorrência de quase 3.500 espécies de peixes na América do Sul, sendo mais de 800 encontradas no Domínio Cerrado. Essa estimativa pode atingir valores ainda maiores uma vez que cerca de 30 a 40% das espécies de água doce brasileiras são ainda desconhecidas (AGOSTINHO *et al.*, 2005). Tais informações destacam a composição de espécies nativas, incluindo os peixes migratórios-da ictiofauna presente nas regiões hidrográficas do Brasil central (LANGEANI *et al.*, 2007).

Considerando o potencial de endemismo e o número de espécies de peixes ameaçadas de extinção nesta região, é necessário ampliar o conhecimento sobre esta fauna, principalmente nas cabeceiras. Em estudo realizado na região da cabeceira da bacia do Paraná, no Parque Nacional de Brasília, região central do Brasil, foram detectadas 14 novas espécies de peixes, todas endêmicas da região (AQUINO *et al.*, 2009).

Os protozoários são o grupo menos conhecido dos invertebrados aquáticos do Cerrado e estudos envolvendo sua importância no funcionamento dos ecossistemas

aquáticos, principalmente como elo adicional na cadeia alimentar, junto ao uso de técnicas especiais (na maioria das vezes caras) para amostragem e identificação são necessários, embora esse alto custo possa de alguma forma limitar o estudo (MMA, 2003; AGOSTINHO *et al.*, 2005),

Os flagelados são os organismos com maior carência de dados dos protozoários, e sua diversidade nem pode ser estimada. Dentre os sarcodinos, a tecamoeba é bem estudada e sua riqueza é estimada em cerca de 400 espécies para o Cerrado brasileiro. No entanto, em estudos recentes, foram identificados cerca de 20 gêneros e 150 espécies de tecamoeba (MMA, 2003). Os ciliados, entretanto, são os membros mais expressivos dos protozoários em termos de riqueza de espécies, além de serem úteis como bioindicadores para avaliação da qualidade da água. Das 8.000 espécies descritas ao redor do mundo, estima-se que 1.500 ocorram no bioma Cerrado.

Em relação aos microinvertebrados aquáticos, além dos protozoários, devem ser citados representantes de Rotifera e microcrustáceos (Cladocera e Copepoda). Uma grande quantidade de espécies de rotíferos é amplamente distribuída e estão presentes em quase todos os tipos de habitats de água doce. Das 457 espécies brasileiras conhecidas, pelo menos 30% são encontradas em ambientes de água doce do Cerrado, onde quase 4% são provavelmente endêmicas. Copepoda e Cladocera são os principais grupos de microcrustáceos de água doce, com uma estimativa de quase 100 espécies, mas espera-se que esse número aumente com o registro de novas espécies (ELMOOR-LOUREIRO, 2007; SOUSA & ELMOOR-LOUREIRO, 2008; ELMOOR-LOUREIRO *et al.*, 2004). O grau de endemismo desses grupos é alto, e quando associado aos escassos dados para o Domínio Cerrado, é evidente a possibilidade de aumento da biodiversidade para a área e para o país.

A comunidade de macroinvertebrados bentônicos é composta por diversos grupos que vivem nos substratos e sedimentos dos corpos d'água, como anelídeos, moluscos e insetos aquáticos, sendo a maioria dos estudos na região focados em insetos aquáticos. Algumas pesquisas realizadas em vários riachos do Brasil central revelaram uma fauna ampla, com diferentes níveis taxonômicos, mas com poucos organismos identificados como espécies, provavelmente devido à dificuldade de identificação taxonômica em alguns grupos (BILSPO *et al.*, 2006; MARTINS-SILVA *et al.*, 2007; MARTINS-SILVA *et al.*, 2008). Portanto, a composição da fauna bentônica do Cerrado tem uma configuração generalizada, e mostra uma perspectiva crescente dos registros da biodiversidade na área.

A flora aquática do Cerrado, que abrange macrófitas, fitoplâncton e perifíton, tem sido avaliada em ambientes naturais, mas as assembleias aquáticas ainda são

pouco documentadas pelos artigos publicados. Uma rica microflora composta por algas Desmidiaceae foi registrada na Lagoa Bonita, uma lagoa situada em uma área de preservação permanente do Distrito Federal, Brasil central (SOUZA *et al.*, 2008 e referências). Um aumento da diversidade de algas em uma comunidade de perifiton associada a macrófitas aquáticas também foi observado em um ambiente lótico no córrego Roncador, situado na Reserva Ecológica do IBGE (Distrito Federal), onde foram registrados 171 táxons (MENDONÇA-GALVÃO, 2002). Ao longo do rio Descoberto foram registrados 16 táxons, sendo a maioria classificada como primeira ocorrência no Distrito Federal e no estado de Goiás (DELGADO & SOUZA, 2007).

Apesar dos poucos estudos, percebe-se a alta biodiversidade dos ecossistemas aquáticos naturais do Cerrado, exigindo mais esforços e contribuições para pesquisas na região (SILVA *et al.*, 2011). Dos 38 estudos encontrados ao longo de quase 30 anos, apenas 19 foram publicados em periódicos. No entanto, 64 gêneros e 503 espécies de diatomáceas foram catalogados com base nessas pesquisas.

A existência de áreas úmidas no Cerrado aumenta o inventário de espécies aquáticas no país. A comunidade aquática que se desenvolve nas áreas úmidas do Brasil central é bastante desconhecida; no entanto, estudos realizados nessa região detectaram uma diversidade biológica bastante expressiva, com algumas espécies endêmicas. Os invertebrados bentônicos são numerosos e os peixes são de pequeno porte. O peixe *Cynolebias boitonei*, Carvalho, 1959, denominado pirá-brasília, é endêmico e ameaçado de extinção nas veredas do Distrito Federal (AQUINO *et al.*, 2009). Por sua beleza, a espécie é utilizada como peixe ornamental, aumentando sua procura por aquaristas e agravando a situação da espécie em relação à sua conservação.

Espécies de macrófitas também têm sido relacionadas a altos níveis de biodiversidade e endemismo. Conforme observado por POTT *et al.* (2011), o número de espécies coletadas na porção superior da bacia do Paraná é duas vezes maior que o encontrado no Pantanal, chegando a pelo menos 574 espécies.

Em relação às espécies de algas, sua alta variedade com novas espécies nas águas interiores do Cerrado foi citada por SENNA & FERREIRA (1986, 1987), SOUZA *et al.* (2008) e PADOVESI-FONSECA & ADAMO (2007). Em um habitat de campo úmido, REID (1982; 1984; 1987; 1993) descreveu uma comunidade composta por nematóides, rotíferos, copépodos Harpacticoida, protozoários, Turbellaria, copépodos Cyclopoida, Cladocera, Ostracoda, Oligochaeta, Hydrocarina e muitas famílias de larvas de insetos. Pelo menos dez espécies de Copepoda foram registradas pela primeira vez e identificadas como espécies endêmicas da região.

Portanto, devido ao escasso número de estudos sobre diversos grupos aquáticos no Brasil central, é fundamental o apoio a novas pesquisas, bem como o reconhecimento das águas interiores do Cerrado como prioritárias na conservação da biodiversidade aquática.

3.3 O AUMENTO POTENCIAL DA BIODIVERSIDADE AQUÁTICA

O Domínio Cerrado possui uma grande heterogeneidade de ambientes aquáticos em uma paisagem de grande altitude. Sua região nuclear representa um divisor de bacia, com profusão de nascentes, rede infinita de pequenos ecossistemas lóticos, lagos e áreas úmidas formadas pela ressurgência de águas subterrâneas. Ali, os cursos d'água transitam entre montanhas e escarpas rochosas exibindo corpos rasos e estreitos, com áreas de remansos e formações de pequenas poças alternadas por rios de correnteza rápida e cachoeiras ao longo de seu percurso.

A região central do Cerrado envolve uma área de nascentes e cursos d'água das principais bacias hidrográficas do país, desempenhando importante papel na diversidade biológica. O Brasil detém uma parcela significativa da vazão dos rios do mundo e o elevado nível de endemismo das espécies aquáticas do Cerrado reafirma a importância da conservação das águas interiores do Cerrado brasileiro.

As áreas de conexão entre as bacias, compreendendo suas cabeceiras de drenagem, são núcleos de endemismo para espécies de água doce, representando uma das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade aquática (MMA, 2007). Córregos originados nesta região fluem naturalmente em direção às bacias, na maioria das vezes formando corredores ecológicos para muitas espécies aquáticas. Dependendo da capacidade de adaptação das espécies e de se estabelecerem em outras regiões, as águas do Cerrado podem representar caminhos de dispersão para as espécies aquáticas. Assim, a área nuclear do Cerrado é indispensável para a preservação da diversidade aquática e seu patrimônio genético. Além disso, essa necessidade é iminente uma vez que menos de 0,5% do Cerrado é coberto por áreas de conservação verdadeiramente aquáticas (MMA, 2007).

Variações hidro geológicas ao longo desses cursos formam ambientes distintos e criam graus de isolamento, que afetam a distribuição da biota aquática. Os eventos geológicos tiveram influência histórica na formação das águas interiores no Brasil central, ocasionando a predominância de pequenos ambientes aquáticos, como córregos, poças e lagos, e afetando a distribuição das espécies. A maior proporção de biodiversidade de peixes na região Neotropical foi registrada nas cabeceiras dos córregos e lagoas do Cerrado (LANGEANI *et al.*, 2007).

O aumento potencial da biodiversidade aquática no Cerrado também tem sido relatado para as áreas úmidas como resultado da heterogeneidade ambiental, o que permite uma maior biodiversidade (LEIBOWITZ, 2003), especialmente em áreas protegidas em estado primitivo. Esse potencial abrange espécies de diversos grupos taxonômicos, como algas, protozoários, invertebrados, vertebrados e diversas espécies vegetais. No entanto, por exemplo, esta tendência foi obtida apenas para a fauna de microcrustáceos conforme sugerido por REID (1982; 1984; 1987; 1993). Cladóceros fitófilos, por exemplo, foram avaliados em diversas áreas úmidas distribuídas no Brasil central, e mais da metade deles foram classificados como espécies novas ou endêmicas (ELMOOR-LOUREIRO, 2007; SOUSA & ELMOOR-LOUREIRO, 2008; SOUSA *et al.*, 2013).

3.4 ÁREAS PRÍSTINAS COMO REFERÊNCIA PARA ANÁLISES BIOLÓGICAS

Espécies aquáticas têm sido utilizadas como indicadores biológicos devido à sua sensibilidade e resposta rápida a mudanças sutis causadas por impactos antrópicos ou naturais. Macroinvertebrados bentônicos e peixes têm sido amplamente utilizados em análises biológicas devido às características particulares dessas comunidades aquáticas.

Os macroinvertebrados bentônicos apresentam ampla distribuição espacial e, em geral, limites restritos de tolerância a alterações das variáveis ambientais (LAMPERT & SOMMER, 2007), sendo que cada espécie ou grupo funcional possui tolerâncias específicas, de acordo com sua sensibilidade à poluição (METCALF, 1989). Além disso, sua vida sedentária e alta longevidade facilitam a análise de mudanças temporais em resposta a perturbações ambientais.

Como indicador biológico, os invertebrados bentônicos reforçam a relevância das áreas virgens do Cerrado como referência de condição ambiental. Nestas áreas, os cursos de água encontram-se protegidos por vegetação de galeria e a grande massa alóctone é proveniente da floresta, permitindo a predominância de grupos específicos (COUCEIRO *et al.*, 2009).

A preservação da vegetação de galeria proporciona heterogeneidade ambiental nos sistemas lóticos, e quando associada a perturbações naturais, como secas e inundações, são fatores importantes para o potencial aumento da diversidade de macroinvertebrados bentônicos (BUNN & DAVIES, 1992).

Os peixes dos riachos brasileiros são altamente endêmicos (LANGEANI *et al.*, 2007) e pouco resistentes à degradação do habitat e outras modificações antrópicas (ARAÚJO *et al.*, 2003), o que possibilita seu uso como bioindicadores da qualidade ambiental (KARR, 1981).

A paisagem natural do Cerrado, como um todo, foi muito impactada pelas atividades antrópicas, mas muitos esforços ainda são possíveis em prol da preservação dos habitats remanescentes. Nesse contexto, os levantamentos da fauna e da flora do Cerrado são fundamentais para futuras pesquisas regionais e imprescindíveis para a criação e gestão de áreas protegidas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo quando o Cerrado tem sido considerado um dos biomas mais biodiversos e ameaçados do mundo, pouca atenção tem sido dada à conservação de seus ecossistemas aquáticos naturais e biota. O alto endemismo detectado no Cerrado e o desconhecimento sobre seus ambientes aquáticos, revelam importantes lacunas que dificultam a avaliação dos ecossistemas aquáticos, uma vez que, atualmente, as áreas definidas para conservação raramente os incluem. Essa situação pode ser associada à ideia amplamente aceita de que, uma vez protegidos os ambientes terrestres, também os aquáticos o são, conforme discutido por PADOVESI-FONSECA (2005).

Quando considerada a amplitude do bioma Cerrado e seu elevado potencial de biodiversidade, a flora e a fauna aquáticas devem ser avaliadas e visualizadas como ferramentas essenciais para a conservação ambiental da região. Um dos aspectos relevantes na conservação dos ambientes aquáticos é a falta de dados sobre os sistemas intocados do Cerrado. Essas áreas, além de serem uma importante fonte de biodiversidade, como aponta esta revisão, também podem se tornar uma referência para a recuperação e restauração de habitats degradados.

A profusão de nascentes e mangues atesta que a água é uma fonte abundante na região do Cerrado. No entanto, os assentamentos humanos na área da nascente podem resultar em sérios problemas devido à baixa taxa de reposição e ao uso de águas subterrâneas como fonte de água. A captação de água de boa qualidade para diversos usos pelas indústrias e população é um dos principais desafios da atualidade. A água é um recurso de alto valor, com usos potenciais como geração de energia, abastecimento doméstico e industrial, navegação, irrigação, recreação, agricultura e pesca, entre outros. Como resultado, muitas nascentes e lagos naturais estão sendo drenados (HUNKE *et al.*, 2014).

Nesse contexto, fica evidente a necessidade de intensificar os esforços dedicados ao estudo desses peculiares ecossistemas regionais principalmente a biodiversidade, biologia e ecologia das espécies aquáticas. Tais propósitos garantiriam o embasamento teórico para a preservação e uso sustentável dos mananciais pelas atuais e futuras gerações.

5 AGRADECIMENTOS

Esta revisão é resultado de pesquisas sobre biodiversidade aquática realizadas pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL). Este artigo reflete as discussões sobre a biodiversidade aquática no Brasil e no Cerrado, e os desafios e conflitos de sua conservação, e expressa as opiniões dos autores. Agradecemos o professor Roller Ibañez R. pela tradução para o português, com sugestões de revisão do texto.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A.A.; THOMAZ, S.M.; GOMES, L.C. **Conservation of the Biodiversity of Brazil's Inland Waters**. *Conservation Biology*, 19, 646–652, 2005.
- AMARAL, A.G.; MUNHOZ, C.B.R.; EUGENIO, U.O.; FELFILI, J.M. **Vascular flora in dry-shrub and wet grassland Cerrado seven years after a fire, Federal District, Brazil**. *Check List*, 9, 487–503, 2013.
- AQUINO, P.P.U.; SCHNEIDER, M.; MARTINS-SILVA, M.J.; PADOVESI-FONSECA, C.; *et al.* **The fish fauna of Parque Nacional de Brasília, upper Paraná River basin, Federal District, Central Brazil**. *Biota Neotropica*, 9, 217–230, 2009.
- ARAÚJO, F.G.; FICHBERG, I.; PINTO, B.C.T.; PEIXOTO, M.G. **A preliminary index of Biotic Integrity for monitoring the condition of the rio Paraíba do Sul, southeast Brazil**. *Environmental Management*, 32, 516–526, 2003.
- BISPO, P.C.; OLIVEIRA, L.G.; BINI, L.M.; SOUSA, K.G. **Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures**. *Brazilian Journal of Biology*, 66, 611–622, 2006.
- BLEICH, M.E.; SILVEIRA, R.M.L.; NOGUEIRA, F.M.B. **Limnological patterns in northern Pantanal lagoons**. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52, 755–764, 2009.
- BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; *et al.* **Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach**. *Applied Geography*, 58, 116–127, 2015.
- BUNN, S.E.; Davies, P.M. **Community structure of the macroinvertebrate fauna and water quality of a saline river system in southwestern Australia**. *Hydrobiologia*, 248, 143–160, 1992.
- CONGOSINHO, P.H.C.; ARBIZU, P.M.; REID, J.W. **Revision of the genus *Murunducaris* (Copepoda: Harpacticoida: Parastenocarididae), with descriptions of two new species from South America**. *Journal of Crustacean Biology*, 28, 700–720, 2008.
- COSTA, M.H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. **Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, southeastern Amazonia**. *Journal of Hydrology*, 283, 206–217, 2003.
- COUCEIRO, S.R.M.; HAMADA, N.; FORSBERG, B.R.; PADOVESI-FONSECA, C. **Effects of anthropogenic silt on aquatic macroinvertebrates and abiotic variables in streams in the Brazilian Amazon**. *Journal of Soils and Sediments*, 209, 1–15, 2009.
- DE MARCO, P.-Jr.; NOGUEIRA, D.S.; CORREA, C., *et al.* **Patterns in the organization of Cerrado pond biodiversity in Brazilian pasture landscapes**. *Hydrobiologia*, 723, 87–101, 2014.

DELGADO, S.M.; SOUZA, M.G.M. **Diatomoflórula Perifítica do rio Descoberto-DF e GO, Brasil, Naviculales (Bacillariophyceae): Diploneidínea e Sellaphorínea.** Acta botanica brasílica, 21, 767-776, 2007.

DUMAS, L.L.; SANTOS, A.P.M.; JARDIM, G.A.; *et al.* **Insecta, Trichoptera: New records from Brazil and other distributional notes.** Check List, 6, 7–9, 2010.

EITEN, G. Ecology of Tropical Savannas Ecological Studies 42. In: HUNTLEY, B.J.; WALKER, B.H. (Eds.) **Brazilian 'Savannas'**. Berlin: Springer. p. 25-47, 1982.

ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A. **Phytophilous cladocerans (Crustacea, Anomopoda and Ctenopoda) from Paran River Valley, Goiás, Brasil.** Revista Brasileira de Zoologia, 2, 344-352, 2007.

ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; PADOVESI-FONSECA, C. **New cladoceran records from Lake Parano, Central Brazil.** Brazilian Journal of Biology, 64, 415-422, 2004.

FONSECA, B.M.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; PADOVESI-FONSECA, C.; *et al.* **Nutrient baselines of Cerrado low-order streams: comparing natural and impacted sites in Central Brazil.** Environmental Monitoring and Assessment, 186: 19–33, 2014.

FREITAS, L.C.; LOVERDE-OLIVEIRA, S.M. **Checklist of green algae (Chlorophyta) for the state of Mato- Grosso, Central Brazil.** Check List, 9, 1471-1483, 2013.

FURLEY, P.A. **Classification and distribution of murundus in the Cerrado of Central Brazil.** Journal of Biogeography, 13, 265–268, 1986.

GALVÃO, L.B.; DE MARCO, P.; BATISTA, J.D. **Odonata (Insecta) from Nova Xavantina, Mato Grosso, Central Brazil: Information on species distribution and new records.** Check List, 10, 299–307, 2014.

GOLDSMITH, F.B. **Multivariate analyses of tropical grassland communities in Mato Grosso, Brazil.** Journal of Biogeography, 1, 111-122, 1974.

HARIDASAN, M. **Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils.** Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, 20, 183-195, 2008.

HUNKE, P.; MUELLER, E.N.; SCHRODER, B.; ZEILHOFER, P. **The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use.** Ecohydrology, 1, 1-27, 2014.

KARR, J.R. **Assessment of biotic integrity using fish communities.** Fisheries, 6, 21-27, 1981.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. **Conservation of the Brazilian Cerrado.** Conservation Biology, 19, 707-713, 2005.

LAMPERT, W.; SOMMER, U. **Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams.** (2 ed.). New York: Oxford University Press Inc., 324 pp, 2007.

LANGEANI, F.; CASTRO, R.M.C.; OYAKAWA, O.T.; *et al.* **Ichthyofauna diversity of the upper rio Paran: present composition and future perspectives.** Biota Neotropica, 7, 1-17, 2007.

LEIBOWITZ, S.G. **Isolated wetlands and their functions: an ecological perspective.** Wetlands, 23, 517-531, 2003.

LEWINSOHN, T.M.; PRADO, P.I. **How Many Species Are There in Brazil?** Conservation Biology, 19, 619-624, 2005.

MARTINS-SILVA, M.J. Inventory of Aquatic Biota as view for the conservation and sustainable use of the Cerrado (Serra e Vale do Paran ). In: MARTINS-SILVA, M.J. (org.) **Projeto Probio**, Brasília: MMA/GEF/BID, 2007. http://sistemas.mma.gov.br/sigepro/arquivos/_6/LIVROPROBIO.pdf

MARTINS-SILVA, M.J.; ENGEL, D.W.; ROCHA, F.M.; ARAÚJO, J. **Trichoptera immatures in Paran  river basin, Goiás State, with new records for genera**. Neotropical Entomology, 37, 735-738, 2008.

MENDES, H.F. **Chironomidae from Brazil**. Depart of Biology, FFCL-RP, University of São Paulo, 2014. <http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/Laboratorio/chironomidae/index.htm>. Acessado 22 November 2014.

MENDONÇA-GALVÃO, L. **Periphyton community in leaves of *Echinodorus tunicatus* Small**. Boletim Herb rio Ezechias Paulo Heringer, 10, 5-15, 2002.

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

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **First National Report to the Convention on Biological Diversity**. Ministério do Meio Ambiente, dos recursos hídricos e da Amazônia legal. Brasília, Brazil: Brazilian Program of Biological Diversity, 284 pp, 1998.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Evaluation and identification of priority areas and actions for the conservation, sustainable use and benefit sharing of biodiversity in Brazilian biomes**. Brasília: MMA/SBF, 404 pp, 2002.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Evaluation of the state of knowledge on biological diversity in Brazil. In: ROCHA, O (org.). **Freshwaters. Brazilian Program of Biological Diversity**, Brasília: MMA, p. 1-40, 2003.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Second National Report to the convention on biological diversity - Brazil**. Brasília: Brazilian Program of Biological Diversity. 349 pp, 2004.

MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Priority actions for the conservation of biodiversity in the Cerrado and Pantanal - Brazil**. Brasília: Brazilian Program of Biological Diversity, 540 pp, 2007.

MUELLER, C. **Expansion and modernization of agriculture in the Cerrado - the case of soybeans in Brazil's center-West**. Department of Economics working paper 306. University of Brasília, Brasília, Brazil, 2003.

MYERS, N.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, 403, 853-858, 2000.

ODEBRECHT, C., ABREU, P.; MOLLER, O.O.-Jr.; *et al.* 2005. **Drought effects on pelagic properties in the shallow and turbid Patos Lagoon, Brazil**. Estuaries, 2, 675-685, 2005.

OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savana. New York: Columbia University Press, 424 pp, 2002.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. **Floodplain" Murundus" of Central Brazil: evidence for the termite origin hypothesis**. Journal of Tropical Ecology, 8, 1-19, 1992.

PADOVESI-FONSECA, C. Características dos ecossistemas aquáticos do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. (org.) **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conserva o**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 422-423, 2005.

- PADOVESI-FONSECA, C. Macrófitas aquáticas da Lagoa Bonita, uma lagoa natural. In: FONSECA, F.O. (org.) **Águas Emendadas**. Brasília: SEDUMA, 185-186, 2008.
- PADOVESI-FONSECA, C.; ADAMO, L.A. Fauna associada à macrófitas aquáticas. In: MARTINS-SILVA, M.J. (org.) **Inventory of Aquatic Biota as view for the conservation and sustainable use of the Cerrado (Serra e Vale do Paranã)**. Brasília: MMA/GEF/BID, 2007. http://sistemas.mma.gov.br/sigepro/arquivos/_6/LIVROPROBIO.pdf
- PAPROCKI, H.; FRANÇA, D. **Brazilian Trichoptera Checklist II**. Biodiversity Data Journal 2, e1557, 2014.
- PAULSON, D.R. **List of Odonata of South America by country**. James R. Slater, Museum of Natural History, University of Puget Sound, Tacoma, Washington. <http://www.ups.edu/biology/museum/ODofSA.html>. Accessed 26 November 2014
- POMPÊO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Macrófitas aquáticas e perifiton: aspectos ecológicos e metodológicos. São Paulo: RiMa, 124 pp, 2003.
- POTT, V.J.; POTT, A.; LIMA, L.C.P.; *et al.* **Aquatic macrophyte diversity of the Pantanal wetland and upper basin**. Brazilian Journal of Biology, 71 (suppl.), 255-263, 2011.
- PREVIATELLI, D.; PERBICHE-NEVES, G.; SANTOS-SILVA, E.N. **New Diaptomidae records (Crustacea: Copepoda: Calanoida: Diaptomidae) in the Neotropical region**. Check List, 9, 700-713, 2013.
- RAMSAR CONVENTION. **Convention of Wetlands**. 1971. <http://www.ramsar.org/>. Accessed 12 December 2012.
- REGO, A.A. **Current state of knowledge of Cestodes from Neotropical freshwater fishes and rays**. Revista Brasileira de Zociências, 6, 45-60, 2004.
- REID, J.W. ***Forficatocaris schadeni*, a new copepod (Harpacticoida) from central Brazil, with keys to the species of the genus**. Journal of Crustacean Biology, 2, 578-587, 1982.
- REID, J.W. **Semiterrestrial meiofauna inhabiting a wet campo in central Brazil, with special reference in the Copepoda (Crustacea)**. Hydrobiologia, 118, 95-111, 1984.
- REID, J.W. **The cyclopoid copepods of a wet campo marsh in central Brazil**. Hydrobiologia, 153, 121-138, 1987.
- REID, J.W. **The harpacticoid and cyclopoid fauna in the cerrado region of Central Brazil, 1: species composition, habitats and zoogeography**. Acta Limnologica Brasiliensia, 6, 56-68, 1993.
- REID, J.W. ***Murunducaris juneae*, new genus, new species (Copepoda: Harpacticoida: Parastenocarididae) from a wet campo in central Brazil**. Journal of Crustacean Biology, 14, 771-781, 1994.
- SALLES, F.F.; DA-SILVA, E.R.; HUBBARD, M.D.; SERRÃO, J.E. **The species of mayflies (Ephemeroptera: Insecta) recorded from Brazil**. Biota Neotropica, 4: 1-34, 2004.
- SÁNCHEZ-BOTERO, J.I.; LEITÃO, R.P.; CARAMASCHI, E.R.; GARCEZ, D.S. **The aquatic macrophytes as refuge, nursery and feeding habitats for freshwater fish from Cabiunas Lagoon, Restinga de Jurubatiba National Park, Rio de Janeiro, Brazil**. Acta Limnologica Brasiliensia, 19, 143-153, 2007.

- SANT'ANNA, C.L.; BRANCO, L.H.Z.; GAMA, W.A.-Jr; WERNER, V.R. **Checklist of Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil**. *Biota Neotropica*, 11, 455-495, 2011.
- SANTOS, A.P.M.; DUMAS, L.L.; JARDIM, G.A.; *et al.* **Brazilian Caddisflies: Check-lists and Bibliography**. <https://sites.google.com/site/braziliancaddisflies>. Accessed 12 December 2014.
- SCHNEIDER, M.; AQUINO, P.D.P.U.; MARTINS-SILVA, M.J.; PADOVESI-FONSECA, C. **Trophic structure of a fish community in Bananal stream subbasin in Brasília National Park, Cerrado biome (Brazilian Savanna), DF**. *Neotropical Ichthyology*, 9, 579-592, 2011.
- SENNA, P.A.C.; FERREIRA, L.V. **Nostocophyceae (Cyanophyceae) da Fazenda Água Limpa, Distrito Federal, Brasil, 1: Chroococcaceae e Oscillatoriaceae**. *Revista Brasileira de Botânica*, 9, 91-108, 1986.
- SENNA, P.A.C.; FERREIRA, L.V. **Nostocophyceae (Cyanophyceae) da Fazenda Água Limpa, Distrito Federal, Brasil, 2: Famílias Nostocaceae e Scytonemataceae e Stigonemataceae**. *Rickia*, 14, 7-19, 1987.
- SILVA, W.J.; NOGUEIRA, I.S.; SOUZA, M.G.M. **Diatom Catalog from the Central-Western region of Brazil**. *Iheringia*, 66: 61-86, 2011.
- SOUSA, F.D.R.; ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A. **Cladóceros fitófilos (Crustacea, Branchiopoda) do Parque Nacional das Emas, estado de Goiás**. *Biota Neotropica*, 8, 159-166, 2008.
- SOUSA, F.D.R.; ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A. **How many species of cladocerans (Crustacea, Branchiopoda) are found in Brazilian Federal District?** *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24, 351-362, 2012.
- SOUSA, F.D.R.; ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A.; MENDONÇA-GALVÃO, L., **Cladocerans (Crustacea, Anomopoda and Ctenopoda) from Cerrado of Central Brazil: Inventory of phytophilous community in natural wetlands**. *Biota Neotropica*, 13, 222-229, 2013.
- SOUZA, M.G.M.; IBAÑEZ, M.S.R.; GOMES, P. Microflora da Lagoa Bonita, uma lagoa natural. In: FONSECA, F.O. (org). **Águas Emendadas**. Brasília: SEDUMA, pp 187-189, 2008.
- THOMSON CORPORATION. **Web of Science**. Institute for Scientific Information. <http://go5.isiknowledge.com>. Accessed 12 December 2012.
- TUBELIS, D.P. **Species composition and seasonal occurrence of mixed species flocks of forest birds in savannas in central Cerrado, Brazil**. *Ararajuba*, 12: 105-111, 2004.
- WARFE, D.M.; BARMUTA, L.A. **Habitat structural complexity mediates food web dynamics in a fresh-water macrophyte community**. *Oecologia*, 150, 147-54, 2006.

CAPÍTULO 2

DIVERSIDADE DE ALGAS EM RIACHOS PRÍSTINOS DO CERRADO

Data de submissão: 24/05/2023

Data de aceite: 12/06/2023

Claudia Padovesi Fonseca

Professora Associada da
Universidade de Brasília (UnB)
Líder do Núcleo de Estudos
Limnológicos (NEL) – CNPq
Mestre e Doutora em Área de Limnologia
pela Universidade de São Paulo (USP)
Realizou pós-doutorado na
Universidade de Paris
Pierre e Marie Curie, na França, e na
Universidade de Granada, na Espanha
Departamento de Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brazil
<https://orcid.org/0000-0001-7915-3496>

RESUMO: O Domínio Cerrado inclui formações secas e abertas e cobre 25% de terras brasileiras. O Cerrado abriga uma elevada diversidade biológica, com boa parte de suas espécies endêmicas. As cabeceiras do Cerrado se situam em áreas elevadas e conferem divisores de águas para as bacias contíguas. A interface de divisor de águas, além de representar um núcleo potencial para espécies endêmicas, pode também conferir áreas prioritárias de conservação no Brasil. Este capítulo apresenta estudos realizados

em cabeceiras de riachos no Cerrado e de interfaces entre biomas (Amazônia-Cerrado-Caatinga). Amostras de fitoplâncton foram coletadas em córregos da Chapada dos Veadeiros (GO), no Parque Nacional da Chapada das Mesas (municípios de Carolina e Estreito, MA), e em áreas próximas do Parque Estadual da Serra de Ricardo Franco, município de Vila Bela de Santíssima Trindade (MT). Resultados aqui apresentados apontaram um maior poder de previsão de condições ambientais locais, em detrimento aos efeitos paisagístico da bacia. Assim, o fitoplâncton de riachos de cabeceira representa um elemento biológico reconhecido para avaliação ambiental, que pode conferir áreas prioritárias para a conservação aquática.

PALAVRAS-CHAVE: Savana brasileira. Conservação biológica. Nascentes. Fitoplâncton.

ALGAE DIVERSITY IN PRISTINE STREAMS OF THE CERRADO

ABSTRACT: The Cerrado Domain includes dry and open vegetation formations and covers 25% of Brazilian area. The Cerrado shelters great biological diversity, most of its species being endemic. Cerrado headwaters are in elevated areas and provide lines divisor for the adjacent basins. Watershed interfaces besides to to representing a potential nucleus for endemic species, can also provide priority areas for conservation in Brazil. This chapter presents studies carried out in headwater

streams of Cerrado and interfaces between biomes (Amazon-Cerrado-Caatinga). Phytoplankton samples were collected in streams of Chapada dos Veadeiros (GO), in the Parque Nacional da Chapada das Mesas (municipalities of Carolina and Estreito, MA), and in areas close to the Parque Estadual da Serra de Ricardo Franco, municipality of Vila Bela de Santíssima Trindade (MT). Results presented here point to a greater predictive power of local environmental conditions, to the detriment of the basin's landscape effects. Thus, the phytoplankton of headwater streams represents a recognized biological element for environmental assessment, which can confer priority areas for aquatic conservation.

KEYWORDS: Brazilian savannah. Biological conservation. Springs. Phytoplankton.

1 INTRODUÇÃO

O Domínio Cerrado cobre quase 25% do território do Brasil, somente suplantado pela floresta amazônica. Sua formação inclui paisagens secas e abertas ao longo de uma área diagonal que atravessa desde o Chaco/Pantanal no sudeste e a Caatinga no nordeste do país. Funciona, assim, como uma barreira biogeográfica entre as florestas amazônica e atlântica (FONSECA *et al.*, 2014). A biodiversidade do Cerrado é maior que formações similares em outros continentes, e abriga um elevado número de espécies endêmicas (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2015).

A interface de divisor de águas além de representar um núcleo potencial para espécies aquáticas endêmicas, pode também conferir áreas prioritárias para a conservação aquática no Brasil (PADOVESI-FONSECA *et al.*, *op. cit.*). Essas áreas de interface podem estar sob condição natural, e, portanto, amostragem da biota em riachos do Cerrado configura uma importante estratégia para conservação de cabeceiras de sistemas aquáticos no Brasil (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2016).

O fitoplâncton é uma assembleia de organismos, em sua maioria fotoautotróficos, que vivem suspensos na água. Apresenta uma variedade de grupos taxonômicos, como as algas azuis, as verdes, as diatomáceas, os dinoflagelados, entre outros. As assembleias formam a base da cadeia alimentar, e, conseqüentemente, alterações antrópicas em ambientes aquáticos podem promover mudanças na estrutura e dinâmica desses produtores, como também em outros níveis seguintes da cadeia (ODUM, 2004).

A radiação solar, a concentração dos nutrientes e a temperatura da água são as variáveis ambientais que exercem influência sobre a dinâmica espacial e temporal do fitoplâncton. Esses fatores representam os principais atuantes sobre a distribuição bem como biomassa e produção primária do fitoplâncton de águas doces (ESTEVES & SUZUKI, 2011). O consumo alimentar do zooplâncton, e movimentos de massas d'água por correntes e ventos, são destacados pelos autores como denominadores biológico e ambiental na distribuição do fitoplâncton.

Este capítulo apresenta estudos realizados no Cerrado em regiões de cabeceiras de riachos e de interfaces entre biomas (Amazônia-Cerrado-Caatinga). Amostras de fitoplâncton foram coletadas em córregos da Chapada dos Veadeiros (GO), do Parque Nacional da Chapada das Mesas (municípios de Carolina e Estreito, estado do Maranhão), e áreas próximas do Parque Estadual da Serra de Ricardo Franco, município de Vila Bela de Santíssima Trindade, estado de Mato Grosso. Características dos locais e amostragem são apresentadas nesse livro no capítulo sobre o zooplâncton, em PADOVESI-FONSECA (2021) e PADOVESI-FONSECA *et al.* (2016), respectivamente.

2 A IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS NAS NASCENTES DO CERRADO

A importância de estudos realizados em áreas de nascentes em condições naturais, e em especial, em áreas protegidas, vem ao encontro de registrar espécies ou grupos novos essenciais para indicação de proteção ambiental e biológica aos tomadores de decisão no Brasil e no mundo, como discutido por DI MININ *et al.* (2017).

O estudo em áreas protegidas vem progressivamente alavancado pela relação mais acentuada com as mudanças climáticas (HANNAH, 2010). A autora discute que estudos têm mostrado um decréscimo das espécies descritoras em áreas de proteção existentes devido às mudanças climáticas; e a necessidade de ampliação e conexão de áreas de proteção como auxílio na redução de perda de espécies em cenários de meio século adiante. Entretanto, ressalta a importância de reduzir as mudanças climáticas induzidas pelas atividades humanas.

A definição de metas para conservação deve ser estratégica para a proteção da biodiversidade e deve garantir a representatividade e persistência de seus componentes. Isso é especialmente crítico em ecossistemas que estão desaparecendo rapidamente, como ocorre no Cerrado, apresentado por FRANÇOSO *et al.* (2015). Áreas inundadas, nascentes e vegetação ripária estão incluídas como Áreas de Proteção Permanente pela Convenção de Diversidade Biológica, devido à relevância de serem protegidas de forma integral e interesse para a sociedade. Os autores argumentam que mesmo em áreas mais restritivas para a ocupação humana, como as de Proteção Integral, ações não estão sendo mais efetivas para a conservação da biodiversidade. Um dos pilares para a sua efetividade versa que as políticas de conservação devem ser construídas sob argumentos que fornecem base ecológica (PETERSON *et al.*, 2005).

O conhecimento da diversidade biológica aquática é um elemento chave para entender como a heterogeneidade ambiental se acopla com a diversificação dos nichos, a partição dos recursos e a organização das assembleias biológicas. As microalgas são

importantes indicadores ambientais, devido especialmente ao curto tempo de geração de suas populações, que propicia uma rápida resposta às mudanças ambientais (REYNOLDS, 2006). Além disso, a produção orgânica das algas planctônicas exerce influência sobre as redes tróficas e a estruturação das funções ecossistêmicas aquáticas.

As características da paisagem da bacia circundante como de suas águas são condições ambientais na avaliação das assembleias fitoplanctônicas. A vegetação riparia, o fluxo da água, turbidez e teor de nutrientes, são alguns itens que direcionam a disponibilidade de recursos e conseguinte na organização das microalgas (BURSON *et al.*, 2018; SHERMAN *et al.*, 2016). A integração de informações sobre a biodiversidade em diferentes ambientes, dentro de áreas de preservação é essencial para a compreensão das funções e serviços ecossistêmicos, bem como no fortalecimento das estratégias de manejo e conservação.

3 FITOPLÂNCTON COMO INDICADOR BIOLÓGICO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DO CERRADO

Os organismos aquáticos representam sensores de qualidade ambiental e de suas alterações, e assim constituem-se em indicadores biológicos das condições ambientais. Suas espécies e comunidades são capazes de responder a diferentes alterações, tanto naturais como antropogênicas. Podem, assim, constituir uma ferramenta ecológica para o monitoramento e a antecipação dos efeitos das alterações sobre o sistema aquático, como observado por CHELLAPPA *et al.* (2009) para o fitoplâncton.

A biota aquática tem distribuição espacial suportada por conexões aquáticas oferecidas pelas bacias dos cursos d'água, que frequentemente drenam áreas com mais um tipo de formação vegetativa, e, por conseguinte, influenciam na sua distribuição geográfica. Riachos são ambientes de correnteza, no qual a água é constantemente renovada a cada local. Assim, as características ambientais podem se alterar ao longo do tempo. As análises biológicas, por sua vez, podem detectar possíveis alterações na qualidade da água, bem como as tendências ao longo do tempo, que se refletem nas mudanças do habitat ou na natureza dos organismos aquáticos.

Estudos realizados em cursos d'água de pequeno porte situados em áreas de cabeceira vêm suprir falhas de distribuição geográfica de assembleias fitoplanctônicas. Além de ser recomendado para indicação de qualidade das águas, o fitoplâncton consiste em uma grande variedade de algas com diferentes formas e estratégias de história de vida. Possuem distribuição espacial e temporal bastante diversificada, além de formas de vida variadas. Há os planctônicos, que possuem vacúolos gasosos que ajudam a

flutuar; os bentônicos, que tendem a ocupar o sedimento; algas flutuantes neutras que têm densidade semelhante à água; membros de dinoflagelados e euglenophyceae para migrar livremente na coluna de água (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Com isso, o registro de algas em cabeceiras além de agregar suporte ecológico e distribuição de organismos indicadores de condições naturais e ainda prístinas de nascentes, podem avaliar potenciais mananciais para a sociedade humana.

Houve um entendimento amplificado sobre o conceito da biodiversidade em relação ao sistema fluvial. De acordo com WARD & TOCKNER (2001), a biodiversidade em sistemas lóticos engloba a heterogeneidade ambiental, os processos funcionais e a riqueza de espécies, que se unem para formar a ecologia fluvial. Os autores ressaltam que os fundamentos teóricos da ecologia de riachos muitas vezes não refletem a importância da dinâmica e complexidade nos ecossistemas fluviais naturais, o que tem impedido avanços conceituais e a eficácia dos esforços de conservação e restauração. Para o Brasil, os riachos de cabeceira do Cerrado e as suas interfaces com outros biomas são áreas relevantes de conhecimento científico na condução de tomadas de decisão relacionadas à conservação ambiental.

Nossos estudos revelaram microflora diversificada e ao mesmo tempo relacionada às características ambientais de cursos d'água de Cerrado de cabeceira. Os córregos de cabeceira no Cerrado tendem a ter águas mais frias (em torno de 17°C), transparentes, com baixo teor de nutrientes e levemente ácidas (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2015), como visto para os rios da Chapada dos Veadeiros. Os córregos das interfaces de biomas (Chapada das Mesas e Serra de Ricardo Franco) apresentaram características peculiares de cursos d'água de nascentes do Cerrado, como águas ácidas, transparentes, bem oxigenadas e baixo teor de íons. Devido à localização geográfica, suas águas estavam mais quentes (25 a 29°C).

As demidiáceas representou o grupo mais biodiverso para os estudos, e dominante nas chapadas dos Veadeiros e das Mesas (Quadro 1). Esse grupo é planctônico e prefere águas ácidas, além de ser indicador de águas naturais não impactadas. COESEL (2003) identificou o valor ecológico das demidiáceas como medida de qualidade ambiental e ferramenta basilar para a conservação de áreas alagadas.

Outro grupo em destaque foi Bacillaryophyceae, cujas espécies são adaptadas a águas de correnteza e bentônicas, e podem estar associadas a sedimentos e áreas com macrófitas aquáticas. As algas verdes, as Chlorophyceae, também presentes nos córregos, podem habitar uma ampla gama de ambientes, lóticos e lênticos, oligotróficos e eutrofizados. A relação dos grupos de algas com o seu habitat pode ser vista em

PADISAK *et al.* (2009). Análise de grupos funcionais agregam informação adicional coletada pela análise das espécies (BORTOLINI *et al.* 2016), e pode compor uma via para o entendimento dos processos do ecossistema aquático.

Quadro 1. Táxons de fitoplâncton registrados nos rios dos Couros e São Bartolomeu, Chapada dos Veadeiros (GO); no município de Vila Bela Santíssima, Parque Estadual da Serra de Ricardo Franco (MT); e na Chapada das Mesas (MA). *táxon mais abundante do grupo.

Locais	Grupos/ Táxons	Chapada dos Veadeiros (GO)		Vila Bela de	Chapada
		Rio dos Couros	Bartolomeu	Santíssima	das Mesas
				Trindade (MT)	(MA)
Bacillariophyceae					
	Bacillariophyceae	X*	X*		
	Eunotia	X	X		
	Frustulia	X			
	Gyrosigma		X		
	Pinnularia			X	
	Pinnularia viridis		X		
	Stenopterobia delicatissima		X		
Coscinodiscophyceae					
	Thalassiosira	X*			
Chlorophyceae					
	Crucigeniella rectangularis			X	
	Dictyosphaerium pulchellum			X	
	Drepanochloris uherkvichii		X		
	Eutetramorus	X*	X*		
	Glaucozystis	X*			
	Scenedesmus	X*	X*		
	Scenedesmus acuminatus	X	X		
	Tetrachlorella incerta	X			
Cyanophyceae					
	Nostoc	X*	X*		
Zygnemaphyceae					
	Cosmarium	X*	X*		
	Closterium	X			
	Euastrum	X	X		
	Micrasterias	X*	X*		
	Micrasterias arcuata	X*			
	Micrasterias radiosa				X
	Netrium digitus var. naegelii		X		
	Octacanthium octocorne		X		
	Pseudostaurastrum enorme				X
	Roya obtusa		X		
	Spirogyra			X	
	Staurastrum		X*		
	Staurastrum affine				X*
	Staurastrum arctiscon			X	
	Staurastrum boergesenii			X	
	Staurastrum leptocladum			X*	X*
	Staurastrum penicilliferum			X	
	Staurastrum rotula			X	
	Staurodesmus	X	X		
	Staurodesmus triangularis	X	X		
	Triploceras gracile		X		
	Xanthidium		X		

Análise da composição fitoplanctônica realizada em lagos de várzea do Cerrado indicaram que condições ambientais locais foram determinantes na composição taxonômica e funcional do fitoplâncton, ao passo que a cobertura do solo da bacia não afetou sua composição. Concentração de fósforo e águas oxigenadas, do lado físico e químico, e a densidade do zooplâncton, do lado biológico, foram os principais fatores de condução na diversidade fitoplanctônica (MACHADO *et al.*, 2016).

O maior poder de previsão de condições ambientais locais para o fitoplâncton pode ser decorrente da relação dos organismos com seu meio ambiente (CELLAMARE *et al.*, 2013), das interações com outras espécies (LICHMAN *et al.*, 2012), e do seu nicho ecológico (LICHMAN & KLAUSMAIER, 2008). Em cursos d'água de pequeno porte, e em especial, de cabeceiras, as escalas espaciais menores, como a dispersão passiva dos organismos e a conexão entre os pontos de amostragem, representam condutores da biodiversidade aquática em córregos do Cerrado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O poder condutor das condições locais para a biodiversidade aquática fornece implicações práticas no exercício da preservação ambiental em áreas de nascentes e de proteção integral. Águas de nascentes de Cerrado em áreas ainda preservadas pode explicar a relevância de condições locais em detrimento ao efeito da paisagem da bacia na estrutura das assembleias fitoplanctônicas.

Tal tendência reforça o potencial de águas do Cerrado em condições naturais serem as guardiãs de espécies preditoras de alterações ambientais. Podemos, assim, considerar a implementação de programas de monitoramento, estudos de impactos e planos de conservação.

5 AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de pesquisas desenvolvidas pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradeço à Amanda Duarte Vaz Pinto, Daniella Vieira Evangelista e Isabela Mandarinho Soares da Silva pelo auxílio em campo e laboratório.

REFERÊNCIAS

BORTOLINI, J.C.; BUENO, N.C. **Temporal dynamics of phytoplankton using the morphology-based functional approach in a subtropical river.** Brazilian Journal of Botany, 40(3), 741-748, 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s40415-017-0385-0>

BURSON, A.; STOMP, M.; GREENWELL, E.; *et al.* **Competition for nutrients and light: testing advances in resource competition with a natural phytoplankton community.** *Ecology*, 99(5), 1108-1118, 2018.

CELLAMARE, M.; PINTO, P.T.; LEITÃO, M.; *et al.* **Using functional approaches to study phytoplankton communities in a temperate region exposed to tropical species dispersal.** *Hydrobiologia*, 702, 267-282, 2013.

CHELLAPPA, N.T.; CÂMARA, F.R.A.; ROCHA, O. **Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxó Channel, Rio Grande do Norte, Brazil.** *Brazilian Journal of Biology*, 69(2), 241-251, 2009.

COESEL, P.F.M. **Desmid flora data as a tool in conservation management of Dutch freshwater wetlands.** *Biología*, Bratislava, 58(4), 717-722, 2003.

DI MININ, E.; Soutullo, A.; Bartesaghi, L.; *et al.* **Integrating biodiversity, ecosystem services and socioeconomic data to identify priority areas and landowners for conservation actions at the national scale.** *Biological Conservation*, 206, 56-64, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.037>

ESTEVEZ, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade Fitoplanctônica. In: ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência. p. 375-476, 2011.

FONSECA, B.M.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; PADOVESI-FONSECA, C.; *et al.* **Nutrient baselines of Cerrado low-order streams: Comparing natural and impacted sites in Central Brazil.** *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 19-33, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3351-8>

FRANÇOSO, R. D.; BRANDÃO, R.; NOGUEIRA, C.C.; *et al.* **Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado biodiversity hotspot.** *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 13, 35-40, 2015.

HANNAH, L. **A Global Conservation System for Climate-Change Adaptation.** *Conservation Biology*, 24(1), 70-77, 2010.

LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C.A. **Trait-based community ecology of phytoplankton.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 615-639, 2008.

LITCHMAN, E.; EDWARDS, K.F.; KLAUSMEIER, C.A.; THOMAS, M.K. **Phytoplankton niches, traits and eco-evolutionary responses to global environmental change.** *Marine Ecology: Progress Series*, 470, 235-248, 2012.

MACHADO, K.B.; TERESA, F.B.; LUDGERO CARDOSO GALLI VIEIRA, L.C.G.; *et al.* **Comparing the effects of landscape and local environmental variables on taxonomic and functional composition of phytoplankton communities.** *Journal of Plankton Research*, 38(5), 1334-1346, 2016. doi:10.1093/plankt/fbw062

ODUM, E.P. **Fundamentals of Ecology**. 5th ed. New York: Brooks Cole. 624 p. 2004.

PADISAK, J.; CROSSETTI, L.O. NASELLI-FLORES, L. **Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates.** *Hydrobiologia*, 621(1), 1-19, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-008-9645-0>

PADOVESI-FONSECA, C. **First occurrence of *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834) from low-order streams in a protected area at Cerrado-Amazon boundary, central Brazil.** *Brazilian Journal of Biology* (online), 81, 1118-1119, 2021.

- PADOVESI-FONSECA, C.; MARTINS-SILVA, M.J.; PUPPIN-GONÇALVES, C.T. **Cerrado's areas as a reference analysis for aquatic conservation in Brazil.** Biodiversity Journal, 6, 805-816, 2015.
- PADOVESI-FONSECA, C.; SARAIVA, M.F.; FERNANDES, C.L.S. **First record of cladocerans from the headwaters of the Cerrado-Amazon boundary, central Brazil.** Biodiversity (Nepean), 1-3, 2016.
- PETERSON, M.N.; PETERSON, M.J.; PETERSON, T.R.A.I. **Conservation and the myth of consensus.** Conservation Biology, 19, 762-767, 2005.
- REYNOLDS, C.S. **Ecology of Phytoplankton.** Cambridge University Press: Cambridge, 535p., 2006.
- SHERMAN, E.; MOORE, J.K.; PRIMEAU, F.; TANOUYE, D. **Temperature influence on phytoplankton community growth rates.** Global Biogeochemical Cycles, 30(4), 550-559, 2016.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 631p., 2008.
- WARD, J.V.; TOCKNER, K. **Biodiversity: towards a unifying theme for river ecology.** Freshwater Biology, 46, 807-819, 2001.

CAPÍTULO 3

MICROFAUNA DE RIOS DA CHAPADA DOS VEADEIROS, BRASIL CENTRAL

Data de submissão: 24/05/2023

Data de aceite: 12/06/2023

Claudia Padovesi Fonseca

Professora Associada da
Universidade de Brasília (UnB)
Líder do Núcleo de Estudos
Limnológicos (NEL) – CNPq
Mestre e Doutora em área de Limnologia
pela Universidade de São Paulo (USP)
Realizou pós-doutorado na
Universidade de Paris
Pierre e Marie Curie, na França, e na
Universidade de Granada, na Espanha
Departamento de Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-7915-3496>

RESUMO: O estudo visou mapear e comparar o zooplâncton de dois cursos d'água da Chapada dos Veadeiros, GO, rio dos Couros e rio São Bartolomeu, e mostrar as diferenças entre os córregos e entre os períodos sazonais. As coletas foram realizadas ao longo dos rios nos períodos chuvoso e seco, nos anos de 2011 a 2013, com rede de 68µm de malha e as amostras fixadas com formol-4%. O rio dos Couros obteve maior abundância numérica e riqueza de espécies (41%-Cladocera e 59%-Copepoda). Além

disso, nesse córrego foram registrados táxons de ambientes lênticos, como Copepoda Calanoida e *Daphnia gessneri*. Além de obter densidade menor, o rio São Bartolomeu registrou somente 5% de Cladocera e Copepoda Calanoida. Houve uma tendência similar, para os dois córregos, de diminuição da densidade numérica do zooplâncton na época seca. A heterogeneidade ambiental do rio dos Couros, com áreas de remanso e pequenas piscinas ao longo de seu curso, contribuiu para a diversidade de habitats do zooplâncton, e por conseguinte, de sua maior riqueza de espécies.

PALAVRAS-CHAVE: Microcrustáceos aquáticos. Indicadores biológicos. Ambientes lóticos. Cerrado de altitude.

STREAMS MICROFAUNA OF CHAPADA DOS VEADEIROS, CENTRAL BRAZIL

ABSTRACT: The study aimed to map and compare the zooplankton of two watercourses in Chapada dos Veadeiros, GO, rio dos Couros and rio São Bartolomeu, and to show the differences between the streams and between the seasonal periods. Rio dos Couros obtained the highest numerical abundance and species richness (41%-Cladocera and 59%-Copepoda). Also, taxa of lentic environments were recorded in this stream, such as Copepoda Calanoida and *Daphnia gessneri*. In addition to having a lower density, rio São Bartolomeu recorded only 5% of Cladocera and Copepoda Calanoida. There was a similar trend, for both streams, of decrease

in zooplankton numerical density in the dry season. The environmental heterogeneity of rio dos Couros, with backwater areas and small pools along its course, contributed to the diversity of zooplankton habitats, and therefore to its greater species richness.

KEYWORDS: Aquatic microcrustaceans. Biological indicators. Lotic environmental. Altitude Brazilian savannah.

1 INTRODUÇÃO

Zooplâncton compõe um conjunto de microrganismos aquáticos que vivem em suspensão na água, sem conseguir transpor a correnteza. Os microinvertebrados planctônicos de água doce são compostos por crustáceos (Cladocera e Copepoda) e rotíferos (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2015). Suas espécies são comumente referenciadas como elementos de qualidade para a conservação ambiental em sistemas aquáticos (CHIBA *et al.*, 2018; PADOVESI-FONSECA, 2021b).

Águas de superfície naturais do Cerrado tendem a exibir uma notável heterogeneidade ambiental (REZENDE *et al.*, 2014) e com uma elevada diversidade zooplânctônica (GOMES *et al.*, 2020). Com base nesta heterogeneidade, e em especial, de locais mais altos e protegidos, sua preservação permanente tem sido um desafio para abrigar espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, revelando um elevado patrimônio de diversidade biológica (REZENDE *et al.*, 2019).

O conhecimento do zooplâncton em riachos de cabeceira vem contribuir para alavancar o registro de novas espécies e endêmicas para o Domínio Cerrado. A amostragem da biota aquática nestas áreas de conexão também confere uma importante estratégia para reduzir lapsos relacionados à distribuição geográfica das espécies, e em especial em áreas protegidas e ainda pristinas. É uma fonte notável de registros novos e de espécies novas pois suas cabeceiras fluem para bacias mais baixas, formando corredores ecológicos naturais para muitas espécies aquáticas.

A Chapada dos Veadeiros, acomodada em uma área de altitude formada por planaltos montanhosos com paredões rochosos e vales com rios encachoeirados do Brasil central, representa uma área relevante para biodiversidade e endemismo no Cerrado.

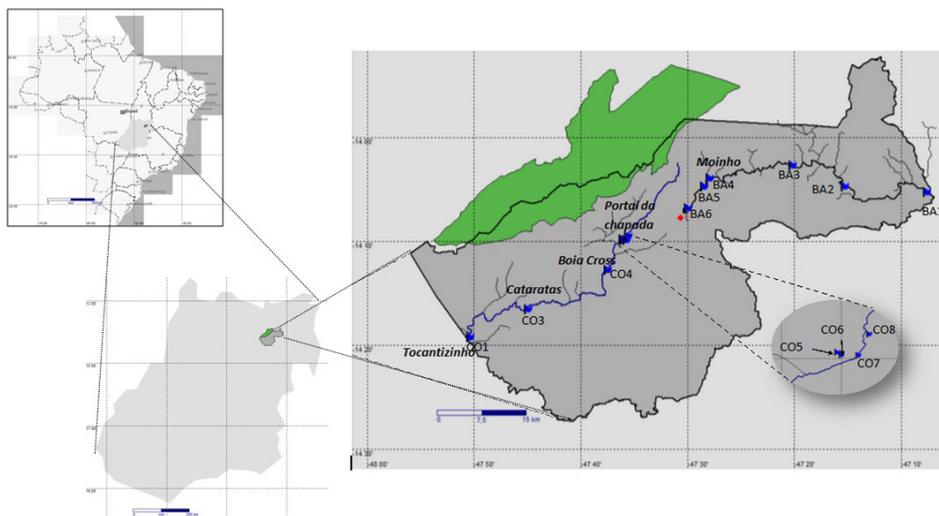
O estudo visa mapear e comparar o zooplâncton de dois cursos d'água da Chapada dos Veadeiros, GO, Rio dos Couros e Rio São Bartolomeu, e evidenciar as diferenças entre os córregos e entre os períodos sazonais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo se desenvolveu em duas bacias hidrográficas situadas ao norte de Goiás no Planalto Central brasileiro: a do Rios dos Couros e a do Rio São Bartolomeu, ambas em uma região de altitude da Chapada dos Veadeiros (Figura 1). As expedições foram

realizadas nos períodos chuvoso (de outubro a dezembro) e seco (maio e julho), de 2011 e de 2012 e seco de 2013, com 18 amostras no Rio Couros e 18 no Rio São Bartolomeu.

Figura 1. Localização geográfica dos pontos coletados, Rio dos Couros (CO) e Rio São Bartolomeu (BA), Chapada dos Veadeiros-GO.



Amostras em campo foram coletadas com o uso de um balde e 100 litros de água foram filtrados com rede de plâncton de 68 μ m de malha (Figura 2), e armazenadas em frascos de vidro com formol 4%.

Figura 2. Coleta de zooplâncton em córregos de planalto. Rio Tocantinzinho, Chapada dos Veadeiros-GO. Foto: Cláudia Padovesi Fonseca.



Análise qualitativa de zooplâncton foi realizada com o uso de bibliografia especializada e os organismos foram analisados sob microscopia de 200x e 400x de

aumento. Para o presente estudo foram avaliados os microcústáceos (Copepoda e Cladocera). A contagem dos organismos foi realizada até atingir 100 indivíduos para o táxon dominante ou todos os organismos da amostra, para alíquotas ou amostra total. Densidade expressa em organismos/litro ou organismos/m³. Amostras foram depositadas no Laboratório de Limnologia da Universidade de Brasília (UnB-DF), Distrito Federal, Brasil.

3 RESULTADOS

Um total de 1944 indivíduos (org.m³) foram coletados neste estudo, com maior valor para o rio dos Couros, com 57% dos indivíduos coletados. A riqueza de espécies permaneceu em número reduzido, com algumas amostras sem registro de organismos. O rio dos Couros obteve maior abundância numérica e riqueza de espécies (42% de Cladocera e 58% de Copepoda).

Para os Cladocera, houve o registro de três táxons: *Bosmina* sp. Baird, 1845, *Daphnia gessneri* Herbst 1967, *Diaphanosoma* sp. Fisher, 1850; além de espécimes de Chydoridae Stebbing 1902. Todos os táxons foram observados no rio dos Couros, e para o rio São Bartolomeu houve o registro de *D. gessneri* e de quidorídeos.

Os copépodes foram registrados nos dois córregos. Não houve condições de realizar a identificação taxonômica dos indivíduos devido a situações como ausência de fêmeas maduras e indivíduos desidratados e com partes quebradas, além de muitas carapaças vazias. Assim, identificamos esse grupo como Copepoda Calanoida, Cyclopoida e Harpacticoida.

Ao longo do estudo, houve uma tendência similar, para os dois córregos, de diminuição da densidade numérica do zooplâncton na época seca. Na época chuvosa não foi observado um padrão para esse quesito (Figura 3).

Figura 3. Densidade numérica (org.m³) dos rios dos Couros e São Bartolomeu para os anos de 2011 e 2012 (seca e chuva) e 2013 (seca). Chapada dos Veadeiros-GO.



4 DISCUSSÃO

Chapada dos Veadeiros é uma região elevada e de planalto, e com as maiores altitudes do centro-oeste do Brasil, que atingem cotas superiores a 1700m. Os cursos d'água nessa região tem suas nascentes em áreas elevadas, e percorrem um solo de plano a sinuoso e montanhoso ao longo de seu curso (PADOVESI-FONSECA, 2021b).

Cursos d'água situados na Chapada dos Veadeiros são de planalto, e com suas cabeceiras em terras altas e protegidas, representam áreas prioritárias de conservação aquática no Brasil (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2015). Amostragem da microfauna em riachos do Cerrado configura uma importante estratégia para a conservação das cabeceiras, pois podem abrigar espécies endêmicas e indicadoras às condições naturais da região (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2016). Neste sentido, estudos sobre a composição taxonômica do zooplâncton (principalmente em termos locais e regionais) e as condições de qualidade da água são relevantes para a conservação das áreas de cabeceira no Domínio Cerrado.

A tendência de águas naturais do Cerrado exibir uma notável heterogeneidade ambiental (REZENDE *et al.*, 2014), e em especial, de locais mais altos e protegidos, sua preservação permanente tem sido um desafio. O conhecimento da microfauna aquática em riachos de cabeceira vem contribuir para alavancar o registro de novas espécies e endêmicas para o Domínio Cerrado. A amostragem da biota aquática nestas áreas de conexão também confere uma importante estratégia para reduzir lapsos relacionados à distribuição geográfica das espécies, e em especial em áreas protegidas e ainda pristinas. É uma fonte notável de registros novos e de espécies novas pois suas cabeceiras fluem para bacias mais baixas, formando corredores ecológicos naturais para muitas espécies aquáticas.

A potencialidade de obter novos registros de espécies em áreas de nascentes do Domínio Cerrado foi obtida no estudo realizado por PADOVESI-FONSECA *et al.* (2016) na região de transição entre Cerrado e Amazônia. Com este estudo, nove espécies de Cladocera (microcrustáceos aquáticos) foram registradas pela primeira vez.

Estudo realizado em córregos do Cerrado (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2021) apontou que as características locais tendem a ser preponderantes na condução de diversidade zooplantônica. Escalas espaciais menores, como a dispersão passiva dos organismos, aliada à conexão entre os pontos de amostragem representaram um dos condutores da biodiversidade. Outros fatores, como os nichos, a heterogeneidade ambiental e ação protetiva da vegetação ripária, configuraram a outra parcela de condução (PADOVESI-FONSECA *et al.*, *op.cit.* e referências). Dessa forma, ressalta-se

a bioindicação do zooplâncton como ferramenta auxiliar no monitoramento de qualidade das águas. Relevante destacar o papel do zooplâncton como indicador útil e ferramenta auxiliar no monitoramento da qualidade das águas (Figuras 4 e 5).

Figura 4. Espécies adaptadas a águas paradas; são arrastadas de remansos e piscinas dos córregos. Efeito: corpos desidratados e partes quebradas. (a) Cladocera, *Daphnia gessneri*; (b) Copepoda Calanoida, aumento 200x. Rio dos Couros, Chapada dos Veadeiros-GO. Fotos: Claudia Padovesi Fonseca.

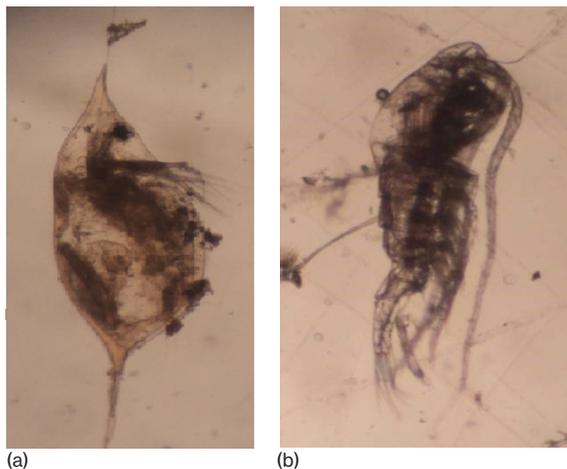
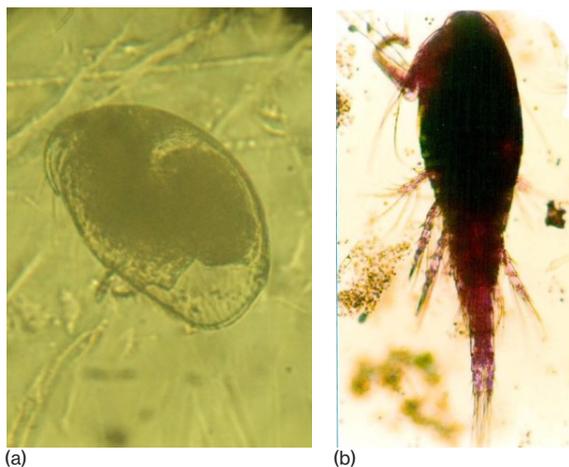


Figura 5. Espécies adaptadas a águas de correnteza; carapaças mais rígidas e corpos compactos. (a) Cladocera, Chydoridae; (b) Copepoda Cyclopoida, aumento 200x. Rio dos Couros, Chapada dos Veadeiros-GO. Fotos: Claudia Padovesi Fonseca.



Os resultados obtidos no presente estudo podem ser explicados pelas condições físicas e químicas da água (em destaque, turbidez e concentração iônica da água), interação biológica (p.ex. com as macrófitas aquáticas) e heterogeneidade ambiental (corredeiras intercaladas com remansos e piscinas), que filtram e selecionam espécies

persistentes em comunidades, como observado em outros sistemas aquáticos (LOPES *et al.*, 2014; REZENDE *et al.*, 2014).

O rio dos Couros percorre uma área preservada com vegetação ripária nativa, e se encaixa entre montanhas e paredões rochosos. Apresenta áreas de corredeiras e cachoeiras intercaladas por piscinas e remansos ao longo de seu curso, que conferem uma heterogeneidade espacial e ambiental (Figura 5). Com isso, são criadas microrregiões ou microbacias, e a diversidade do zooplâncton pode ser direcionada por essas escalas espaciais menores, como foi visto por PADOVESI-FONSECA *et al.* (2021) em córregos do Distrito Federal, Brasil central.

Figura 6. Corredeiras na frente; ao fundo uma piscina. Rio dos Couros, Chapada dos Veadeiros-GO. Foto: Claudia Padovesi Fonseca.



O rio São Bartolomeu percorre áreas rurais com vegetação ripária preservada em relevo mais planificado (Figura 6). Seu leito é arenoso com pedregulhos e fluxo de laminar a corredeiras, e em época chuvosa, é mais facilmente revolvido e eleva a turbidez da água (pico de 12,6 UT em 2012). A concentração iônica de suas águas foi superior a do rio dos Couros, com pico de 70,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de condutividade elétrica da água. Esses dados foram obtidos em campo nas datas de coleta do zooplâncton.

Figura 7. Fluxo laminar. Rio São Bartolomeu, Chapada dos Veadeiros-GO. Foto: Claudia Padovesi Fonseca.



Assim, a turbidez da água e a concentração de íons obtiveram valores bem contrastantes entre os dois cursos d'água. Houve uma tendência de transparência maior para o rio dos Couros, apesar da influência de carreamento de sedimentos para o leito de ambos os rios durante picos de chuva. Além do rio São Bartolomeu ser mais vulnerável à entrada de sedimentos durante o período chuvoso, este rio obteve valores maiores de concentração de íons. Tal resultado corrobora com a influência das chuvas tanto para o aumento da turbidez da água como a entrada de nutrientes da bacia circundante.

Essas condições ambientais dos rios exerceram influência sobre o zooplâncton. Águas mais transparentes, bem como heterogeneidade ambiental mais consistente no rio dos Couros, permitiram uma persistência de espécies em número de indivíduos mais elevados, bem como o registro de espécies típicas de ambientes lóticos como lênticos. Essas tendências foram também observadas por outros estudos realizados no Cerrado, como (PADOVESI-FONSECA & REZENDE, 2017; PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2021).

Entretanto, a baixa riqueza de zooplâncton obtida nesse estudo pode ser explicada pela associação desses organismos com áreas de remanso e sua preferência para ambientes lênticos (PEARSON & DUGGAN, 2018). O elevado número de carapaças vazias de copépodes e de indivíduos desidratados e carapaças quebradas detectados nas amostras coletadas corroboram com a associação desses com ambientes lênticos. Essas espécies foram arrastadas para o curso do rio de áreas de remanso ou piscinas ao longo do rio.

Conclui-se, então, que a riqueza do zooplâncton em córregos de cabeceira normalmente é baixa e, por conseguinte, resulta em diferenças sutis entre os pontos de amostragem, e em escalas maiores as dissimilaridades não são detectadas (vide resultados de PADOVESI- FONSECA *et al.*, 2021). Além do ambiente de correnteza não favorecer o desenvolvimento do zooplâncton, como dito anteriormente, a não variação da diversidade do zooplâncton nestas áreas podem também ser explicada por outros fatores. A similaridade entre os pontos de amostragem pelo estado de conservação dos córregos, que preserve um número similar de habitats, como discutido por VAN ONSEM *et al.* (2010). E ainda se tem o baixo teor de nutrientes (FONSECA *et al.*, 2014; REZENDE, *et al.*, 2019) que pode limitar o número de espécies zooplânctônicas (MUYLEAERT *et al.*, 2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Padrões de diversidade de espécies são essenciais para o entendimento da ecologia de comunidades, bem como para prover informações em estratégias de conservação em córregos do Cerrado. Baseado nas características peculiares desses cursos d'água localizados em áreas protegidas e de planalto, sua preservação permanente deve ser considerada essencial para espécies endêmicas, revelando um vasto patrimônio para as águas do Cerrado.

6 AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de pesquisas desenvolvidas pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ao João Paulo Alves Motta e à Graziela O. Mendes pelo auxílio em campo e laboratório.

REFERÊNCIAS

BRITO, M.T.S.; HEINO, J.; POZZOBOM, U.M.; LANDEIRO, V.L. **Ecological uniqueness and species richness of zooplankton in subtropical foodplain lakes.** *Aquatic Sciences*, 82(2), 1-13, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00027-020-0715-3>

CHIBA, S.; BATTEN, S.; MARTIN, C.S.; *et al.* **Zooplankton monitoring to contribute towards addressing global biodiversity conservation challenges.** *Journal of Plankton Research*, 40, 509-518, 2018. <https://doi.org/10.1093/plankt/fby030>

FONSECA, B.M.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; PADOVESI-FONSECA, C.; *et al.* **Nutrient baselines of Cerrado low-order streams: comparing natural and impacted sites in Central Brazil.** *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 19–33, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3351-8>

GOMES, L.F.; BARBOSA, J.C.; de OLIVEIRA, B.H.; *et al.* **Environmental and spatial influences on stream zooplankton communities of the Brazilian Cerrado.** *Community Ecology*, 21, 25-31, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42974-020-00008-5>

MUYLAERT, K.; PÉREZ-MARTINEZ, C.; SÁNCHEZ-CASTILLO, P.; *et al.* **Influence of nutrients, submerged macrophytes and zooplankton grazing on phytoplankton biomass and diversity along a latitudinal gradient in Europe.** *Hydrobiologia*, 653, 79-90, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0345-1>

PADOVESI-FONSECA, C. **First occurrence of *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834) from low-orders streams in a protected area at Cerrado-Amazon boundary, central Brazil.** *Brazilian Journal of Biology* (online), 81, 1118-1119, 2021a.

PADOVESI-FONSECA, C. Microfauna em córregos de cabeceiras do Cerrado central do Brasil. In: SIMÕES, M. (org.). **Estudos em biociências e biotecnologia: desafios, avanços e possibilidades.** Curitiba: Artemis. p. 74-84, 2021b https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215077

PADOVESI-FONSECA, C.; REZENDE, R.S. **Factors that drive zooplankton diversity in Neo-Tropical Savannah shallow lakes.** *Acta Limnologica Brasiliensia* (online), 29: e15, 2017.

PADOVESI-FONSECA, C.; MARTINS-SILVA, M.J.; PUPPIN-GONÇALVES, C.T. **Cerrado's areas as a reference analysis for aquatic conservation in Brazil.** *Biodiversity Journal*, 6, 805-816, 2015.

PADOVESI-FONSECA, C.; SARAIVA, M.F.; FERNANDES, C.L.S. **First record of cladocerans from the headwaters of the Cerrado-Amazon boundary, central Brazil.** *Biodiversity (Nepean)*, 17(3), 90-92, 2016. <https://doi.org/10.1080/14888386.2016.1235510>

PADOVESI-FONSECA, C.; REZENDE, R.S.; FERREIRA, D.C.; MARTINS-SILVA, M.J. **Spatial scales drive zooplankton diversity in savanna Cerrado streams.** *Community Ecology*, 22: 249-259, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42974-021-00052-9>

REZENDE, R.S.; PETRUCIO, M.M.; GONÇALVES, J.F. **The effects of spatial scale on breakdown of leaves in a tropical watershed.** *PLoS ONE*, 9, e97072, 2014.

REZENDE, R.S.; BIASI, C.; PRETUCIO, M.M.; GONÇALVES, J.F. **Effects of leaf litter traits on alpha and beta diversities of invertebrate assemblages in a tropical watershed.** *Ecología Austral*, 29, 365–379, 2019. <https://doi.org/10.25260/EA.19.29.3.0.750>

CAPÍTULO 4

MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM RIACHOS DE CABECEIRA DA CHAPADA DOS VEADEIROS

Data de submissão: 24/05/2023

Data de aceite: 12/06/2023

Maria Júlia Martins Silva

Professora Associada da
Universidade de Brasília

Diretora do Centro de Estudos do
Cerrado da Chapada dos Veadeiros
(UnB Cerrado), Mestre e Doutora em
Zoologia no Museu Nacional do
Rio de Janeiro e na

Universidade de São Paulo
Centro UnB Cerrado e
Departamento de Zoologia
Universidade de Brasília

<https://orcid.org/0000-0003-2638-7306>

Claudia Padovesi Fonseca

Professora Associada da
Universidade de Brasília (UnB)

Líder do Núcleo de Estudos
Limnológicos (NEL) – CNPq
Mestre e Doutora em Área de Limnologia
pela Universidade de São Paulo (USP)

Realizou pós-doutorado na
Universidade de Paris
Pierre e Marie Curie na França, e na
Universidade de Granada, na Espanha
Departamento de Ecologia

Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brazil

<https://orcid.org/0000-0001-7915-3496>

RESUMO: O estudo foi conduzido em riachos de cabeceiras situados na Chapada dos Veadeiros, Goiás: rio São Bartolomeu e rio dos Couros. Os macroinvertebrados bentônicos foram coletados em 2011 e 2012, nas estações chuvosa (outubro a dezembro) e seca (maio e julho). Foram registradas oito ordens da macrofauna bentônica nos dois riachos. Odonata obteve maiores abundâncias: rio São Bartolomeu variou de 42,7 a 19,5%; rio dos Couros de 45,4 a 28,3%. Coleoptera foi representativa no rio São Bartolomeu ao longo do estudo (28,1%, seca/2011; 14,9%, chuva/2011; 11,3%, seca/2012; 15,6%, chuva/2012). Diptera atingiu 24,2% no rio dos Couros, seca de 2011; e Hemiptera ficou com 32,5% no rio dos Couros, seca de 2012. Em relação à tríade EPT (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera), Plecoptera manteve reduzidas abundâncias, com maior valor obtido no rio São Bartolomeu-seca de 2012 (16,7%). Abundância elevada de Ephemeroptera foi obtida para os dois riachos: no São Bartolomeu, predominou em períodos chuvosos (31,3%, 2011; 35,1%, 2012); ao passo que no rio dos Couros esta ordem foi predominante nas secas (26,2%-2011; 30%-2012). Trichoptera foi dominante na seca/2012, rio São Bartolomeu (59%), e predominante na seca/2011 no rio dos Couros (21,2%). Os dois cursos d'água apresentam diferenças relevantes. Rio dos Couros possui sedimento pedregoso e relevo acidentado, com corredeiras e piscinas intercaladas ao longo de seu curso. Rio São Bartolomeu possui leito mais arenoso e bacia mais plana. Entretanto,

nesse primeiro levantamento, a macrofauna dos rios foi semelhante. Aspectos naturais foram preponderantes na estrutura da macrofauna bentônica destes rios. A cobertura vegetal das bacias está bem preservada, além das matas ripárias. Como houve para os dois rios maior número de organismos e maior riqueza de espécies na seca, é de se presumir que o regime de chuvas tenha sido o principal fator na composição dessa biota.

PALAVRAS-CHAVE: Bentos. Indicadores biológicos. Águas pristineiras. Cerrado de altitude.

BENTHIC MACROINVERTEBRATES IN HEADWATER STREAMS OF CHAPADA DOS VEADEIROS

ABSTRACT: The study was conducted in headwater streams located in Chapada dos Veadeiros, Goiás: São Bartolomeu and Couros streams. Benthic macroinvertebrates were collected in 2011 and 2012, during the rainy (October to December) and dry (May and July) seasons. Eight orders of benthic macrofauna were recorded in both streams. Odonata had higher abundances: rio São Bartolomeu ranged from 42.7 to 19.5%; rio dos Couros from 45.4 to 28.3%. Coleoptera was representative in the rio São Bartolomeu along the study (28.1%, dry/2011; 14.9%, rainy/2011; 11.3%, dry/2012; 15.6%, rainy/2012). Diptera reached 24.2% in the rio dos Couros, dry/2011; and Hemiptera had 32.5% in the rio dos Couros, dry/2012. In relation to the EPT triad (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera), Plecoptera maintained reduced abundances, with the highest value obtained in the rio São Bartolomeu-dry/2012 (16.7%). High abundance of Ephemeroptera was obtained for both streams: in São Bartolomeu, it predominated in rainy seasons (31.3%, 2011; 35.1%, 2012); while in the Couros river this order was predominant in dry seasons (26.2%-2011; 30%-2012). Trichoptera was dominant in the dry/2012, rio São Bartolomeu (59%), and predominant in the dry/2011 in the rio dos Couros (21.2%). The two watercourses present relevant differences. Rio dos Couros has stony sediment and rugged terrain, with rapids and pools intercalated along its course. Rio São Bartolomeu has a sandier bed and a flatter basin. However, in this first survey, the streams macrofauna were similar. Natural aspects were predominant in the benthic macrofauna structure of these streams. The vegetation cover of the basins is well preserved, in addition to riparian forests. As the two streams had a greater number of organisms and greater species richness in the dry season, it is presumed that the rainfall regime was the main factor in the composition of this biota.

KEYWORDS: Benthos. Biological indicators. Pristine waters. Altitude Cerrado.

1 INTRODUÇÃO

As espécies bentônicas estão associadas aos sedimentos de ambientes aquáticos. Podem colonizar tanto a região litorânea como o fundo de rios e lagos. Por serem sensíveis à variação de qualidade ambiental, são frequentemente usados como indicadores biológicos em monitoramento de qualidade de águas (SILVA-LEITE *et al.*, 2021). Portanto, a heterogeneidade ambiental é um importante elemento na estrutura de comunidades bentônicas em ecossistemas aquáticos.

Os macroinvertebrados bentônicos são compostos por uma ampla variedade de grupos, que variam em tamanho, tipo de alimento e habitat. Essencialmente são compostos

por moluscos e fases imaturas de insetos. Possuem hábito sedentário e ciclo de vida relativamente longo, o que os torna bastante representativos espacial e temporalmente. Por ocorrerem em quase todos os tipos de ambientes de água doce, esses organismos são eficientes para o monitoramento e avaliação de impactos ambientais e de atividades humanas (COUCEIRO *et al.*, 2010).

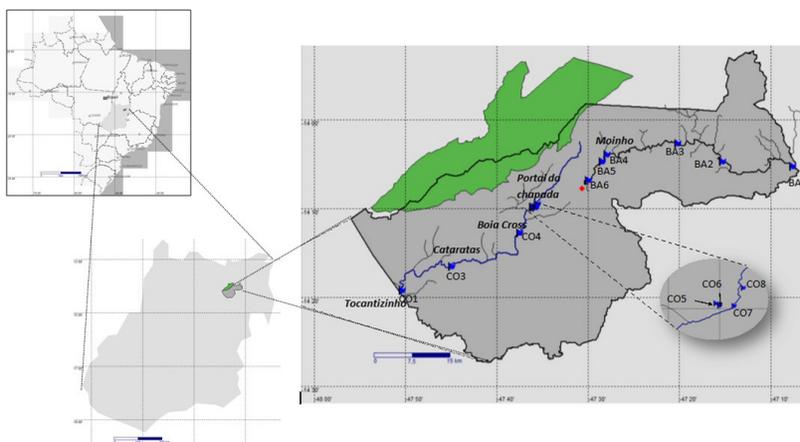
O Cerrado é considerado um dos biomas mais biodiverso e ameaçado do mundo (OLIVEIRA & MARQUIS, 2002), e com elevado endemismo. Cerca de 40% de conhecimento de macroinvertebrados do Cerrado estão em trabalhos acadêmicos ainda não publicados (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2015). Com isso, é de grande valia realizar estudos e monitoramento de águas do Cerrado, com atenção a áreas de nascentes voltadas para a efetiva conservação sistêmica e de sua diversidade biológica.

O presente estudo tem como objetivo apresentar os macroinvertebrados bentônicos de rios da Chapada dos Veadeiros, e associá-los à qualidade de água desses ambientes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em duas bacias hidrográficas localizadas ao norte de Goiás, em uma região de Cerrado de altitude da Chapada dos Veadeiros: a do Rios dos Couros e a do Rio São Bartolomeu (Figura 1). A nascente do rio dos Couros se situa no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, próximo ao Morro do Capão Grosso, com 1.638 m de altitude, e percorre 71,5 km em direção leste do parque. O rio São Bartolomeu nasce nas cercanias do município de Alto Paraíso de Goiás, com 74 km de extensão em direção leste até o rio Macacão.

Figura 1. Localização geográfica dos pontos coletados, Rio dos Couros (CO) e Rio São Bartolomeu (BA), Chapada dos Veadeiros-GO. Elaborado por Thomas Doucen.



O clima na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical, com alta precipitação pluviométrica entre os meses de novembro e janeiro, e período mais seco entre os meses de junho e agosto, com precipitação anual entre 1500 e 1750 mm.

As expedições foram realizadas nos períodos chuvoso (de outubro a dezembro) e seco (maio e julho), com sete pontos amostrais no Rio dos Couros e seis no Rio São Bartolomeu.

Os organismos bentônicos foram coletados de forma ativa com o uso de peneiras na duração de uma hora para cada ponto. Na forma passiva, utilizou-se uma peneira com aro “D” para bentos na qual o substrato era coletado e fixado em álcool 70% (Figura 2).

Figura 2. Coleta de bentos em sedimento de rio, com uso de peneira e rede tipo D. Chapada dos Veadeiros, GO. Foto: Maria Júlia Martins Silva.



Em laboratório, a triagem do material biológico coletado foi realizada em peneiras com malha 1,19 mm e 4,5 mm de porosidade. Os organismos foram identificados com o uso de chaves de MERRITT & CUMMINS (2008) e HAMADA *et al.* (2019). Os indivíduos foram identificados a nível de ordem e depositados e tombados na Coleção de Invertebrados Aquáticos da Universidade de Brasília (CIAq – UnB).

3 RESULTADOS

Foram coletados ao todo 2.064 indivíduos, com 1.136 para o rio São Bartolomeu e 928 para o rio dos Couros.

Foram registradas oito ordens de macroinvertebrados bentônicos nos dois rios (Figuras 3 e 4). Odonata obteve maiores abundâncias ao longo do estudo; no rio São Bartolomeu variou de 42,7 a 19,5%; no rio dos Couros de 45,4 a 28,3%.

Coleoptera foi bem representativa no rio São Bartolomeu em todos os períodos de coleta (28,1%, seca/2011; 14,9%, chuva/2011; 11,3%, seca/2012; 15,6%, chuva/2012).

Diptera obteve 24,2% no rio dos Couros, seca de 2011; e Hemiptera ficou com 32,5% no rio dos Couros, seca de 2012.

Em relação à tríade EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), Plecoptera obteve reduzidas abundâncias, com maior valor obtido no rio São Bartolomeu, seca de 2012, com 16,7%. A abundância elevada de Ephemeroptera foi obtida para os dois cursos d'água. No rio São Bartolomeu, esta ordem predominou no período chuvoso (31,3%, 2011; 35,1%, 2012). Por sua vez, no rio dos Couros esta ordem foi predominante na época seca (26,2%, 2011; 30%, 2012). Trichoptera foi dominante na seca/ 2012, rio São Bartolomeu (59%), e predominante na seca/2011 no rio dos Couros (21,2%).

Para os dois cursos d'água, foi no período de seca em que a abundância de organismos e riqueza taxonômica foram maiores (MARTINS-SILVA *et al.*, *in prep.*).

Figura 3. Macroinvertebrados bentônicos (ordens, %) para o rio São Bartolomeu, para os períodos de seca e chuva, 2011 e 2012. Chapada dos Veadeiros, GO.

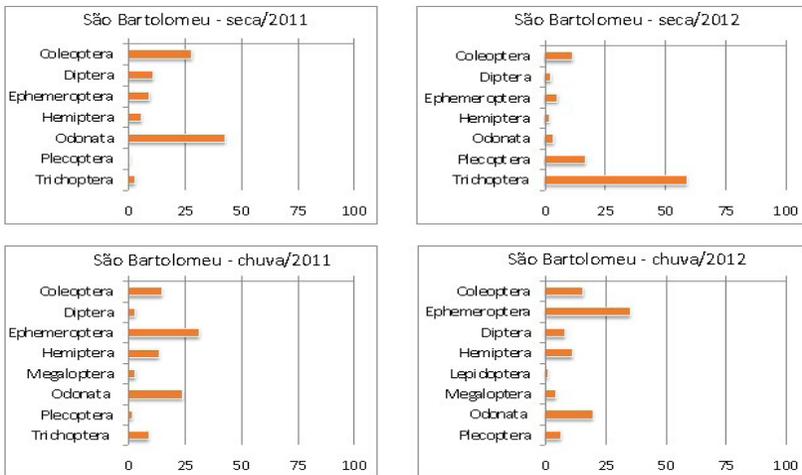
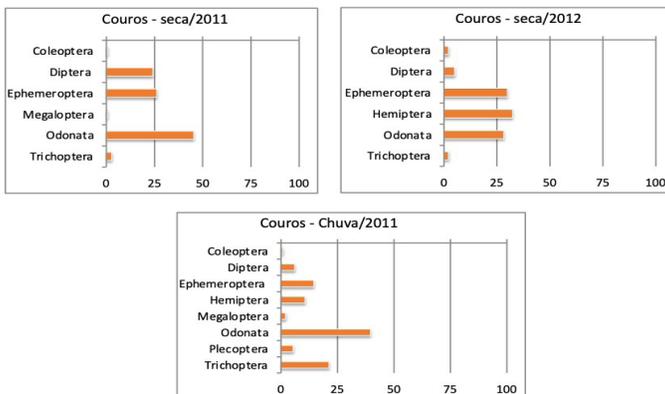


Figura 4. Macroinvertebrados bentônicos (ordens, %) para o rio dos Couros, para os períodos de seca e chuva, 2011 e 2012. Chapada dos Veadeiros, GO.



4 DISCUSSÃO

A estruturação do zoobentos em ambientes lóticos envolve interações biológicas, disponibilidade e qualidade de recursos, tipo de sedimento ou substrato, e a velocidade da corrente (ESTEVES *et al.*, 2011). Em rios de pequeno porte e cabeceiras, como os deste estudo, a heterogeneidade de habitats é um dos fatores direcionadores na diversidade biológica. Ambientes heterogêneos favorecem a colonização de elevada variedade taxonômica bem como de guildas tróficas, de carnívoros, herbívoros, detritívoros e coletores de partículas finas. Como exemplo, FIDELIS *et al.* (2008) registrou diferenças na macrofauna bentônica em função do tipo de substrato em igarapés amazônicos.

Foram observadas diferenças de participação dos predadores nas assembleias de bentos entre os dois cursos d'água. As espécies predadoras geralmente possuem ampla tolerância às variações ambientais. Coleoptera, os besouros aquáticos, esteve predominante no rio São Bartolomeu, mas com mínima ocorrência no rio dos Couros. O Odonata, também chamado libélulas, tem suas ninfas aquáticas vorazes predadoras. Estavam presentes nos dois riachos no período seco de 2011. Entretanto, nos outros períodos, foram mais abundantes no rio dos Couros. Em riachos, as ninfas de Odonata estão associadas às margens, em sedimentos não consolidados, folhiço, tronco e vegetação aquática (BORGES *et al.*, 2019). O terceiro grupo de predadores, Megaloptera, ocorreu com baixíssima abundância durante o período de estudo.

Espécies mais sensíveis à poluição orgânica, não tolerantes a baixas concentrações de oxigênio dissolvido, e assim, indicadoras de águas de excelente qualidade, estiveram presentes nos dois riachos. São espécies que habitam águas correntes transparentes, oxigenadas, e na maioria das vezes, trechos de pequena ordem. São as ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, conhecidas como EPT. Ephemeroptera foi a mais abundante desse grupo. Essa ordem é comumente registrada em áreas preservadas (COMPIN & CÉRÉGHINO, 2003), apesar de também ter registros em áreas com menor nível de conservação ambiental (ROMERO *et al.*, 2013).

Por sua vez, Trichoptera e Plecoptera estavam com baixa abundância nos dos riachos, exceto na seca de 2012, em que Trichoptera foi dominante. Trichoptera coloniza sedimentos de forma seletiva, já que as espécies selecionam material específico para a construção de suas casas (MORETTI *et al.*, 2009). Os imaturos desta ordem atuam como fragmentadores, ou seja, se utilizam de material vegetal fragmentado tanto para sua alimentação como para construção de seus abrigos. Trichoptera e Plecoptera preferem colonizar trechos de rios de pequena ordem, tendo elevada importância nas cadeias tróficas aquáticas.

A ordem Diptera geralmente ocorre em todos os cursos d'água. Entretanto, a porcentagem de ocorrência de seus indivíduos determina a qualidade do ambiente, uma vez que suas larvas suportam uma ampla gama de poluentes na água. Já os indivíduos da ordem Hemiptera são encontrados na fase adulta. São organismos onívoros sugadores, utilizando seu aparelho bucal para sugar o interior de suas presas. Os Hemiptera ocorrem em ambientes prístinos e pouco poluídos, mas que tenham presas disponíveis para sua alimentação (ESTEVES *et al.*, 2011).

No presente estudo, as estações sazonais, de seca e chuvosa, não influenciaram na composição das ordens da macrofauna bentônica. PEREIRA *et al.* (2017) referendou que o tipo de substrato é um dos marcadores de distribuição de bentos, e que os períodos sazonais exercem menor influência. Entretanto, as flutuações de nível dos riachos são mais pronunciadas durante as chuvas (PIO *et al.*, 2018). Mesmo tendo sido registradas oito ordens de organismos bentônicos nos dois rios, a diversidade de espécies bem como a abundância dos organismos, foram maiores no período de seca (MARTINS-SILVA *et al.*, *in prep.*). Padrão semelhante foi observado em cursos d'água de pequena ordem no Brasil (PIO *et al.*, 2020).

Estudos anteriores realizados em águas do Cerrado verificaram que o regime de chuvas é essencial na variação temporal dos bentos em riachos (OLIVEIRA *et al.*, 1999; RIBEIRO & UIEDA, 2005). Apesar disso, não se pode afirmar que haja um padrão sazonal referente à diversidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos tropicais. Embora muitos estudos tenham encontrado maior riqueza taxonômica em períodos secos (BAPTISTA *et al.*, 2001; CALLISTO *et al.*, 2005), outros estudos não verificaram diferenças entre as estações do ano (PEREIRA *et al.*, 2017; PIO *et al.*, 2018).

Riachos de cabeceira, como apresentados por este estudo, são muito influenciados pelo regime de chuvas da região, pois caso a chuva ocorra em suas nascentes, o curso d'água rapidamente aumenta seu volume. São as chamadas trombas d'água ou cabeças d'água. Durante o pico de chuvas, os riachos estão com volume bem alto, e por conseguinte, dificultam as coletas de campo. Alguns grupos de bentos são levados pela correnteza, e seus habitats sofrem alterações, afetando sua alimentação bem como as condições ambientais (BISPO *et al.*, 2001).

Os rios dos Couros e São Bartolomeu estão inseridos em uma mesma região climática, com vegetação de Cerrado predominante e bem preservada. A vegetação ripária está bem conservada no geral, e somente em alguns trechos é parcial. Na região de estudo, a dinâmica temporal desses cursos d'água é caracterizada por períodos de cheia e de seca, que pode determinar a estrutura das assembleias da macrofauna bentônica (LAKE, 2000).

As diferenças são referentes ao tipo de sedimento e a topografia do relevo. O rio dos Couros apresenta leito pedregoso, com corredeiras intercaladas com remansos e piscinas ao longo de seu curso. Ele atravessa relevo com declives bem acentuados, como na sua nascente e na Cachoeira dos Couros. O rio São Bartolomeu tem sua bacia mais plana e leito menos pedregoso e mais argiloso.

Como foram obtidos resultados semelhantes na estrutura das assembleias de macroinvertebrados bentônicos nos dois rios com abundância e riqueza taxonômica maiores nos períodos de seca, é de se presumir que o regime de chuvas na região tenha sido o principal fator na condução das assembleias dessa biota. As variações climáticas podem alterar a estrutura do habitat e determina a colonização e estabelecimento dos bentos em ambientes lóticos (MELO, 2009). Em estações chuvosas, um aumento no fluxo acarreta erosão de partículas do solo da bacia, desestabiliza o substrato, e reduz o número de habitats disponíveis, além de causar o arraste dos organismos (DUDGEON & WU, 1999; SILVEIRA *et al.*, 2006). Além disso, é na estação chuvosa que os organismos bentônicos imaturos sofrem metamorfose, tornando-se adultos alados. Em contraste, no período de seca há o decréscimo do fluxo de água que aumenta a estabilidade do substrato, e permite o estabelecimento de organismos no substrato dos rios BISPO *et al.*, 2001; OLIVEIRA & NESSIMIAN, 2001).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Macrofauna bentônica representa um componente importante de comunidades aquáticas. Os organismos bentônicos são amplamente distribuídos e ocorrem em variados tipos de substrato. Como apresentado neste capítulo, a sua distribuição é influenciada por diversos fatores, como características de seus habitats, do fluxo dos rios, regime de chuvas, uso do solo de suas bacias, entre outros. Mudanças nestas características, aliadas a modificações no uso de suas margens e descarte de substâncias poluidoras, fazem com que os organismos bentônicos sejam utilizados amplamente como bioindicadores de qualidade da água.

Estudos realizados em águas do Cerrado em regiões preservadas como a Chapada dos Veadeiros são ferramentas elegíveis para configuração de áreas de referência e direcionar planos de monitoramento ambiental e bases estruturais para proteção ambiental mais efetiva.

6 AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de pesquisas desenvolvidas pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecemos a Thomas Doucen pela confecção do mapa. Agradecemos a Alef Brito Neiva e Luiza Xavier pelo auxílio de campo e laboratório.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, D.F.; DORVILLÉ, L.F.M.; BUSS, D.F.; NESSIMIAN, J.L. **Spatial and temporal organization of aquatic insects assemblages in the longitudinal gradient of a tropical river.** Revista Brasileira de Biologia, 61(2), 295-304, 2001.

BORGES, L.R.; BARBOSA, M.S.; CARNEIRO, M.A.A.; *et al.* **Dragonflies and damselflies (Insecta: Odonata) from a Cerrado area at Triângulo Mineiro, Minas Gerais, Brazil.** Biota Neotropica, 19(1), e20180609, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0609>

BISPO, P.C.; OLIVEIRA, L.G.; CRISCI, V.L.; SILVA, M.M. **A pluviosidade como fator de alteração da entomofauna bentônica (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos do Planalto Central do Brasil.** Acta Limnologica Brasiliensia, 13(2), 1-9, 2001.

CALLISTO, M.; GOULART, M.; MEDEIROS, A.O.; *et al.* **Diversity assessment of benthic macroinvertebrates, yeasts, and microbiological indicators along a longitudinal gradient in Serra do Cipó, Brasil.** Brazilian Journal of Biology, 64(2), 743-755, 2005.

COMPIN, A.; CÉRÉGHINO, R. **Sensitivity of aquatic insect species richness to disturbance in the Adour-Garonne stream system (France).** Ecological Indicators, 3, 135-142, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X\(03\)00016-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X(03)00016-5)

COUCEIRO, S.R.M.; HAMADA, N.; FORSBERG, B.R.; PADOVESI-FONSECA, C. **Effects of anthropogenic silt on aquatic macroinvertebrates and abiotic variables in streams in the Brazilian Amazon.** Journal of Soils and Sediments, 10, 89-103, 2010.

DUDGEON, D.; WU, K.K.Y. **Leaf litter in a tropical stream: Food or substrate for macroinvertebrates?** Archiv für Hydrobiologie, 146(1), 65-82, 1999.

ESTEVES, F.A.; LEAL, J.J.F.; CALLISTO, M. Comunidade bentônica In: ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia.** 3ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 581-603, 2011.

FIDELIS, L.; NESSIMIAN, L.; HAMADA, N. **Distribuição espacial de insetos aquáticos em igarapés de pequena ordem na Amazônia Central.** Acta Amazonica, 38(1), 127-134, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000100014>

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J.L.; QUERINO, R.B. **Insetos Aquáticos na Amazônia Brasileira: taxonomia, biologia e ecologia.** 1ed., Manaus: INPA, 724 pp, 2019.

LAKE, P.S. **Disturbance, patchiness, and diversity in streams.** Journal of the North American Benthological Society, 19(4), 573-592, 2000.

MELO, A.S. **Explaining dissimilarities in macroinvertebrate assemblages among stream sites using environmental variables.** Zoologia, 26(1), 79-84, 2009.

MERRITT, R.W.; CUMMINGS, K.W. **An Introduction to the Aquatic Insects of North America.** Kendall/Hunt Publishing Company. 892 pp, 2008.

MORETTI, M.S.; LOYOLA, R.D.; BECKER, B.; CALLISTO, M. **Leaf abundance and phenolic concentrations codetermine the selection of case-building materials by *Phylloicus* sp. (Trichoptera, Calamoceratidae).** *Hydrobiologia*, 630, 199-206. DOI 10.1007/s10750-009-9792-y

OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savana.** New York: Columbia University Press, 424 pp, 2002.

OLIVEIRA, L.G.; BISPO, P.C.; CRISCI, V.L.; SOUZA, K.G. **Distribuições de categorias funcionais alimentares de larvas de Trichoptera (Insecta) em uma região serrana do Brasil Central.** *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11(2), 173-183, 1999.

PADOVESI-FONSECA, C. Caracterização dos ecossistemas aquáticos do Cerrado. In: SCARIOT, A. *et al.* (org.). **Biodiversidade, ecologia e conservação do Cerrado.** Brasília: MMA, p. 415-429, 2006.

PADOVESI-FONSECA, C.; MARTINS-SILVA, M.J.; PUPPIN-GONÇALVES, C.T. **Cerrado's areas as a reference analysis for aquatic conservation in Brazil.** *Biodiversity Journal*, 6, 805-816, 2015.

PEREIRA, T.S.; PIO, J.F.G.; CALOR, A.R.; COPATTI, C.E. **Can the substrate influence the distribution and composition of benthic macroinvertebrates in streams in northeastern Brazil?** *Limnologica*, 63(1), 27-30, 2017.

PIO, J.F.G.; PEREIRA, T.S.; CALOR, A.R.; COPATTI, C.E. **Organization of the benthic macroinvertebrate assemblage in tropical streams of different orders in North-Eastern Brazil.** *Ecología Austral*, 28(1), 113-122, 2018.

ROMERO, R.M.; CENEVIVA-BASTOS, M.; BAVIERA, G.H.; CASATTI, L. **Estrutura de comunidades de insetos aquáticos (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em riachos de Cerrado nas bacias dos rios Paraguai, Paraná e São Francisco.** *Biota Neotropica*, 13(1), 97-107, 2013.

RIBEIRO, L.O.; UIEDA, V.S. **Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil.** *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(3), 613-618, 2005.

SILVA-LEITE, M.; MOURA, C.O.; MARTINS-SILVA, M.J. **Insetos Bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental no Jardim Botânico de Brasília.** *Heringeriana*, 16, e917962, 2021.

SILVEIRA, M.P.; BUSS, D.F.; NESSIMIAN, J.L.; BAPTISTA, D.F. **Spatial and temporal distribution of benthic macroinvertebrates in a southeastern Brazilian river.** *Brazilian Journal of Biology*, 66(2), 623- 632, 2006.

CAPÍTULO 5

ESTRATÉGIA REPRODUTIVA DE PEIXES TELEÓSTEOS EM UM AMBIENTE IMPACTADO PELA CONSTRUÇÃO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA NO ALTO RIO TOCANTINS

Data de submissão: 24/05/2023

Data de aceite: 12/06/2023

Maria Fernanda Nince Ferreira

Professora e Pesquisadora da
Universidade de Brasília (UnB)
Membro do Núcleo de Estudos
Limnológicos (NEL) – CNPq
Departamento de Genética e Morfologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brazil
<https://orcid.org/0000-0002-4899-2657>

RESUMO: Neste estudo, foram analisadas as estratégias reprodutivas de seis espécies de peixes (*Serrasalmus rhombeus*, *Prochilodus nigricans*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Ageneiosus brevifilis*, *Hypostomus emarginatus* e *Plagioscion squamosissimus*) no alto rio Tocantins, na área de influência da represa Serra da Mesa, GO. Os parâmetros avaliados foram a relação gonado-somática (RGS) e a frequência de estágios de maturação (FEM) em machos. Os resultados indicaram uma diminuição no investimento reprodutivo em todas as espécies estudadas, com maior impacto nas espécies migratórias que apresentaram redução acentuada nos valores de RGS e nas frequências de indivíduos reprodutivos. A tendência natural à ocupação de ambientes lênticos pode ter

sido um fator facilitador na manutenção da atividade reprodutiva de *P. squamosissimus* e *S. rhombeus*. Ao contrário, as espécies migratórias *R. vulpinus* e *P. nigricans* apresentaram redução acentuada dos valores de RGS médio e das frequências de indivíduos reprodutivos na população. Os machos foram considerados mais confiáveis para expressar as respostas das espécies a perturbações como a construção de hidrelétricas.

PALAVRAS-CHAVE: Ictiofauna. Biologia reprodutiva. Cerrado. Razão gonadossomática.

REPRODUCTIVE STRATEGY OF TELEOST FISH IN AN ENVIRONMENT IMPACTED BY THE CONSTRUCTION OF A HYDROELECTRIC POWER PLANT IN THE UPPER TOCANTINS RIVER

ABSTRACT: In this study, the reproductive strategies of six fish species (*Serrasalmus rhombeus*, *Prochilodus nigricans*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Ageneiosus brevifilis*, *Hypostomus emarginatus*, and *Plagioscion squamosissimus*) in the upper Tocantins River, in the area influenced by the Serra da Mesa reservoir, GO, were analyzed. The parameters evaluated were the gonadosomatic ratio (GSR) and the frequency of maturation stages (FMS) in males. The results indicated a decrease in reproductive investment in all studied species, with greater impact on migratory species that showed a marked reduction in GSR values and in the frequencies of reproductive individuals. The natural tendency towards the

occupation of lentic environments may have been a facilitating factor in the maintenance of the reproductive activity of *P. squamosissimus* and *S. rhombeus*. In contrast, migratory species *R. vulpinus* and *P. nigricans* showed a marked reduction in the mean GSR values and the frequencies of reproductive individuals in the population. Males were considered more reliable for expressing species responses to disturbances such as the construction of hydroelectric plants.

KEYWORDS: Ichthyofauna. Reproductive biology. Savana. Gonadosomatic ratio.

1 INTRODUÇÃO

O alto rio Tocantins é uma região de grande importância para a biodiversidade de peixes de água doce no Brasil. Diversas espécies de teleósteos habitam o rio e seus afluentes, incluindo *Serrasalmus rhombeus*, *Prochilodus nigricans*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Ageneiosus brevifilis*, *Hypostomus emarginatus* e *Plagioscion squamosissimus*, que são consideradas representativas da ictiofauna da região. No entanto, essa biodiversidade vem sendo ameaçada por atividades humanas, como a construção de hidrelétricas.

Na região, a Usina Hidrelétrica Serra da Mesa, por exemplo, afetou um trecho do rio Maranhão/Tocantins e de seus afluentes, incluindo os rios Almas, Tocantinzinho, Bagagem e outros de menor porte. Os resultados do acompanhamento da ictiofauna na região indicaram que houve uma diminuição na diversidade e abundância de espécies de peixes após a construção da usina. Além disso, foram observadas alterações na distribuição temporal e espacial das espécies de peixes, o que pode ter impactos negativos no funcionamento do ecossistema aquático (UFRJ/BIORIO/FURNAS - Serra da Mesa Energia S. A, 1999).

Ocupar diferentes habitats é uma característica comum entre os teleósteos, e a diversidade não só morfológica, mas também de estratégias de vida, muitas vezes explica a adaptação a diferentes ambientes e a variações cíclicas ou abruptas que ocorrem (VAZZOLER, 1996).

Os teleósteos alcançaram sucesso na ocupação de habitats variados, devido principalmente à grande diversidade e plasticidade das estratégias e táticas reprodutivas (VAZZOLER, 1997; MATTHEWS, 1998). A eficiência na utilização de energia destinada à reprodução é um fator importante para o estabelecimento das populações em ambientes naturais ou alterados pela ação humana (BURTON *et al.*, 2017).

Mesmo considerando as peculiaridades de diferentes reservatórios formados, assim como da ictiofauna dos rios e bacias onde estão localizados, podemos de forma resumida apontar os principais impactos resultantes da construção das barragens e represamentos dos rios, como: a alteração da estrutura da comunidade; a interrupção das rotas migratórias; o desaparecimento de espécies e a diminuição dos estoques

pesqueiros (SILVA, 1983; FUEM-Itaipu Binacional, 1989; AGOSTINHO, 1994; AGOSTINHO et al. 1999; UFRJ/BIORIO/FURNAS - Serra da Mesa Energia S. A, 1999; SMITH & PETREIRE-JUNIOR, 2001).

A capacidade de adaptação dessas espécies é influenciada por diversas características biológicas, como hábitos alimentares, estratégias reprodutivas e comportamentos migratórios (AGOSTINHO et al. 1999; FERREIRA, 2002; FERREIRA & CARAMASCHI, 2005; SMITH & PETREIRE-JUNIOR, 2001). O sucesso ou fracasso na ocupação desses novos ambientes é determinado por esses fatores. Estudos recentes têm enfatizado a importância das estratégias reprodutivas na determinação do sucesso reprodutivo e da manutenção das populações em ambientes artificiais (JÄHNIG et al., 2015; SILVA et al., 2019). Essas estratégias permitem antecipar quais espécies serão capazes de se estabelecer nesses ambientes e compor a comunidade de peixes.

As espécies de peixes que habitam o alto rio Tocantins, GO, incluindo *Serrasalmus rhombeus*, *Prochilodus nigricans*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Ageneiosus brevifilis*, *Hypostomus emarginatus* e *Plagioscion squamosissimus*, são importantes representantes da ictiofauna na região (REIS et al., 2003). No entanto, a construção da Usina Hidrelétrica Serra da Mesa afetou significativamente a região, incluindo trechos dos rios Maranhão/Tocantins e seus afluentes, como os rios Almas, Tocantinzinho, Bagagem e outros menores (Figura 1). Antes do represamento, o rio apresentava um leito rochoso exposto durante o período de seca e predominância de corredeiras em uma sucessão de rápidos e remansos. Após o fechamento dos túneis de desvio em outubro de 1996, a água represada começou a formar o reservatório, cobrindo uma área de 1784 km² até o final do enchimento em abril de 1998 (FERREIRA, 2002).

Pesquisas realizadas após a construção da usina hidrelétrica têm demonstrado que a transformação do ambiente afetou significativamente a diversidade e a composição da ictiofauna local, com redução no número de espécies e mudanças na estrutura das comunidades (UFRJ/BIORIO/FURNAS - Serra da Mesa Energia S. A, 1999; FERREIRA, 2002; AGOSTINHO et al., 2004; FUGI et al., 2005). Além disso, a alteração do regime hidrológico e da qualidade da água afetou a reprodução e o recrutamento de algumas espécies de peixes, como *Piaractus mesopotamicus* e *Brycon hilarii*, o que pode levar a uma redução ainda maior na diversidade da ictiofauna (PELICICE et al., 2015; POMPEU et al., 2018).

O estudo da biologia reprodutiva de peixes é de grande importância para a conservação e manejo dos estoques pesqueiros, uma vez que fornece informações sobre o período reprodutivo, a fecundidade, a taxa de crescimento e outros aspectos que afetam a dinâmica populacional das espécies. Também, são especialmente importantes em rios e

áreas afetadas por represas, onde as alterações no fluxo de água e no ambiente podem afetar a reprodução dos peixes. Além disso, a biologia reprodutiva de peixes podem fornecer informações úteis para o desenvolvimento de estratégias de manejo, como a definição de períodos de pesca, a criação de áreas de proteção, o estabelecimento de tamanhos mínimos de captura e a seleção de técnicas de pesca numa estratégia eficaz para garantir a sustentabilidade do recurso.

Dentre os diferentes aspectos da biologia reprodutiva de peixes, o RGS (razão gonadosomática) é um índice utilizado para avaliar o investimento reprodutivo dos indivíduos. A importância do RGS está em sua capacidade de indicar o período reprodutivo das espécies de peixes, pois os valores desse índice costumam aumentar durante o período de maturação e desova das gônadas. Dessa forma, o RGS é uma ferramenta útil para determinar os períodos de maior atividade reprodutiva das espécies e para avaliar a influência de fatores ambientais na biologia reprodutiva dos peixes, como a construção de barragens e outros impactos humanos nos ecossistemas aquáticos. O RGS também pode ser utilizado para avaliar a qualidade do habitat dos peixes, indicando em boas condições nutricionais e ambientais para investimento em reprodução. Em resumo, o RGS é um importante indicador da biologia reprodutiva dos peixes e pode fornecer informações valiosas para a gestão e conservação dos recursos aquáticos (FERREIRA, 2002; SILVANO et al., 2001; DIAS et al., 2019)

Neste estudo, realizamos uma comparação dos aspectos da biologia reprodutiva dos machos de seis espécies que representam as principais ordens de teleósteos encontradas na região do Alto rio Tocantins.

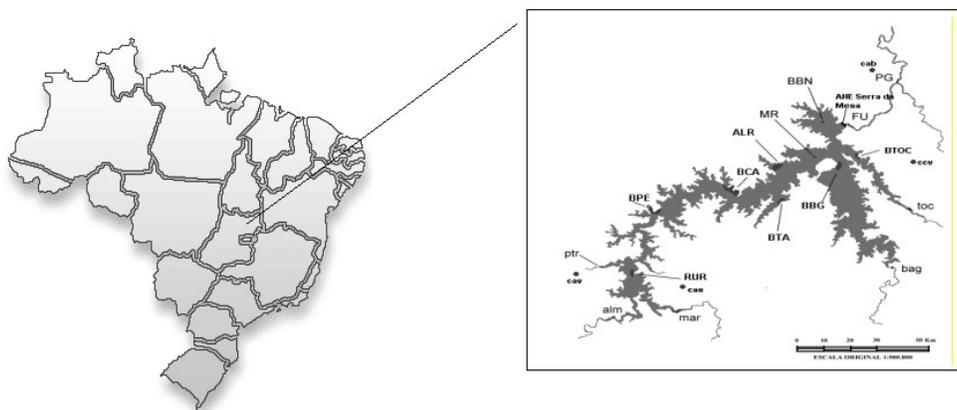
2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo compreende a área de influência da Usina Hidrelétrica Serra da Mesa, cuja localização pode ser observada na Figura 1. As localidades amostradas podem ser divididas em três áreas, segundo a posição em relação ao reservatório. São elas: Jusante, Reservatório e Montante. Foram utilizadas redes de emalhar padronizadas e malhas entre 15 e 150 mm entrenós, por um período de 24 horas, com vistorias periódicas a cada 08 horas. Ocasionalmente foram usadas tarrafas, rede de arrasto manual e anzóis. Os exemplares coletados eram numerados, medidos (comprimento padrão) em mm de precisão e pesados com precisão de centésimos e décimos gramas para pesos acima e abaixo de 500g respectivamente. Registrou-se o sexo, peso da gônada e estágio de maturação gônadal confirmado histologicamente. Por meio dos dados de peso total (Pt) e peso da gônada (Pg) obtidos em campo, foram calculadas

para cada espécie o RGS. Ele é calculado pela divisão do peso das gônadas pelo peso total do peixe, multiplicado por 100.

Neste trabalho são apresentados dados das espécies pertencentes às ordens Characiformes (*Serrasalmus rhombeus*, *Prochilodus nigricans*, *Rhaphiodon vulpinus*), Siluriformes (*Ageneiosus brevifilis*, *Hypostomus emarginatus*) e Perciformes (*Plagioscion squamosissimus*).

Figura 1. Alto rio Tocantins, GO. Localização da Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa e pontos de coleta: Porto do Garimpo (PG), FUNAI (FU), Braço do Boa Nova (BBN), Braço do Tocantinzinho (BTOC), Meio do reservatório (MR), Braço do Bagagem (BBG), Porto Alfredinho (AL), Porto Alfredinho Reservatório (ALR), Foz do Castelão (CA), Braço do Castelão (BCA), Braço do Traíras (BTA), Foz do rio do Peixe (PE), Braço do Peixe (BPE), Ponte Uruaçu (UR), Reservatório Uruaçu (RUR), Cachoeira do Machadinho (CMJ), rio Maranhão (mar), rio Almas (alm), rio Bagagem (bag), rio Tocantinzinho (toc), rio Traíras (tra). Fonte: FERREIRA, 2002, adaptado.



3 RESULTADOS

Apresentamos na Tabela 1 os valores mensais médios de RGS para cada espécie. Considerando como uma referência de ambiente lótico, e com base nos dados de RGS, ficam caracterizados como períodos reprodutivos os meses: junho a dezembro na espécie *Serrasalmus rhombeus*; outubro a fevereiro para *Prochilodus nigricans*; outubro a abril para *Rhaphiodon vulpinus*; junho a dezembro para *Ageneiosus brevifilis* e o ano todo para *Plagioscion squamosissimus*. *Hypostomus emarginatus* não apresentou elevação dos valores de RGS, que indicassem pico reprodutivo, mas apresentou indivíduos reprodutivos nos meses de abril a dezembro.

Ao avaliarmos a tendência da variação temporal dos valores médios da RGS ao longo tempo, vimos claramente que ocorreu, em todas as espécies, uma diminuição no investimento reprodutivo, tanto no reservatório como no conjunto das localidades. Na área Reservatório padrão semelhante ao das localidades das áreas: Montante e Jusante

reunidas, foi verificado para *Serrasalmus rhombeus*, *Ageneiosus brevifilis* e *Plagioscion squamosissimus*.

Para *Prochilodus nigricans*, *Rhaphiodon vulpinus* e *Hypostomus emarginatus*, o comportamento dos valores de RGS na área Reservatório foi diferente daquele dos demais trechos do rio. Na área Reservatório, praticamente não houve elevação dos valores da RGS. Ao considerarmos a totalidade das localidades, a atividade reprodutiva das espécies foi comprovada através dos picos do valor médio da RGS. Na área do Reservatório, *P.squamosissimus* apesar de ter mantido atividade reprodutiva ao longo de todos os meses, apresentou valores mais baixos de RGS médio indicando, também, uma redução neste investimento. Na área Reservatório, *Ageneiosus brevifilis* apresenta valores próximos aos observados ao total, com redução no período reprodutivo. Podemos observar também que em todas as espécies, exceto *H. emarginatus*, houve redução nestes valores (sem diferença significativa, Scheffe 5%).

Tabela 1. Valores percentuais de RGS médio e respectivo desvio padrão (DP) multiplicados por 10², apresentados por espécie.

Espécie	Área	Fases											
		Rio			Enchimento			Operação			Total		
		N	RGS (%)	DP (%)	N	RGS (%)	DP (%)	N	RGS (%)	DP (%)	N	RGS (%)	DP (%)
<i>S. rhombeus</i>	J	40	0.19	0.14	24	0.21	0.27	77	0.18	0.16	141	0.19	0.18
	M	29	0.12	0.13	187	0.07	0.07	67	0.09	0.09	283	0.08	0.08
	R	176	0.17	0.18	1,473	0.04	0.07	1,031	0.08	0.10	2,680	0.06	0.10
	Total	245	0.17	0.17	1,684	0.05	0.08	1,175	0.08	0.11	3,104	0.07	0.10
<i>P. nigricans</i>	J	36	0.15	0.26	104	0.20	0.34	4	0.13	0.10	144	0.18	0.31
	M	24	0.51	0.40	127	0.03	0.13	29	0.52	0.78	180	0.17	0.42
	R	41	0.07	0.19	314	0.01	0.04	46	0.04	0.23	401	0.02	0.11
	Total	101	0.20	0.33	545	0.05	0.18	79	0.23	0.55	725	0.09	0.28
<i>R. vulpinus</i>	J	114	0.44	0.31	129	0.36	0.36	162	0.34	0.32	405	0.37	0.33
	M	0	0.00	-	77	0.02	0.02	96	0.18	0.17	173	0.11	0.15
	R	41	0.35	0.26	392	0.03	0.11	264	0.05	0.05	697	0.06	0.13
	Total	155	0.42	0.30	598	0.10	0.23	522	0.16	0.23	1,275	0.16	0.26
<i>A. brevifilis</i>	J	6	3.20	0.70	-	-	-	2	1.71	2.37	8	2.82	1.28
	M	5	1.87	1.78	54	0.77	1.31	8	0.99	1.31	67	0.88	1.36
	R	63	2.02	1.87	138	0.49	0.99	62	0.14	0.51	263	0.78	1.38
	Total	74	2.11	1.81	192	0.57	1.09	72	0.28	0.78	338	0.84	1.41
<i>H. emarginatus</i>	J	176	0.03	0.04	225	0.05	0.13	123	0.04	0.06	524	0.04	0.09
	M	126	0.04	0.10	99	0.30	1.80	78	0.05	0.05	303	0.13	1.04
	R	496	0.04	0.10	58	0.04	0.06	272	0.03	0.03	826	0.04	0.08
	Total	798	0.04	0.09	382	0.12	0.93	473	0.04	0.04	1,653	0.06	0.45
<i>P. squamosissimus</i>	J	117	0.67	0.70	94	0.44	0.42	278	0.73	0.49	489	0.66	0.54
	M	0	0.00	-	32	0.21	0.28	11	0.26	0.39	43	0.22	0.31
	R	157	0.61	0.60	159	0.24	0.21	380	0.34	0.30	696	0.38	0.40
	Total	274	0.64	0.64	285	0.30	0.32	669	0.50	0.43	1,228	0.48	0.48

4 DISCUSSÃO

O estudo identificou os períodos reprodutivos de seis espécies de peixes na área de influência da Usina Hidrelétrica Serra da Mesa. *Serrasalmus rhombeus* reproduz de

junho a dezembro, *Prochilodus nigricans* de outubro a fevereiro, *Rhaphiodon vulpinus* de outubro a abril, *Ageneiosus brevifilis* de junho a dezembro e *Plagioscion squamosissimus* durante todo o ano. Embora *Hypostomus emarginatus* não tenha apresentado pico reprodutivo, foram encontrados indivíduos reprodutivos nos meses de abril a dezembro. Os resultados indicam a importância de considerar os diferentes períodos reprodutivos das espécies em programas de manejo de recursos pesqueiros na região.

A dinâmica de reprodução das espécies estudadas mostrou-se sensível às modificações geradas pelo represamento do rio, apresentando respostas tanto temporais como espaciais.

A tendência natural à ocupação de ambientes lênticos pode ter sido um fator facilitador na manutenção da atividade reprodutiva de *Plagioscion squamosissimus* e *Serrasalmus rhombeus*. Ambas possuem como estratégia reprodutiva, a produção de um número elevado de pequenos ovos, desova pelágica parcelada e primeira maturação precoce (VALENTIM, 1998; ANTÃO, 2000). No reservatório de Itaipu, estas características foram consideradas determinantes no sucesso de ocupação por *P. squamosissimus* (FUEM-Itaipu Binacional, 1989; AGOSTINHO, 1994; AGOSTINHO, et al., 1999). O alto investimento reprodutivo expresso nos valores de RGS é considerado uma característica vantajosa tanto em ambientes naturais, como rios com regime sazonal de cheias, como em ambientes modificados artificialmente, caso dos reservatórios de usinas hidrelétricas (MATTHEWS, 1998).

Quando comparados os padrões de variação do RGS médio entre fêmeas e machos, apesar dos diferentes padrões de variação, machos das espécies estudadas apresentaram, em sua maioria, padrões espaço-temporais de resposta semelhantes aos das fêmeas. Concluímos que, para as espécies estudadas, os resultados apontam os machos como confiáveis para expressar caracterização da biologia reprodutiva.

5 AGRADECIMENTOS

O projeto foi financiado por: Fundação BioRio; FURNAS Centrais Elétricas; Instituto de Biologia da Universidade de Brasília (IB/UnB), FINATEC e FAPDF.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A. **Considerações acerca de pesquisas, monitoramento e manejo da fauna aquática em empreendimentos hidrelétricos: seminário sobre fauna aquática e o setor elétrico brasileiro.** In: Caderno 1 - Fundamentos. Ministério de Minas e Energia/ELETOBRÁS/COMASE, 1994, p. 34-51.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil.** EDUEM, 1999.

- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. EDUEM, 2004.
- ANTÃO, H. B. **Estrutura populacional e biologia reprodutiva das fêmeas de *Serrasalmus rhombeus* (Linnaeus, 1766) (Teleostei: Characiformes) nas fases anterior e posterior ao represamento do rio Tocantins, pela UHE Serra da Mesa, GO. 2000**. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.
- BURTON, T.; HOOGENBOOM, M. O.; ARMSTRONG, J. D.; GROOTHUIS, T. G.; METCALFE, N. B. **A conceptual framework for the evolution of life history strategies in salmonid fish**. *Ecology and Evolution*, v. 7, n. 4, p. 1040-1052, 2017.
- DIAS, J. H. P.; BAUMGARTNER, G.; MAKRAKIS, M. C. **Influence of hydrological regimes on the reproductive biology of migratory fishes in Neotropical rivers**. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 29, n. 3, p. 535-556, 2019.
- FERREIRA, M. F. N.; CARAMASCHI, E. P. **Aspectos da Estratégia Reprodutiva de Machos de Teleósteos na Área de Influência da Usina Hidrelétrica Serra da Mesa, Alto Rio Tocantins, GO**. In: NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (org.). *Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata*. São Carlos: Editora RiMa, 2005. p. 305-329.
- FERREIRA, M.F.N. **Biologia reprodutiva de peixes da região do alto rio Tocantins sob influência da usina hidrelétrica de Serra da Mesa, GO**. Dissertação (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. 174p.
- FUEM-Itaipu Binacional. **Ecologia de populações de peixes no reservatório de Itaipu nos primeiros anos de sua formação: 6ª etapa (relatório, 03)**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1989. 406p.
- FUGI, R.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. **Fish assemblages in neotropical reservoirs: colonization patterns, impacts and management**. *Fisheries Management and Ecology*, Oxford, v. 12, n. 6, p. 407-417, Dec. 2005. DOI: 10.1111/j.1365-2400.2005.00463.x.
- JÄHNIG, S. C.; LORENZ, A. W.; HERING, D.; ANTONS, C. **Success of a recolonizing fish population in a medium-sized river system depends on immigration rates and species traits**. *Ecology of Freshwater Fish*, v.24, n.1, p.92-103, 2015.
- MATTHEWS, W. J. **Patterns in freshwater fish ecology**. Springer Science & Business Media, 1998.
- PELICICE, F. M.; POMPEU, P. S.; AGOSTINHO, A. A. **Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish**. *Fish and Fisheries*, v. 16, n. 4, p. 697-715, 2015.
- POMPEU, P. S.; PAULA, F. R.; AGOSTINHO, A. A. **Longitudinal patterns of fish assemblages in a large Neotropical river after a hydroelectric dam cascade**. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 28, n. 1, p. 69-80, 2018. <https://doi.org/10.1002/aqc.2837>
- REIS, R. E., KULLANDER, S. O., & FERRARIS JR, C. J. (Eds.). **Check list of the freshwater**. São Paulo: EdUSP, 2003.
- SILVA, T. A., FRANTINE-SILVA, W., & OLIVEIRA, E. F. **Reproductive strategies and reproductive success of native and non-native fish species in an urbanized river in Brazil**. *Hydrobiologia*, 829(1), 163-176, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3787-3>
- SILVA, S.S. **Reproductive strategies of some major fish species in Parakrama Samudra Reservoir and their possible impact on the ecosystem – a theoretical consideration**. In: Schiemer, F.; Junk, W. (eds.) *Limnology of Parakrama Samudra*, Sri Lanka: The HaguePublishers: 185-191,1983.

SILVANO, R. A., BEGOSSI, A., & MARQUES, J. G. **Ecology and ethnoecology of dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) in southeastern Brazil.** Journal of Ethnobiology, 21(1), 107-135. SMITH, W.S. & PETRERE-JUNIOR M., 2001. M. Peixes em represas: o caso de Ituparanga. Ciênc. Hoje 29 (170):74-77, 2001.

UFRJ/BIORIO/FURNAS-Serra da Mesa Energia S.A., **Projeto “Estudos Básicos sobre a Ictiofauna da AHE Serra da Mesa, GO.” Final da Fase III. Relatório Técnico.** Rio de Janeiro, UFRJ/BIORIO/FURNAS, 516p, 1999.

VALENTIM, M.F.M. **Biologia reprodutiva das fêmeas da pesca de água doce *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Teleostei: Sciaenidae), antes e durante a formação do reservatório da UHE Serra da Mesa, no alto rio Tocantins, GO.** Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – PPGBA, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 139p, 1998.

VAZZOLER, A. E. A. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática.** Maringá: Eduem, 1996.

VAZZOLER, A.E.A. DE M., SUZUKI, H.I., MARQUES, E.E. & LIZAMA, M. DE LOS A. P. **Primeira maturação gonadal, períodos e áreas de reprodução.** In: Vazzoler, A. E. A. de M.; Agostinho, A. A. & Hahn, N. S. (eds). A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos, Maringá: EDUEM: 249-263, 1997.

CAPÍTULO 6

HIDROGEOQUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DE RIOS DO CERRADO CENTRAL DO BRASIL

Data de submissão: 24/05/2023

Data de aceite: 12/06/2023

Valéria Regina Bellotto

Professora Associada da
Universidade de Brasília (UnB)
Mestre em Geociências (Geoquímica) pela
Universidade Federal Fluminense (UFF) e
Doutora em Química Analítica pela
Pontifícia Universidade Católica do
Rio de Janeiro (PUC-Rio)
Divisão de Química Analítica
Instituto de Química
Universidade de Brasília - UnB
Brasília - Distrito Federal
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-6909-6707>

João Bosco Rodrigues Peres Júnior

Bacharel em Química pela
Universidade Federal do Pará
Mestre e Doutor em Química pela
Universidade de Brasília
Divisão de Química Analítica
Instituto de Química
Universidade de Brasília - UnB
Brasília - Distrito Federal
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9492735438923965>

a hidrogeoquímica das águas de três micro-bacias, sendo elas: a do Rio São Bartolomeu, do rio dos Couros e do rio Tocantininho. Foram realizadas coletas em três períodos distintos: na estação seca, no início das chuvas e final das chuvas. Em cada período foram coletadas amostras de vários pontos dos rios e determinaram-se *in situ* os parâmetros físico-químicos, como: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica. Além disso, foram coletadas amostras subsuperficiais de água para determinação de ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , F^-) e cátions majoritários (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}). Pelo diagrama de Piper verificou-se que as águas do Rio São Bartolomeu, têm predomínio dos cátions: cálcio e magnésio e o ânion predominante é o Bicarbonato, o mesmo ocorre para o Rio Tocantininho, já no rio dos Couros não existe predominância de um cátion e ânions. Na comparação com o que estabelece a Resolução CONAMA para classe 2 de água doce, todos os parâmetros químicos de todos os rios estudados encontravam-se dentro dos limites estabelecidos, indicando uma boa qualidade de suas águas. Os resultados indicam que os rios estudados se encontram preservados em termos de qualidade química de suas águas, pois a principal contribuição dos elementos químicos é de origem natural, proveniente do intemperismo químico e lixiviação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de água. Diagrama de Piper. Composição química. Águas naturais.

RESUMO: O presente estudo foi realizado na região da Chapada dos Veadeiros – GO e aborda

HYDROGEOCHEMISTRY AND CLASSIFICATION OF RIVER WATERS FROM THE CENTRAL CERRADO OF BRAZIL

ABSTRACT: The present study was carried out in the region of Chapada dos Veadeiros - GO and addresses the hydrogeochemistry of the waters of three micro-basins, namely: the São Bartolomeu River, the Couros River and the Tocantinzinho River. Water sampling was carried out in three different periods: in the dry season, at the beginning of the rainy season and at its end. In each period, samples were collected from various rivers sites and physical-chemical parameters were determined *in situ* (temperature, pH, dissolved oxygen, dissolved oxygen saturation, total dissolved solids and electrical conductivity). In addition, subsurface water samples were collected for determination of anions (Cl^- , SO_4^{2-} , F^-) and major cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+}). Through the Piper diagram it was verified that the waters of the São Bartolomeu River, have a predominance of calcium and magnesium cations and the predominant anion is bicarbonate, the same occurs for the Tocantinzinho River. The waters of the Couros River do not show predominance of any cation and anion. In comparison with what is established by the CONAMA Resolution for class 2 of fresh water, all the chemical parameters of all the rivers studied were within the established limits, indicating a good quality of their waters. The results indicate that the investigated rivers are preserved in terms of the chemical quality of their waters, since the main contribution of chemical elements is of natural origin, from chemical weathering and soil leaching.

KEYWORDS: Water quality. Piper diagram. Chemical composition. Natural waters.

1 INTRODUÇÃO

As condições das águas naturais tanto em termos de qualidade como disponibilidade tem mudado gradativamente devido às mudanças climáticas e ao aumento das atividades humanas (RAYMOND *et al.*, 2008). Uma vez que as águas dos rios representam uma das principais fontes de água para os seres humanos e para as demais espécies de animais e plantas, conhecer e monitorar a disponibilidade e a qualidade das águas é extremamente importante para os ecossistemas e para a sociedade (BEHMEL *et al.*, 2016).

Estudos geoquímicos de sistemas fluviais ao redor de todo o mundo têm sido fundamentais na determinação de como o intemperismo das rochas e os padrões de uso do solo impactam a química dos rios e a qualidade das águas para seus diferentes usos (DOUGLAS *et al.*, 2002). Estes estudos, porém, tem se concentrado principalmente em grandes rios como o Amazonas, Mackenzie, Mississipi, Ganges, entre outros, em função, obviamente, da grande importância destes em vários aspectos (GOLDSMITH *et al.*, 2015). Estes grandes rios, por exemplo, suprem a necessidade de água e alimento de grandes comunidades e são responsáveis por carrear e distribuir sedimentos férteis por grandes áreas (GAILLARDET *et al.*, 1997). De outro lado, muitas vezes se torna difícil avaliar a

contribuição das diferentes fontes que determinam a composição geoquímica de suas águas, já que muitos fatores importantes, tais como: litologia, geomorfologia, clima, cobertura vegetal e impacto humano, podem variar muito através de seus longos cursos (SHARMA *et al.*, 2011).

Os pequenos rios, quando comparados aos grandes rios, em geral fluem através de terrenos com geologia menos diversificada, tem variações de clima mais limitadas e as intervenções humanas podem ser avaliadas de forma mais adequada. Vários estudos, como os de JENNERJAHN *et al.* (2008) e GODSMITH *et al.* (2015), recomendam os pequenos sistemas fluviais de montanha ou de altitude, em especial aqueles situados nos trópicos, como candidatos adequados para estudos de processos biogeoquímicos por causa de suas bacias relativamente pequenas, curto tempo de resposta e uma identificação mais fácil das atividades antrópicas em suas hidroquímica e biogeoquímica. Neste sentido, presente trabalho teve como objetivo investigar a o comportamento de variáveis físico-químicas e dos componentes (cátions e ânions) majoritários nas águas de três rios da Chapada dos Veadeiros (GO), uma região ainda preservada de Cerrado central do Brasil, de forma a permitir a classificação destes rios conforme sua composição química e avaliar o grau de preservação da qualidade de suas águas.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Chapada dos Veadeiros é uma região de Cerrado localizada no nordeste do estado de Goiás, ponto culminante do Planalto Central, abrangendo cinco municípios: Alto Paraíso, Cavalcante, Colinas do Sul, São João D'aliança e Teresina de Goiás. A região ainda é em grande parte uma área preservada, porém essa característica vem se modificando com a expansão da agricultura e a pressão para instalação de mineradoras e barragens de rios. Estas atividades são conflitantes quanto à qualidade de água requerida e produzida.

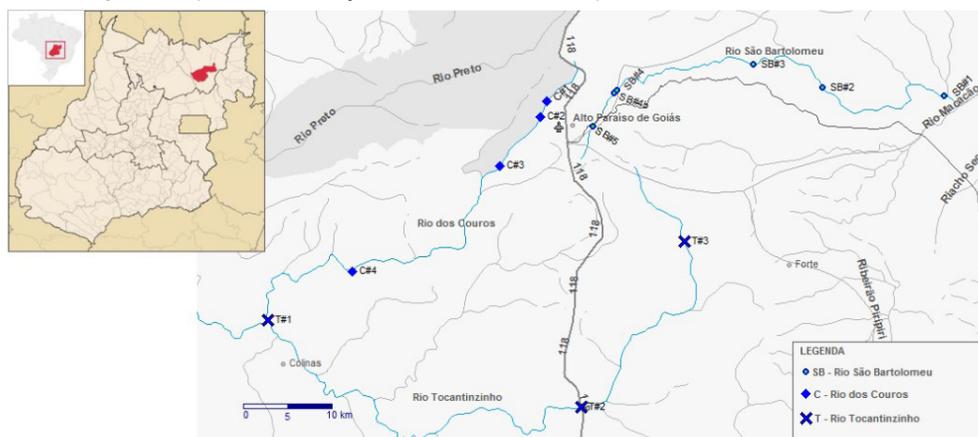
Dentre os vários rios que cortam esses municípios, destacam-se: o Rio São Bartolomeu, o Rio dos Couros e o Rio Tocantinzinho. O rio São Bartolomeu tem sua nascente próxima ao perímetro urbano do município de Alto Paraíso de Goiás e percorre 74 km da região, longitudinalmente em direção leste até o Rio Macacão. O Rio dos Couros nasce próximo ao Morro do Capão Grosso (1.638 m de altitude), no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e corre 71,5 Km pela divisa leste desta unidade de conservação, até desaguar no Rio Tocantinzinho. Este por sua vez, possui nascente próximo à cidade de Alto Paraíso e percorre 184 km até desaguar no lago da hidrelétrica de Serra da Mesa.

A região está inserida na porção norte da zona externa da Faixa Brasília, que compõe a Província Tocantins, um sistema orogênico do Ciclo Brasileiro, localizada entre os crátons São Francisco, a leste e Amazônico, a oeste (ALMEIDA *et al.*, 1981). As unidades de rocha que afloram na área de estudos, estas unidades pertencem aos grupos Araí, Formação Arraias, Paranoá, Bambuí; Formação Paraopeba e Três Marias (CPRM, 2004). O regime de chuva é tropical, com estações de seca ocorrendo entre abril e setembro, e a chuva concentrando-se no verão, entre novembro e março, com precipitação anual entre 1.500 mm e 1.750 mm.

2.2 METODOLOGIA DE COLETA E DE ANÁLISES QUÍMICAS

Foram realizadas coletas de água subsuperficial em diferentes pontos de três rios: São Bartolomeu, Couros e Tocantinzinho (Figura 1), em três épocas distintas: estação seca (agosto/2011), início da estação úmida (outubro/2011) e final da estação úmida (fevereiro/2012).

Figura 1 - Mapa com a localização da área de estudo e dos pontos de coleta (fonte: os autores).



Os parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos-TDS e oxigênio dissolvido) foram determinados *in situ* com uma sonda multiparâmetro (Marca Oakton e Modelo PCD650). As amostras de água foram coletadas com garrafa horizontal de Van Dorn e filtradas em filtros de membrana tipo HA de 0,45µm de porosidade.

Os cátions majoritários: sódio, potássio, cálcio e magnésio foram determinados por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA) com atomização em chama (Varian AA240FS); os ânions cloreto e sulfato foram determinados por Cromatografia de Íons (881 Compact IC pro - Metrohm); enquanto o bicarbonato foi determinado por titulometria.

Na tabela 1 são apresentadas as coordenadas geográficas dos pontos de coleta nos rios.

Tabela 1. Coordenadas e códigos dos pontos de coleta.

Sigla dos pontos de coleta	Coordenadas		Local
	Latitude (S)	Longitude (W)	
SB1	14°05'14,7"	47°07'33,2"	Rio São Bartolomeu
SB2	14°04'46,3"	47°15'15,2"	Rio São Bartolomeu
SB3	14°02'44,7"	47°20'10,3"	Rio São Bartolomeu
SB4	14°04'00"	47°27'54"	Rio São Bartolomeu
SB4b	14°04'48"	47°28'24"	Rio São Bartolomeu
SB5	14°06'53,4"	47°29'55,2"	Rio São Bartolomeu
C1	14°05'21,4"	47°32'39,2"	Rio dos Couros
C2	14°33'04"	47°33'03"	Rio dos Couros
C3	14°09'36,9"	47°33'37,8"	Rio dos Couros
C4	14°16'33,1"	47°44'55,1"	Rio dos Couros
T1	14°19'51,6"	47°50'10,1"	Rio Tocantinzinho
T2	14°25'41,5"	47°30'24"	Rio Tocantinzinho
T3	14°14'39,4"	47°24'35"	Rio Tocantinzinho

Os ânions dissolvidos: fluoreto, cloreto, sulfato, nitrato e fosfato foram determinados por Cromatografia Iônica no Laboratório de Geocronologia IG/UnB, empregando-se um Cromatógrafo de íons (881 *Compact IC pro - Metrohm*), através de um detector de condutividade, em uma coluna do tipo: Metrosep A Supp 5 - 250/4.0, tendo Na₂CO₃ (3,2 mM)/NaHCO₃ (1 mM) como eluente, fluxo de 0,700 mL/min, pressão de 13,89 Mpa, volume de injeção igual a 20 µL e temperatura de 22,5 °C. Utilizou-se calibração externa.

O íon bicarbonato foi calculado por meio de um modelo iônico, empregando-se nos cálculos: a alcalinidade total, a temperatura da água e o pH. A alcalinidade total das amostras foi determinada por titulação com HCl (0,001M), empregando-se o método de Gran (GRAN, 1952).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 apresenta os resultados encontrados para as variáveis físico-químicas: T (temperatura), pH, O.D (oxigênio dissolvido), Sat. O.D, (saturação de oxigênio dissolvido), STD (sólidos totais dissolvidos), Cond. (condutividade), nos três rios estudados, considerando todo o período de estudo.

Os valores médios de temperatura, oxigênio dissolvido e grau de saturação de oxigênio não apresentaram diferenças significativas (para um nível de confiança de 95%) entre os três rios, considerando todo o período de estudo. Em todos os rios o nível de oxigênio manteve-se acima de 5 mg/L, considerado o valor limite para águas naturais Classe 2 (CONAMA, 2005).

Tabela 2. Valores máximos, mínimos, médio e D.P. (desvio padrão) encontrados para as variáveis T (temperatura), pH, O.D (oxigênio dissolvido), Sat. O.D, (saturação de oxigênio dissolvido), STD (sólidos totais dissolvidos), Cond. (condutividade), nos três rios estudados, considerando todo o período de estudo.

Rio		T (°C)	pH	O.D (mg/L)	Sat. O.D (%)	STD (mg/L)	Cond. (µS/cm)
São Bartolomeu (n=17)	Máximo	25,60	7,61	7,87	94,00	38,40	70,31
	Mínimo	21,10	6,54	5,91	75,20	8,40	17,23
	Média	23,28	7,09	7,19	85,74	19,01	39,55
	D.P.	1,35	0,35	0,50	5,23	10,25	20,09
Couros (n=9)	Máximo	24,30	6,58	7,53	89,20	4,56	10,00
	Mínimo	19,50	5,36	4,60	64,90	1,99	4,58
	Média	22,06	5,93	6,54	77,50	2,81	6,38
	D.P.	1,57	0,42	0,92	8,51	0,77	1,84
Tocantinzinho (n=7)	Máximo	25,10	7,21	7,55	95,20	28,14	62,74
	Mínimo	21,80	5,76	5,94	69,70	3,20	7,21
	Média	23,25	6,73	6,90	82,94	14,80	32,09
	D.P.	1,17	0,49	0,68	10,34	10,44	23,03

Os valores médios de condutividade elétrica 39,55 (\pm 20,09) μ S/cm ($p=0,000139$), sólidos totais dissolvidos 19,01 (\pm 10,25) mg/L ($p=0,000137$) e bicarbonato 18,91 (\pm 11,27) mg/L ($p=0,000136$) foram significativamente maiores no Rio São Bartolomeu do que no rio dos Couros 6,38 (\pm 1,84) μ S/cm, 2,81 (\pm 0,77) mg/L e 1,29 (\pm 1,29) mg/L. Este resultado é um reflexo direto da litologia e da geoquímica da região. A Bacia do rio São Bartolomeu está sobre forte influência de solos eutróficos, ou seja, com alta capacidade de troca de bases, essas bases geralmente são provenientes de rochas carbonáticas presentes no grupo Bambuí (CPRM, 2004).

A tabela 3 apresenta os resultados dos cátions majoritários: Na⁺ (sódio), Ca²⁺ (cálcio), K⁺ (potássio) e Mg²⁺ (magnésio) nos três rios estudados, considerando todo o período de estudo. Enquanto, a tabela 4 apresenta os resultados dos ânions majoritários: HCO₃⁻ (bicarbonato), F⁻ (fluoreto), Cl⁻ (cloreto) e SO₄²⁻ (sulfato).

Tabela 3. Valores máximos, mínimos, médio e D.P. (desvio padrão) encontrados para os cátions: Na⁺ (sódio), Ca²⁺ (cálcio), K⁺ (potássio) e Mg²⁺ (magnésio) nos três rios estudados, considerando todo o período de estudo.

Rio		Na ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
São Bartolomeu (n=17)	Máximo	0,746	9,18	1,44	2,229
	Mínimo	0,207	1,76	0,210	0,565
	Média	0,515	4,77	0,455	1,249
	D.P.	0,169	2,90	0,301	0,623
Couros (n=9)	Máximo	0,252	0,368	0,839	0,257
	Mínimo	0,012	0,113	0,112	0,048
	Média	0,151	0,226	0,321	0,125
	D.P.	0,088	0,089	0,252	0,074
Tocantinzinho (n=7)	Máximo	0,374	7,607	1,390	3,13
	Mínimo	0,184	0,144	0,255	0,153
	Média	0,268	3,228	0,509	1,59
	D.P.	0,079	2,846	0,409	1,11

As concentrações médias de cálcio e magnésio no rio São Bartolomeu são significativamente maiores do que no rio dos Couros ($p < 0,05$).

A concentração de média de magnésio para o rio Tocantinzinho também é significativamente maior do que no rio dos Couros ($p < 0,05$). Esses valores significativamente maiores para o rio São Bartolomeu e Tocantinzinho se dão em função da geologia, com predominância de rochas calcárias e dolomíticas da Formação Bambuí, já referida acima.

Estes resultados indicam um controle majoritário dos processos de intemperismo sobre a composição das águas dos rios investigados. BELLOTTO *et al.* (2020) mostraram, por meio da análise do Diagrama de Gibb's, que o intemperismo seria o principal fator controlador da composição química dos rios São Bartolomeu e Tocantinzinho. Enquanto, para o rio dos Couros os autores verificaram uma alternância entre a predominância de intemperismo e precipitação no controle da composição química, dependendo da época do ano: seca e chuva, respectivamente.

Tabela 4. Valores máximos, mínimos, médio e D.P. (desvio padrão) encontrados para os ânions: HCO₃⁻ (bicarbonato), F⁻ (fluoreto), Cl⁻ (cloreto), SO₄²⁻ (sulfato), nos três rios estudados, considerando todo o período de estudo.

Rio		HCO ₃ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
São Bartolomeu (n=17)	Máximo	48,5	0,656	1,02	1,05
	Mínimo	6,12	<0,088	0,357	<0,275
	Média	18,1	-	0,597	-
	D.P.	11,	-	0,295	-
Couros (n=9)	Máximo	2,98	<0,088	<0,368	<0,275
	Mínimo	0,07	<0,088	<0,368	<0,275
	Média	1,29	-	-	-
	D.P.	1,29	-	-	-
Tocantinzinho (n=7)	Máximo	25,7	<0,088	<0,368	<0,275
	Mínimo	2,89	<0,088	<0,368	<0,275
	Média	13,9	-	-	-
	D.P.	9,11	-	-	-

Estudos realizados em outros sistemas fluviais em diferentes partes do mundo têm encontrado resultados semelhantes, com a geologia local e o intemperismo sendo os principais fatores controladores da composição química de águas fluviais ainda preservadas (DOUGLAS *et al.*, 2002; TSERING *et al.*, 2019).

3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

A composição química de águas naturais serve de base para a classificação dessas águas segundo seus componentes principais (cátions e ânions majoritários).

Um dos principais métodos gráficos empregados para a classificação de águas é o diagrama de Piper, que é uma ferramenta hidroquímica utilizada para comparação de distintos grupos de água quanto aos cátions e ânions dominantes. (PIPER, 1944).

O Diagrama é obtido plotando os valores percentuais das concentrações dos principais cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) e dos principais ânions (HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-}) em dois triângulos, um do lado direito referente aos ânions e um do lado esquerdo referente aos cátions e no centro um losango que combina as informações dos dois triângulos. Os valores das proporções são traçados nos gráficos, assim classificando as amostras de acordo com suas fácies hidroquímica (PINTO, 2006; CAJAZEIRAS, 2007).

Para se calcular os valores percentuais de cada cátion ou ânion são usadas às equações (1) e (2), respectivamente, onde as concentrações das variáveis devem ser expressas em unidade de meq/L.

$$X (\%) = \frac{C}{([\text{Na}^+] + [\text{K}^+]) + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]} \times 100 \quad (1)$$

$$Y (\%) = \frac{A}{[\text{HCO}_3^-] + [\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}]} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

C = concentração de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} ou Mg^{2+} ;

A = concentração de HCO_3^- , Cl^- ou SO_4^{2-} ;

X = Distribuição percentual da espécie iônica C;

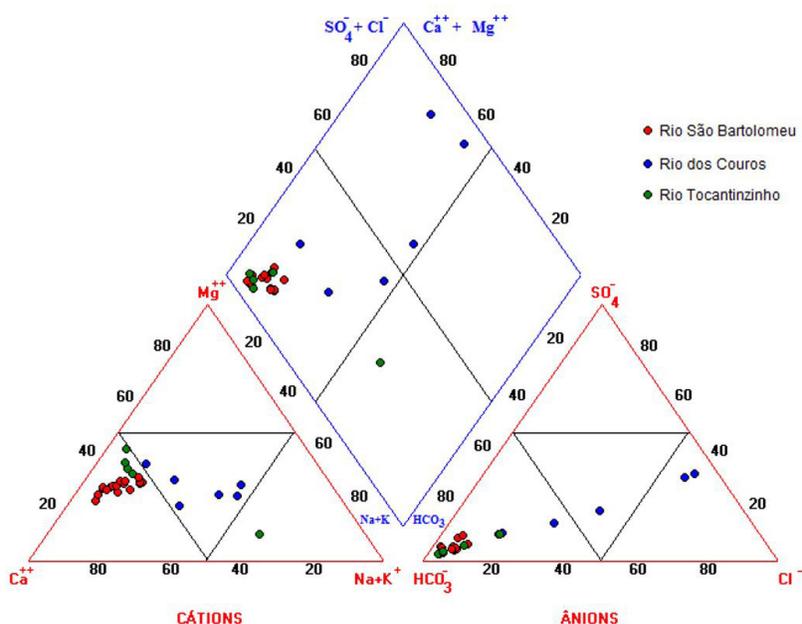
Y = distribuição percentual da espécie iônica A.

Se algum cátion ou ânion perfizer mais que 50% do conteúdo iônico total, a água é classificada por esta espécie dominante. Caso isto não ocorra à água é classificada pelos dois íons mais abundantes (PIPER, 1944).

Quando as concentrações relativas de cátions e ânions são plotadas no Diagrama de Piper, têm-se a classificação da amostra a partir da porcentagem de cada íon, como obtido para os três rios (Figura 2).

De acordo com o Diagrama de Piper (Figura 2) as águas dos rios São Bartolomeu e Tocantzinho apresentaram predominância da classe bicarbonatada cálcicas, com exceção do ponto T3 do rio Tocantzinho durante o final do período chuvoso que teve classificação de água mista. Esta classificação se dá devido à alta concentração de Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- representando o processo de dissolução de rochas carbonáticas, responsável pela produção deste tipo de água. No rio dos Couros, entretanto, não se destaca nenhum íon majoritário, ocorrendo uma maior variação na composição das águas, ocorrendo desde águas bicarbonatadas cálcicas-magnesianas até águas sulfatadas-cloretadas cálcicas-magnesianas.

Figura 2. Distribuição das amostras dos rios São Bartolomeu, rio dos Couros e rio Tocantzinho no Diagrama de Piper.



3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS RIOS CONFORME A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA E NA COMPARAÇÃO COM OUTROS RIOS DA REGIÃO E EM ESCALA GLOBAL

Embora não se possa falar em enquadramento propriamente dito, uma vez que o Estado de Goiás não tem definidas as classes de seus rios e córregos, pode-se fazer uma

avaliação da qualidade das águas dos rios estudados, considerando todos os três rios como sendo de Classe 2 (CONAMA, 2005). Isto porque, a própria legislação, a Resolução CONAMA Nº 357 (2005) assim estabelece no seu Art. 42º.

A tabela 5 mostra os valores estabelecidos pelo CONAMA e os valores médios encontrados nos três rios estudados para os parâmetros: pH, oxigênio dissolvido (O.D), sólidos totais dissolvidos (STD), cloretos totais (Cl), fluoretos totais (F) e sulfatos totais (SO₄²⁻).

Tabela 5. Valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 para água doce, Classe 2 e valores encontrados nos rios São Bartolomeu, Couros e Tocantinzinho para os parâmetros: pH, oxigênio dissolvido (O.D), sólidos totais dissolvidos (STD), Cl, F e SO₄²⁻.

Parâmetro	CONAMA Classe 2	Rio São Bartolomeu	Rio dos Couros	Rio Tocantinzinho
pH	6-9	6,5-7,6	5,4-6,6	5,8-7,2
OD (mg/L)	>5,0	5,9-7,9	4,6-7,5	5,9-7,5
STD (mg/L)	Até 500	8,4-38,4	2-4,6	3,2-28,1
Cl ⁻ (mg/L)	Até 250	0,357-1,02	<0,368	<0,368
F ⁻ (mg/L)	Até 1,4	<0,088-0,656	<0,088	<0,088
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Até 250	<0,275-1,05	<0,275	<0,275

Verifica-se que os valores mínimos de pH encontrados nos rios dos Couros e Tocantinzinho estão um pouco abaixo do limite mínimo estabelecido pelo CONAMA. Porém, resultado semelhante foi relatado por Boaventura *et al.* (1996) para a Região Hidrográfica do Bananal (DF), localizada na mesma região de Cerrado central. Além disso, Carmo, Boaventura e Oliveira (2005) afirmam que a média de pH dos rios do Distrito Federal (DF), localizados também na região do Cerrado central, variam entre 5,6 e 6,85. Segundo estes autores, estes valores mais baixos de pH decorrem da interação com o solo da região que tem elevada acidez. Além do pH, apenas uma medida de OD, em uma única coleta e um único ponto no rio dos Couros apresentou valor abaixo do limite mínimo estabelecido pela legislação.

Todos os demais parâmetros investigados mantiveram-se muito abaixo dos limites máximos estabelecidos em todos os rios e durante todo o período de estudo.

Estes resultados indicam uma boa qualidade de água dos rios estudados, segundo os parâmetros investigados e sugerem que eles se encontram em bom estado de preservação.

A tabela 6 apresenta os resultados deste estudo, bem como resultados de outros estudos, regionais e mundiais.

Tabela 6. Comparação dos rios estudados com outros rios regionais e mundiais.

Local	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
pH	6,9	5,6	5,9	-	7,61	5,93	6,73
T (°C)	19,6	23,9	24,9	-	23,2	22	23,2
Cond. (µS/cm)	9,1	36	-	-	39,55	6,38	32,09
Cl (mg/L)	-	-	22	3,3	0,59	-	-
TDS (mg/L)	4,2	23,1	59	16,2	19,01	2,81	14,80
Ca (mg/L)	21,80	4,88	4,9	18,00	4,77	0,22	3,22
Mg (mg/L)	0,12	0,47	1,2	4,10	1,24	0,12	1,59
K (mg/L)	0,25	0,59	3,9	2,30	0,45	0,32	1,59

(1) Região Hidrográfica do Gama (CARVALHO JUNIOR, 1998); (2) região Hidrográfica Bananal (BOAVENTURA et al, 1999); (3) região hidrográfica do Rio Descoberto (CARMO, BOAVENTURA e OLIVEIRA, 2005); (4) Média de rios do Mundo (Esteves, 1998); (5) Rio São Bartolomeu (presente estudo); (6) Rio dos Couros (presente estudo); (7) Rio Tocantinzinho (presente estudo).

Nota-se que os valores dos rios investigados no presente estudo são semelhantes à de outros rios e córregos da mesma região geográfica, representados pela Região hidrográfica do Gama (CARVALHO JUNIOR *et al.*, 1998); região Hidrográfica Bananal (BOAVENTURA *et al.*, 1999); região Hidrográfica do Rio Descoberto (CARMO, BOAVENTURA e OLIVEIRA, 2005) e quando comparados a Média de rios do Mundo (ESTEVES, 1998). Portanto, de acordo com os valores obtidos dos parâmetros do rio São Bartolomeu, Couros e Tocantinzinho, pode-se inferir que as águas dos rios São Bartolomeu, Couros e Tocantinzinho refletem em sua composição a dominância de processos biogeoquímicos naturais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo fornece importantes informações sobre a composição química e a qualidade das águas das microbacias dos rios São Bartolomeu, Couros e Tocantinzinho, na Chapada dos Veadeiros (GO) e demonstra que estes rios encontram se preservados segundo suas características químicas. A composição química das águas desses rios está intimamente relacionada à geologia e pedologia da região, indicando a predominância dos processos naturais de intemperismo das rochas e lixiviação dos solos no controle de suas características. Desta forma, este trabalho deve servir de base, ou referência para novos estudos e monitoramentos sobre eventuais futuras alterações causadas pela ação antrópica ou pelas alterações dos regimes de chuva e temperatura decorrentes das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. **Brazilian Sctructural provinces: an introduction.** Earth-Science, 17, 1-27, 1981.

- BEHMEL, S.; DARMOUR, M.; LUDWIG, R.; RODRIGUEZ, M.J. **Water quality monitoring strategies – a review and future perspectives**. Science of total environment, 571, 1312-1329, 2016.
- BELLOTTO, V.R.; FERREIRA, V.H.C.; PERES JUNIOR, J.B.R. **Geoquímica de elementos traços em águas fluviais pristinas de uma região preservada do cerrado brasileiro – influência de processos hidrogeoquímicos e da geologia**. Brazilian Journal of Development, 6(8), 57208-57219, 2020.
- BOAVENTURA, G.R.; SOUZA, R.S.; PONTES, C.H.C.; PINELLI, M.P. **Estudo geoquímico em águas da Bacia do Bananal - Brasília - DF. In: VII Congresso Brasileiro Geoquímica. e V Congresso dos Países de Língua Portuguesa**. Porto Seguro -BA. Resumo expandido, SBGQ, p. 41-43, 1999.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357** de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, nº 053 de 18 de março de 2005.
- CAJAZEIRAS, C. C. A. **Qualidade e Uso das Águas Subterrâneas e a Relação com Doenças de Veiculação Hídrica, Região de Crajubar –CE**. Orientador: Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante. 2007. 144p. Dissertação (Mestrado) Geologia - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R. OLIVEIRA, E. C. **Geoquímica das águas da bacia hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF - Brasil**. Química Nova, São Paulo, 28(4), 565-574, 2005.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.C; BOAVENTURA, G. R.; MARTINS, E.S. *et al.* **Caracterização por análise de grupo de assinaturas geoquímicas naturais de águas naturais da Bacia do Taquara, Distrito Federal**. Revista da Escola Minas, 51(3), 76-79, 1998.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo – Folha Brasília SD.23**, 2004.
- DOUGLAS, T.A.; CHAMBERLAIN, C.P.; BLUM, J.D. **Land use and geological controls on the major elemental and isotopic ($\delta^{15}\text{N}$ and $87\text{Sr}/86\text{Sr}$) geochemistry of Connecticut River watershed, USA**. Chemical Geology, 189, 19-34, 2002.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**, Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998.
- FLINTROP, C.F.; HOHLMAN, B.; JASPER, T. *et al.* **Anatomy of pollution: rivers of North Rhine-Westfali, Germany**. American Journal of Science, 296(1), 58-98, 1996.
- FONSECA, M.A.; DARDENNE, M.A.; UHLEIN, A. **Faixa Brasília Setor Setentrional: Estilos Estruturais E Arcabouço Tectônico**. Revista Brasileira de Geociências, 25(4), 267-278, 1995.
- GAILLARDET, J.; DUPRE, B.; ALLEGRE, C.J.; NEGREL, P.H. **Chemical and physical denudation in the Amazon River basin**. Chemical Geology, 142, 141-173, 1997.
- GOLDSMITH, S.T.; MOYER, R.P.; HARMON, R.J. **Hidrochemistry and biogeochemistry of tropical small mountain rivers**. Applied Geochemistry, 63, 453-455, 2015.
- GRAN, G. **Determination of the equivalence point in potentiometric titrations-Part II**. Analyst, 77, 661-671, 1952.
- JENNERJAHN, T.C.; SOMAN, K.; ITTEKKOT, V. **Effects of land use on the biogeochemistry of dissolved nutrients and suspended and sedimentary organic matter in the tropical Kallada River and Ashtamudi estuary, Kerala, India**. Biogeochemistry, 90(1), 29-47, 2008.

PINTO, B. V. **Características químicas e físico-químicas de águas subterrâneas do Estado do Rio de Janeiro**. Orientador: DR. Godoy, J.M de O., 144p. Dissertação (Mestrado) Química – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PIPER, A.M. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, Washington, v. 25, p. 914-928, junho. 1944.

RAYMOND, P.A.; OH, N.H.; TURNER, R.E.; BROUSSARD, W. **Anthropogenically enhanced fluxes of water and carbon from the Mississippi River**. *Nature*, 451(7177), 449-452, 2008.

SHARMA, A.; SINGH, A.K.; KUMAR, K. **Environmental chemistry and quality assessment of surface and subsurface water of Mahi River basin, western India**. *Environmental Earth Science*, 65(4), 1231-1250, 2011.

TSERING, T.; ABDEL WAHED, M.S.M; IFTEKHAR, S.; SILLANPÄÄ. **Major ion chemistry of the Teesta River in Sikkim Himalaya, India: chemical weathering and assessment of water quality**. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 24, 1-13, 2019.

CAPÍTULO 7

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE RIACHOS DA CHAPADA DOS VEADEIROS, BRASIL CENTRAL

Data de submissão: 24/05/2023

Data de aceite: 12/06/2023

Claudia Padovesi Fonseca

Professora Associada da
Universidade de Brasília (UnB)
líder do Núcleo de Estudos
Limnológicos (NEL) – CNPq
Mestre e Doutora em
Área de Limnologia pela
Universidade de São Paulo (USP)
Realizou pós-doutorado na
Universidade de Paris
Pierre e Marie Curie, na França, e na
Universidade de Granada, na Espanha
Departamento de Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brazil
<https://orcid.org/0000-0001-7915-3496>

RESUMO: Diagnósticos ambientais vêm sendo usados para descrever as condições dos corpos hídricos por meio de observações visuais e poucas medições. Esse estudo pretende identificar e mensurar as condições ambientais de dois cursos d'água da Chapada dos Veadeiros, GO, rio dos Couros e rio São Bartolomeu, e inclui análises de suas bacias hidrográficas. Aspectos das bacias

foram mapeados com o uso do Sistema de Informação Geográfica-(GIS), para cobertura vegetal, relevo e tipo de solo. O diagnóstico ambiental dos rios foi realizado por meio de Protocolo de Avaliação Rápida-(PAR), e avaliou características de trechos dos rios de acordo com o estado de conservação. Vegetação do Cerrado é predominante, e, em grande parte da área de estudo, está bem preservada. A diferença de altitude entre a nascente e a foz foi mais acentuada no rio dos Couros (1000 m) que no rio São Bartolomeu (300 m). Assim, a bacia do rio dos Couros apresenta declives acentuados ao passo que a bacia do rio São Bartolomeu é mais plana. Na região, os solos são suscetíveis à erosão decorrente do relevo e tipo de solo. O solo predominante é pedregoso, pobre em nutrientes e com alta concentração de alumínio e pouca base trocável. Solos úmidos e argilosos são identificados na nascente e foz do rio São Bartolomeu, respectivamente. A preservação da área e a reduzida atividade humana foram os condutores para o registro de rios com excelente qualidade de água. A vegetação ripária foi apontada como um dos filtros naturais de nutrientes e barreira para entrada de sedimento nos cursos d'água. O presente estudo evidenciou a elevada sensibilidade aos impactos humanos e a vulnerabilidade ambiental dos cursos d'água e de suas bacias na região da Chapada dos Veadeiros.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia hidrográfica. Mapeamento ambiental. Preservação ambiental. Cerrado.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF STREAMS IN THE CHAPADA DOS VEADEIROS, CENTRAL BRAZIL

ABSTRACT: Environmental diagnostics have been used to describe the water bodies conditions by visual observations and few measurements. This study aims to identify and measure the environmental conditions of two watercourses in Chapada dos Veadeiros, GO, rio dos Couros and rio São Bartolomeu, and includes analyzes of their watersheds. Basins features were mapped using the Geographic Information System (GIS), for vegetation cover, relief and soil type. Rivers environmental diagnosis was carried out using the Rapid Assessment Protocol (PAR), and evaluated the river sections features according to their conservation status. Cerrado vegetation is predominant, and, in a large part of the study area, it is well preserved. The altitude difference between the spring and the mouth was more pronounced in rio dos Couros (1000 m) than in rio São Bartolomeu (300 m). Thus, the Couros basin has steep slopes, while the São Bartolomeu basin is flatter. In the region, the soils are susceptible to erosion due to relief and soil type. The predominant soil is stony, poor in nutrients and with a high concentration of aluminum and low exchangeable base. Moist and clayey soils are identified at spring and mouth of rio São Bartolomeu, respectively. The area preservation and reduced human activity were the drivers for the register of rivers with excellent quality water. Riparian vegetation was identified as one of the natural nutrient filters and a barrier to the entry of sediment into watercourses. The present study showed the high sensitivity to human impacts and the environmental vulnerability of rivers and their basins located in the Chapada dos Veadeiros.

KEYWORDS: Hydrographic basin. Environmental mapping. Environmental preservation. Cerrado.

1 INTRODUÇÃO

Atividades humanas resultaram em diferentes usos do ambiente e seus recursos, com a produção de impactos ambientais, como fragmentação de habitats, mudanças nas condições ecológicas e de sua biota e diversos tipos de poluição ambiental (MENEZES *et al.*, 2012). Diante disso, os indicadores ecológicos são importantes para avaliação do estado do meio ambiente ou para monitorar tendências nas condições ambientais ao longo do tempo, fornecendo alertas de mudanças precoces no meio ambiente (DALE & BEYELER, 2001).

Avaliar a qualidade ambiental é importante para qualquer pesquisa ecológica, uma vez que a biota aquática apresenta exigências de habitats que são relacionadas com a qualidade da água. Em sistemas lóticos, além do corpo d'água, o ambiente ao redor e sua bacia hidrográfica também devem ser caracterizados, em virtude da intensa interação entre eles (MINATTI-FERREIRA & BEAUMORD, 2004). Nesse contexto, diagnósticos ambientais objetivos, de alta qualidade e baixo custo, são responsáveis

pelo sucesso de programas de preservação ou recuperação de ecossistemas aquáticos (MINATTI-FERREIRA & BEAUMORD, *op. cit.*).

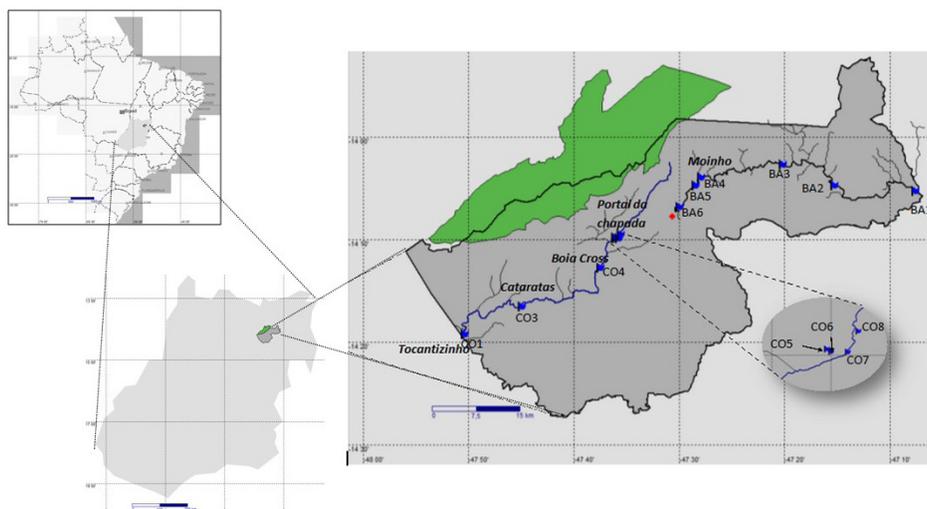
A Chapada dos Veadeiros, localizada na região nordeste do estado de Goiás, representa uma região de especial interesse para a conservação do Cerrado no Brasil central. Está acomodada em uma área de altitude, com formações geológicas peculiares, formada por planaltos montanhosos com paredões rochosos e vales com rios encachoeirados, e paisagens de grande beleza cênica. Faz parte da Reserva da Biosfera Goyaz e se constitui na área contínua mais bem preservada do Cerrado em Goiás (LIMA & FRANCO, 2014).

A proposta desse estudo foi identificar e ponderar as condições ambientais de dois cursos d'água da Chapada dos Veadeiros, GO, Rio dos Couros e Rio São Bartolomeu, com o incremento de características de suas bacias hidrográficas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em duas bacias hidrográficas localizadas ao norte de Goiás, em uma região de Cerrado de altitude da Chapada dos Veadeiros: a do Rios dos Couros e a do Rio São Bartolomeu (Figura 1). A nascente do rio dos Couros se situa no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, próximo ao Morro do Capão Grosso, com 1.638 m de altitude, e percorre 71,5 km em direção leste do parque. O rio São Bartolomeu nasce nas cercanias do município de Alto Paraíso de Goiás, com 74 km de extensão em direção leste até o rio Macacão.

Figura 1. Localização geográfica dos pontos coletados, Rio dos Couros (CO) e Rio São Bartolomeu (BA), Chapada dos Veadeiros-GO. Elaborado por Thomas Doucen.



O clima na região segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical, com alta precipitação pluviométrica entre os meses de novembro e janeiro, e período mais seco entre os meses de junho e agosto, com precipitação anual entre 1500 e 1750 mm.

As bacias hidrográficas dos rios foram caracterizadas por meio de trabalho cartográfico realizado na região e considerou: uso do solo, tipo de solo, cobertura vegetal e geomorfologia (PINTO, 1986; DARDENNE & CAMPOS, 2002), e mapas do site da Prefeitura de Alto Paraíso de Goiás (<https://www.altoparaiso.go.gov.br/>).

As feições topográfica e hidrológica foram avaliadas com a execução do Modelo de Elevação Digital (DEM) emitido pela Missão Topográfica Radar Shuttle com o programa Arcmap 10. A partir do DEM, as bacias hidrográficas dos rios foram mapeadas usando a ferramenta Analista Espacial, e implementação com o uso do módulo Arcscene, e o método de SOBRINHO *et al.* (2010).

A classificação dos solos foi baseada em SANTOS *et al.* (2018).

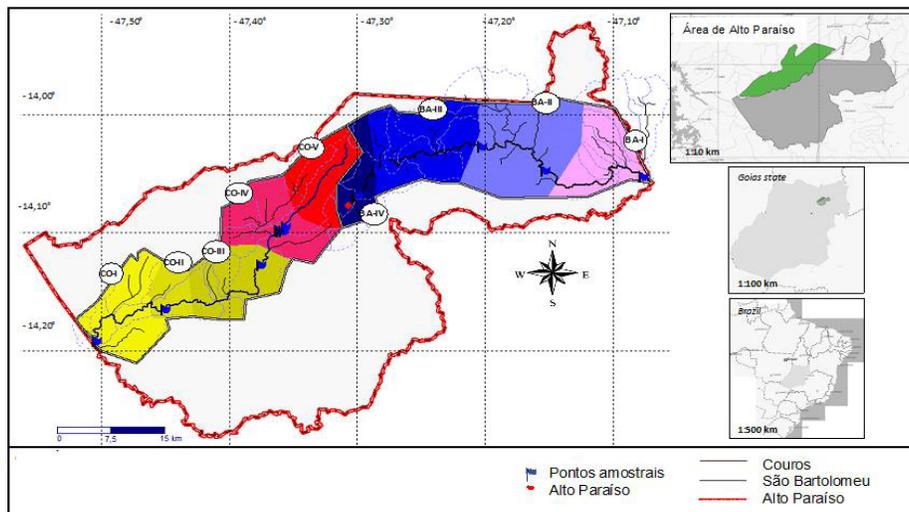
O diagnóstico ambiental dos cursos d'água e suas áreas marginais ao longo das bacias dos rios dos Couros e São Bartolomeu foi feito por meio de um Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) adaptado de BARBOUR *et al.* (1999). As características de diversidade de habitats de cada trecho dos cursos d'água foram avaliadas como: condições da água e do sedimento, uso do solo, vulnerabilidade a assoreamento, largura da vegetação ripária, tamanho e frequência de rápidos, tipo de substrato do leito do rio, entre outros. Essas características ambientais foram avaliadas de forma integrada, com atribuição de valores para cada item avaliado. O somatório dos valores de cada atributo reflete o nível de preservação do trecho do curso d'água, sendo considerados impactados trechos com pontuações entre 0-40, alterados trechos com valores entre 41-60 e naturais trechos com somatórios acima de 61 pontos.

3 RESULTADOS

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

De acordo com o mapeamento das bacias hidrográficas, foram evidenciadas cinco regiões para o rio dos Couros, e quatro para o rio São Bartolomeu (Figura 2).

Figura 2. Compartimentos ambientais das bacias hidrográficas do rio dos Couros (CO) e do rio São Bartolomeu (BA), de acordo com o tipo e uso de solo, cobertura vegetal e formações geológicas. Elaborado por Thomas Doucen.



A vegetação cerratense é predominante na bacia do rio dos Couros, especialmente nas regiões CO-I e CO-II, com cobertura vegetal superior a 80%, com poucas áreas de floresta decidual, e algumas áreas descampadas. A cobertura vegetal variou bastante para as outras regiões do rio dos Couros. De 10 a 80% na região CO-III, e de 40 a 80% na CO-IV.

No rio São Bartolomeu a cobertura vegetal é elevada (acima de 80%) na parte norte da bacia, onde a rede hidrográfica é maior, ao passo que varia de 40 a 80% na parte sul. Nas regiões BA-I e BA-II há matas caducifólias e semidecíduas, além do Cerrado.

O relevo do rio dos Couros se apresentou bastante variado ao longo da bacia. De uma região à outra, a altitude variou em torno de 200 m, e assim o rio nasce a 1600 m e desemboca no rio Tocantinzinho a 600 m de altitude. Da região CO-II para a CO-I a altitude diminui abruptamente devido à presença de uma cachoeira denominada Catarata dos Couros. A declividade do leito do rio é elevada nas regiões CO-V e CO-IV, permanece com variação mais tênue entre CO-III e CO-II, que reduz bruscamente para CO-I com as Cataratas. A região CO-V, nascente do rio dos Couros, se localiza em uma região montanhosa, com fraturas, cavidades e planos inclinados, e com relevo menos acentuado.

A topografia ao longo do rio São Bartolomeu apresenta uma variação menos acentuada que o rio dos Couros. Na região da nascente (BA-IV) as encostas têm maior declividade, e com altitude de 1000 m. Em BA-III o leito do rio permanece em altitude mais baixa, e nas regiões BA-II e BA-I a topografia é plana e dissecada com altitude de 700 m.

Como a parte norte da bacia apresentam altas declividades voltadas para o leito do rio, essas últimas duas regiões estão sujeitas a inundações.

Os solos da bacia do rio dos Couros são pedregosos e com elevado declive topográfico, com teor elevado de alumínio, pobre em nutrientes e pouca base trocável. São denominados de Cambissolos álicos e distróficos (SANTOS *et al.*, 2018). Na bacia dos Couros foram identificadas rochas mais antigas (do Paleoceno) e mais novas (do Neogeno). A sua nascente apresenta solo rochoso (Litossolo), dos grupos Araxá e Bambuí.

O solo da nascente do rio São Bartolomeu é rochoso (Litossolo) com partes úmidas e drenadas. A partir de então, os solos são iguais aos dos Couros, ou seja, pedregosos, com teor elevado de alumínio, pobre em nutrientes e pouca base trocável. A foz do rio São Bartolomeu está situada em solo argiloso de cor vermelha escura (Argissolo Vermelho Escuro) eutrófico.

3.2 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS RIOS

As pontuações geradas pela aplicação de avaliação rápida de rios variaram de 78 a 92 para o rio dos Couros, e de 72 a 100 para o rio São Bartolomeu. As pontuações obtidas estão elevadas e se referem a trechos naturais e de áreas preservadas.

De acordo com o protocolo, os dois cursos d'água apresentaram em comum a preservação da vegetação ripária e características da água e de sedimento indicadores de boa qualidade ambiental. Além da vegetação ribeirinha preservada, houve a predominância de seixos e cascalhos e de águas transparentes. Nenhum odor e oleosidade foram observados na avaliação visual. Elevada abundância de algas filamentosas, macrófitas aquáticas e perifíton presentes durante as observações confirmam as águas transparentes dos trechos dos rios.

A vulnerabilidade à erosão das margens e sedimentação foram detectadas nos trechos mais à jusante dos dois rios (CO1; e BA1 e BA2), com águas turbidas para o trecho BA1, e ausência de vegetação ripária no CO1.

A parte intermediária do rio dos Couros (de CO6 a CO4) apresenta estabilidade as margens, reduzida deposição de sedimentos em remansos, ausência de rápidos e fundo do rio sem vegetação, como algas filamentosas e perifíton. Essa parte do rio tem o mínimo de exposição do sedimento, e a concentração de lama e areia fina aumenta ao longo do trecho.

O rio São Bartolomeu apresentou um fluxo d'água mais constante, com exposição mínima do leito, apesar de rápidos bem desenvolvidos em grande parte do seu curso. Esteve mais vulnerável à instabilidade da margem em trechos mais à jusante

(BA2 e BA1). Essa parte do rio apresentou erosão moderada das margens, e as águas estavam turvas na foz, com diminuição da diversidade de habitats em seu leito, rápidos infrequentes, e com deposição de sedimentos nos remansos. No trecho B2 a vegetação ripária estava com cobertura parcial, além de alterações resultantes de residência rural situada perto do rio.

4 DISCUSSÃO

O presente estudo detectou águas de excelente qualidade dos rios da Chapada dos Veadeiros, embora sujeitas a variações em trechos específicos. Condições ambientais dos cursos d'água, aspectos e usos da bacia hidrográfica foram os indicadores para o cenário obtido por este estudo.

A boa cobertura de vegetação natural da bacia hidrográfica propiciou a consistência de elevada qualidade de água dos rios. Por aumentar a macroporosidade do solo (GERMANN, 1994), a cobertura vegetal permite que a água da chuva se infiltre ao máximo em vez de escorrer (ALVES *et al.*, 2021). Além disso, a capacidade de filtragem da vegetação ribeirinha é essencial para controlar e limitar a entrada de sedimentos e nutrientes que chegam ao rio (MONTEIRO *et al.*, 2016).

A topografia da região e os tipos de solos exerceram influência sobre a qualidade ambiental dos cursos d'água. As altas declividades da área potencializam uma maior velocidade de correnteza dos rios, que, por sua vez, favorece a dissolução de nutrientes e limita a sua concentração. Importante salientar que o processo erosivo do solo é potencializado quando o relevo tem declividade superior a 5% (KLAIS *et al.*, 2012).

A maior parte dos solos das duas bacias hidrográficas é formada por intemperismo das rochas, e com isso são rasos e pedregosos. Apresentam de moderada a elevada suscetibilidade à erosão (VIEIRA *et al.*, 2015) A boa cobertura vegetal em áreas de solo com rochas expostas, especialmente na bacia dos Couros, induz estabilidade do solo, e explica erosão baixa apesar do forte declive topográfico.

OMERNIK *et al.* (1981) demonstraram que mesmo uma mata ciliar desenvolvida não é suficiente para manutenção de boa qualidade da água do rio, se a área for submetida a atividade agrícola intensiva. Também foi demonstrado que o uso do solo influencia fortemente na estrutura e produção primária de plâncton (FERRANEZE, 2012). Portanto, águas mais limpas devem estar associadas a atividades humanas bastante limitadas na área.

A maior parte da área está preservada do desmatamento, poluição e outras atividades humanas. Os rios margeiam uma parte de zona urbana, entretanto, não foram

observadas alterações de qualidade de água decorrentes de atividades urbanas nesses trechos de rio.

As nascentes dos dois cursos d'água estão localizadas em áreas mais elevadas e apresentam características de águas naturais e protegidas. Suas águas são transparentes, turbulentas e tendem a ser ácidas, que, de acordo com PADOVESI-FONSECA *et al.* (2015), reportam às águas naturais de nascentes do Cerrado. Presença de mata de galeria compacta e leito dos rios com seixos grandes coberto de algas filamentosas e macrófitas aquáticas compõem a matéria primária desse trecho. A produção primária provém, em grande parte, da biomassa vegetal do leito do rio. E as folhas e galhos da mata de galeria são itens alimentares à biota aquática, além de se decompor ao cair no rio (TONIN *et al.*, 2018).

Da parte média para a foz dos rios, houve um regressivo declive, e em solos de transição, de mais rochosos (Litossolos) para solos bem argilosos (Latosolos Vermelhos Escuros), além de cobertura vegetal menor (40 a 80%). Esses solos argilosos são os mais “velhos” e intemperizados, ou seja, que são os solos mais desgastados pela natureza na região. São profundos, bem drenados e com baixa saturação em bases trocáveis. Por sua vez, os litossolos são rasos e não hidromórficos (SANTOS *et al.*, 2018). Portanto, especialmente em áreas de topografia mais plana, as propriedades dos latossolos favorecem a formação de argila. Presença de deposição de argila e má estabilidade do solo (não especificada em nosso mapa) constituíram os agentes para o declínio da qualidade ambiental e de água da foz do rio dos Couros.

A bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu apresenta desnível topográfico menos acentuado ao longo do rio, exceto a nascente, localizada em ponto mais elevado. Com a topografia mais plana, resulta em menor velocidade da água e rápidos infrequentes, que podem aumentar a concentração de nutrientes e diminuir a disponibilidade de oxigênio. Vegetação parcial do rio em alguns trechos aliada às características da bacia são favoráveis à erosão e entrada alóctone de sedimentos durante o período chuvoso. A sua foz, inclusive, obteve o menor valor na avaliação ambiental desse estudo. Está mais suscetível à erosão devido à cobertura parcial de vegetação, apesar do gradiente de declive ser baixo.

A necessidade e a importância de preservar áreas de nascentes e sensíveis a impactos, em destaque de atividades humanas, têm sido apontadas por diversos autores. LUCAS-BORJA *et al.* (2020), por exemplo, estabeleceu que a capacidade do solo com vegetação para a infiltração da água é essencial para uma boa qualidade dos cursos d'água, e diminui muito quando a vegetação é removida ou degradada.

Áreas de preservação permanente, como as nascentes, e cursos d'água de pequeno porte, devem ter suas bacias hidrográficas com atividades humanas limitadas ou ausentes, por serem altamente sensíveis às práticas de uso da terra e por conseguinte, acarretar prejuízos de seus serviços ambientais à sociedade (LANZAS *et al.*, 2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Chapada dos Veadeiros apresenta solos suscetíveis à erosão, com um gradiente topográfico de áreas montanhosas a planas. A cobertura vegetal é essencialmente elevada e bem preservada. A qualidade das águas dos rios dos Couros e São Bartolomeu são de excelente qualidade e geralmente sob condições naturais, apesar do declínio de qualidade detectado em sua foz.

A preservação da área e a reduzida atividade humana foram os condutores para a detecção de águas de excelente qualidade dos rios da Chapada dos Veadeiros. A vegetação ripária foi apontada como um dos filtradores naturais de nutrientes e barreira para entrada de sedimento nos cursos d'água.

A declividade acentuada da topografia das bacias possibilitou uma maior correnteza dos rios e menor concentração de nutrientes, em especial no rio dos Couros. Essa situação deve estar associada a uma boa cobertura vegetal, que favoreça a infiltração da água no solo e limita a sua erosão.

O presente estudo evidenciou a elevada sensibilidade aos impactos humanos e a vulnerabilidade ambiental dos cursos d'água e de suas bacias na região da Chapada dos Veadeiros, GO. Ressalta, dessa forma, a importância de aliar os estudos científicos à legislação ambiental vigente, para uma condução apropriada dos tomadores de decisão do país.

6 AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de pesquisas desenvolvidas pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ao Thomas Doucen pela confecção dos mapas e auxílio na busca de informações técnicas.

REFERÊNCIAS

ALVES, W.S.; MARTINS, A.P.; PÔSSA, E.M. *et al.* **Geotechnologies applied in the analysis of land use and land cover (LULC) transition in a hydrographic basin in the Brazilian Cerrado.** Remote Sensing Applications: Society and Environment, 22, 2021.

BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B.D.; STRIBLING, J.B. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish**. 2nd ed. EPA 841-B-99-002. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water. (1999).

DALE, V.H.; BEYELER, S.C. **Challenges in the development and use of ecological indicators**. *Ecological Indicators*, 1, 3-10, 2001.

DARDENNE, M.A.; CAMPOS, J.E.G. Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros-GO. In: SCHOBENHAUS, C. (org.), **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil-SIGEP**. Brasília: MME/DNPM, 1, p. 323-333, 2002.

FERRANEZE, M. **The effect of the land use on phytoplankton assemblages of a Cerrado stream (Brazil)**. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24, 43-51, 2012.

GERMANN, P.F. Macropores and hydrologic hillslope processes. In: ANDERSON, M.G.; BURT, T.P. (eds). **Process Studies in Hillslope Hydrology**. Chichester (United Kingdom): John Wiley & Sons. p. 327-36, 1994.

KLAIS, T.B.A.; DALMAS, F.B.; MORAIS, R.P.; *et al.* **Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil**. *Ambi-Água*, 7(2), 277-290, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.786>

LANZAS, M.; HERMOSO, V.; de-MIGUEL, S.; *et al.* **Designing a network of green infrastructure to enhance the conservation value of protected areas and maintain ecosystem services**. *Science of the Total Environment*, 651, 541-550, 2019.

LIMA, P.C.A.; FRANCO, J.L.A. **As RPPNs Como Estratégia Para a Conservação da Biodiversidade: O caso da Chapada dos Veadeiros**. *Sociedade & Natureza*, 26(1), 113-125, 2014. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140108>

LUCAS-BORJA, M.E.; CARRÀ, B.G.; NUNES, J.P.; *et al.* **Impacts of land-use and climate changes on surface runoff in a tropical forest watershed (Brazil)**. *Hydrological Sciences Journal*, 65(11), 1956-1973, 2020.

MINATTI-FERREIRA, D.D.; BEAUMORD, A.C. **Adequação de um protocolo de avaliação rápida de integridade ambiental para ecossistemas de rios e riachos: aspectos físicos**. *Revista Saúde e Ambiente*, 7(1), 39-47, 2006.

MENEZES, J.M.; SILVA, G.C.; MANSUR, K.L.; *et al.* **Qualidade da Água Superficial em Área Rural**. *Caderno de Estudos Geoambientais*, 03, 32-43, 2012.

MONTEIRO, J.A.F.; KAMALI, B.; SRINIVASAN, R.; *et al.* **Modelling the effect of riparian vegetation restoration on sediment transport in a human-impacted Brazilian catchment**. *Ecohydrology*, 9(7): 1289-1303, 2016.

OMERNIC, K.J.M.; ABERNATHY, A.R.; MALE, L.M. **Stream nutrient levels and proximity of agricultural and forest land to streams: some relationships**, *Journal of Soil and Water Conservation*, 36(4), 227-231, 1981.

PADOVESI-FONSECA, C.; MARTINS-SILVA, M.J.; PUPPIN-GONÇALVES, C.T. **Cerrado's areas as a reference analysis for aquatic conservation in Brazil**. *Biodiversity Journal*, 6, 805-816, 2015.

PINTO, M.N. **Residuais de aplainamentos na "chapada" dos veadeiros-Goiás, Brazil**. *Revista Brasileira de Geografia*, 48(2) 187-197, 1986.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos, Embrapa Solos**. 2018. <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. **Automatic delimitation of watershed using data SRTM**. Engenharia de Água e Solo, 30(1), 46-57, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000100005>

TONIN, A.M.; POZO, J.; MONROY, S.; *et al.* **Interactions between large and small detritivores influence how biodiversity impacts litter decomposition**. Journal of Animal Ecology, 87(5), 1465-1474, 2018.

VIEIRA, B.C.; FERREIRA, F.S.; GOMES, M.C.V. **Propriedades físicas e hidrológicas dos solos e os escorregamentos rasos na Serra do Mar Paulista**. Raega-O Espaço Geográfico em Análise, 34, 269-287, 2015.

SOBRE A ORGANIZADORA

Dra. Claudia Padovesi Fonseca - Bióloga formada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, Brasil), Mestre em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP, Brasil) e Doutora em Engenharia Ambiental (USP, Brasil). Realizou dois Estágios Pós-Doutoral no exterior: em Limnologia na Universidade de Granada, Granada, Espanha; e em Ecologia Aplicada na Universidade de Paris Pierre e Marie Curie, Paris, França. Atualmente é Professora Associada 4 da Universidade de Brasília (UnB, Brasil). Até o presente foi responsável pela orientação e formação de mestres e doutores na área de Limnologia (PPG Ecologia, UnB), mestres professores de biologia (ProfBio) e gestores de água (ProfÁgua), além de estagiários de graduação, inclusive de alunos estrangeiros. É líder do grupo de pesquisa Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) da UnB, cadastrado no CNPq desde 1997. Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Limnologia, atuando principalmente nos seguintes temas: qualidade de água, biota aquática (zooplâncton, fitoplâncton, bentos e peixes), ambientes lóticos (riachos) e lênticos (lagoas e reservatórios), Brasil central e Amazônia.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Águas naturais 25, 34, 59, 60, 64, 66, 70, 79

Águas pristinas 41

Ambientes lóticos 30, 37, 45, 47

Áreas preservadas 2, 6, 45, 77

B

Bacia hidrográfica 5, 70, 72, 73, 78, 79

Bentos 1, 41, 43, 45, 46, 47

Biodiversidade aquática 1, 2, 4, 8, 9, 13, 14, 16, 27

Biologia reprodutiva 50, 52, 53, 56, 57, 58

C

Cerrado 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 46, 47, 48, 49, 50, 59, 60, 61, 68, 70, 72, 73, 74, 76, 79, 80, 81

Cerrado de altitude 30, 41, 42, 74

Composição química 59, 61, 65, 66, 69

Conservação biológica 21

D

Diagrama de Piper 59, 66, 67

E

Espécies endêmicas 2, 6, 7, 12, 21, 22, 31, 34, 38

F

Fitoplâncton 8, 11, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28

I

Ictiofauna 10, 50, 51, 52, 58

Indicadores biológicos 14, 24, 30, 41

M

Mapeamento ambiental 72

Microcrustáceos aquáticos 30, 34

N

Nascentes 1, 3, 13, 15, 21, 23, 25, 27, 34, 42, 46, 79, 80

P

Preservação ambiental 27, 72

Q

Qualidade de água 41, 42, 59, 61, 68, 72, 78, 79

R

Razão gonadossomática 50, 53

S

Savana brasileira 2, 21