

Avaliação ecológica rápida de qualidade de água do Rio Caraça como um ecossistema em condições de referência

Ecological rapid assessment of water quality in Caraça river as a reference ecosystem

Fernandes, Arthur; Dolabela, Bárbara; Senna, Norma; Marques, Rafael; Amaral, Pedro Henrique Monteiro do; Callisto, Marcos

 **Arthur Fernandes** artsf2013@gmail.com
UFMG, Brasil

 **Bárbara Dolabela** barbara.dolabela@gmail.com
UFMG, Brasil

 **Norma Senna** normarnsenna@gmail.com
UFV, Brasil

 **Rafael Marques** rafael.dimarques@gmail.com
UFV, Brasil

 **Pedro Henrique Monteiro do Amaral**
pedrobio2009@gmail.com
UFLA, Brasil

 **Marcos Callisto** callistom@ufmg.br
UFMG, Brasil

Revista Espinhaço

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
ISSN-e: 2317-0611
Periodicidade: Semestral
vol. 11, núm. 1, 2022
revista.espinhaco@gmail.com

Recepção: 06 Janeiro 2022
Aprovação: 16 Março 2022

URL: <http://portal.amelica.org/amelijournal/485/4852823002/>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6564171>



Este trabalho está sob uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0.

Resumo: Alterações ambientais causadas por ações antrópicas são as principais responsáveis pela perda de biodiversidade. A conservação e monitoramento de áreas naturais são importantes para garantir recursos e serviços ecossistêmicos à humanidade. Este estudo buscou responder a seguinte pergunta de pesquisa: cercado por áreas de mineração na bacia do Rio Doce, o rio Caraça conserva características ecológicas de um ecossistema em condições de referência? Coletamos cinco pontos no Rio Caraça, localizado na Reserva Particular do Patrimônio Natural Santuário do Caraça, Catas Altas (MG). Aplicamos três abordagens ecológicas: protocolo de avaliação rápida de diversidade de habitat e integridade de zonas ripárias; mensuração de parâmetros físicos e químicos; coleta de macroinvertebrados bentônicos. Os resultados comprovaram que o Rio Caraça possui condições ecológicas bem preservadas, boa qualidade de água e abriga alta diversidade de macroinvertebrados. Na bacia do Rio Doce (com mineração, agricultura e rejeitos urbanos) o Rio Caraça preserva características de um ecossistema em condições de referência para estudos de qualidade ecológica, integridade e monitoramento ambiental. O rio Caraça oferece condições apropriadas para a conservação de biodiversidade, além de importantes atrativos para lazer e bem-estar humano, incluindo turismo ecológico e religioso.

Palavras-chave: bioindicadores, macroinvertebrados bentônicos, serviços ecossistêmicos, protocolo de avaliação rápida.

Abstract: Environmental changes caused by human pressures are the main responsible for biodiversity loss. The conservation and monitoring of remaining natural areas are fundamental to guarantee the provision of resources and ecosystem services to humanity. This study aimed to answer: Surrounded by mining areas and immersed in the anthropogenic matrix of the Doce River basin, does the Caraça River preserve ecological characteristics as a reference ecosystem? Our samplings were conducted in five sites in the Caraça River, located in the Reserva Particular do Patrimônio Natural Santuário do Caraça, Catas Altas (MG). We applied three ecological approaches: Rapid Assessment Protocol for habitat diversity and integrity of riparian zones; measurement of physical and chemical parameters; and sampling of benthic macroinvertebrates. The results confirmed that the Caraça River

has well-preserved ecological conditions, good water quality, and high diversity of macroinvertebrates. Therefore, despite the heavily disturbed condition caused by mining, agriculture, and urban waste in the Doce River basin, the Caraça River preserves characteristics of an ecosystem in reference conditions for studies of ecological quality, ecological integrity, and environmental monitoring. In summary, the Caraça River offers appropriate conditions for biodiversity conservation, leisure, and human well-being, including ecological and religious tourism attractions.

Keywords: bioindicators, benthic macroinvertebrates, ecosystem services, rapid assessment protocol.

1. Introdução

A definição de parâmetros de qualidade ecológica de rios é de interesse para a conservação da integridade de ecossistemas aquáticos e para o monitoramento de impactos antrópicos em suas bacias hidrográficas. Essa definição é dificultada pela heterogeneidade de condições de degradação devido a distúrbios por atividades humanas. Em um gradiente de condições ecológicas é necessário considerar ecossistemas em condições de referência, conforme previsto nas legislações federais (p.ex. CONAMA 357/2005 e o Novo Código Florestal, Lei 12.651/2012) e estadual (DN COPAM 001/2008). No estado de Minas Gerais, iniciativas para caracterizar riachos de cabeceira em condições de referência no Cerrado (Martins et al., 2017) e Mata Atlântica (Agra et al., 2018), utilizaram aspectos geográficos independentes de pressões humanas e assembleias de bioindicadores bentônicos como referências regionais. Portanto, identificar ecossistemas em condições de referência é necessário para definir gradientes de condições ecológicas em bacias hidrográficas e permitir avaliações ecológicas de diagnóstico ambiental, monitoramento e restauração de ecossistemas.

Um desafio na biologia da conservação tem sido a definição de serviços ecossistêmicos, ferramenta aplicada para a conservação de biodiversidade e recursos naturais. Os serviços ecossistêmicos são definidos pelos benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas naturais e seu funcionamento (Leemans e De Groot, 2003; MEA, 2003). As principais categorias de serviços ecossistêmicos incluem: (1) provisão (alimentos, água fresca, lenha e fibras), (2) regulação (clima, doenças, água), (3) culturais (religiosos e espirituais, recreação e ecoturismo, estéticos, educacionais) e (4) de suporte (formação do solo, ciclo de nutrientes, produção primária) (MEA, 2003; Grizzetti et al., 2016). A conservação de serviços ecossistêmicos de ecossistemas aquáticos contribui para a gestão adequada de bacias hidrográficas em diferentes escalas geográficas, incluindo sua valoração e múltiplos interesses econômicos, sociais e ambientais. Além disso, a caracterização de rios em condições de referência e seus serviços ecossistêmicos é um treinamento importante para jovens pós-graduandos que trabalham para conservar a biodiversidade e recursos naturais em bacias hidrográficas.

O Rio Caraça, inserido na Reserva Particular do Patrimônio Natural Santuário do Caraça (RPPNSC) na bacia do Rio Doce, possui no seu entorno atividades antrópicas de uso do solo, incluindo a produção agropastoril e áreas de mineração. Como definido em seu plano de manejo, um dos objetivos da RPPNSC é a

proteção da cobertura vegetal natural e espécies silvestres. A cobertura vegetal na reserva e seu entorno é primariamente composta por florestas do bioma Mata Atlântica e a manutenção dessa cobertura vegetal está associada à melhor qualidade das águas de rios e riachos em paisagens antropizadas no Sudeste do Brasil (Mello et al., 2018; Brasil, 2006). A RPPNSC conserva características bem preservadas e oferece serviços ecossistêmicos que promovem a interação entre turistas e a natureza de forma sustentável, incluindo: água de ótima qualidade para abastecimento e consumo humanos em todas as instalações da reserva, ecoturismo histórico e religioso integrado entre igrejas, museus e pousada, trilhas e grutas em meio à vegetação local, áreas para banho e lazer com cachoeiras e água cristalina e o contato direto com a vida silvestre. Todos esses serviços ecossistêmicos incentivam a visita de turistas brasileiros e estrangeiros, promovem valores sociais e culturais, estimulam a educação ambiental e a realização de cursos de campo para estudantes de programas de pós-graduação, além de incentivar pesquisas científicas. Desde o Plano de Manejo da RPPNSC há uma lacuna de conhecimentos sobre a qualidade de suas águas e a biodiversidade aquática, suas condições ecológicas, bens e serviços ecossistêmicos, e importância como ecossistema em condições de referência na bacia do Rio Doce. Esses conhecimentos são de extrema importância para a conservação e manejo de recursos hídricos na bacia do Rio Doce, principalmente considerando as atividades humanas que demandam múltiplos usos da água, abastecimento para consumo humano e, conseqüentemente, influenciam a saúde pública de mais de três milhões de habitantes, nos mais de 300 municípios ao longo da bacia. O Plano de Manejo da RPPNSC aborda aspectos genéricos dos recursos hídricos e destaca a inexistência de informações ecológicas, apesar de salientar a importância dos ecossistemas aquáticos com águas de boa qualidade e sua utilização para o consumo após tratamento adequado (Minas Gerais, 2013).

Considerando que a RPPNSC conserva recursos hídricos com águas de boa qualidade na bacia do Rio Doce e que são utilizados por moradores e visitantes, além de espécies silvestres que habitam a região, há uma lacuna de conhecimentos sobre o estado de conservação de suas águas. Testamos a hipótese de o Rio Caraça apresentar condições de referência, águas de boa qualidade segundo a legislação ambiental brasileira e alta biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos. Esperávamos encontrar parâmetros físicos e químicos em conformidade com a legislação ambiental vigente, alta diversidade de habitats e integridade de zonas ripárias, elevada abundância de bioindicadores sensíveis, tolerantes e resistentes à poluição, além da identificação de serviços ecossistêmicos de provisão, regulação, culturais e suporte. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade de água, biodiversidade de bioindicadores bentônicos e relacionar o uso da terra com a integridade ecológica do Rio Caraça como um ecossistema em condições de referência no gradiente de degradação ambiental na bacia do Rio Doce, MG.

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

A RPPNSC integra a maior parte da Serra do Caraça, componente geográfico do quadrilátero ferrífero, definindo seu limite a leste e localizado abaixo do

complexo geomorfológico da Cadeia do Espinhaço (Figura 1). O Quadrilátero Ferrífero e a paisagem da RPPNSC são historicamente reconhecidos como polo de atividades humanas e compreende uma região de intenso uso histórico das paisagens e recorrentes conflitos socioecológicos (Roeser e Roeser, 2013; Marent, 2011). A área da RPPNSC é majoritariamente coberta por formações florestais e campos rupestres quartzíticos, associados a extensos afloramentos rochosos e neossolos litólicos (Varajão et al., 2009).

A hidrografia da RPPNSC está contida na bacia hidrográfica do Rio Doce, em sua porção a sudoeste, pertencendo à sub-bacia do Rio Piracicaba (COPAM nº 09, de 19 de abril de 1994). Na RPPNSC, há duas micro-bacias: Ribeirão Caraça e Córrego Capivari, respectivamente, com 7300 ha e 44ha (MMA/IBAMA, 2012).

A amostragem neste estudo foi realizada em janeiro de 2022, em um trecho do Rio Caraça na RPPNSC, onde utilizamos três abordagens para avaliar a qualidade de água e sua biodiversidade.

2.2 Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats e Integridade de Zonas Ripárias

Foi aplicado o Protocolo de Avaliação Rápida (RAP) proposto por Callisto et al. (2002) para avaliar os habitats físicos e a integridade da zona ripária de cada ponto amostrado no Rio Caraça (Figura 2). Esse protocolo possibilita uma avaliação rápida não só do ecossistema aquático, mas também, de diversos aspectos da paisagem em torno do trecho do rio. A avaliação da diversidade de habitats ao longo de um rio fornece informações importantes quanto à integridade física do meio aquático, assim como processos de distúrbios antrópicos ao longo do seu percurso, sendo utilizada como uma ferramenta essencial para o monitoramento ambiental.

O protocolo RAP aplicado avalia um conjunto de 22 parâmetros descritivos, dos quais a primeira parte do protocolo é pontuada de 0 a 4 pontos e a segunda parte de 0 a 5 pontos. Somando as pontuações obtidas através da avaliação desses parâmetros, obtemos a classificação quanto à integridade física do corpo d'água (Callisto et al., 2002): < 40 pontos, condição degradada; 41 - 60 pontos, condição alterada; > 61 pontos, condições de referência.

2.3 Parâmetros físicos e químicos de qualidade de água

Nós mensuramos in situ os parâmetros físicos e químicos de qualidade de água, que incluem temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L) (YSI), pH, potencial oxi-redox (mV, Digimed DM-2P), turbidez (UNT, Digimed DM-TU), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totais dissolvidos (ppm), resistividade ($\text{K}\Omega/\text{cm}$, Digimed DM-3P) (Figura 2), em cinco pontos amostrais no Rio Caraça (P1 – Belchior; P2 - Tanque grande; P3 - Cascatinha ; P4 - Prainha e; P5 - Banho do Imperador, Figura 3).

2.4 Bioindicadores bentônicos de qualidade de água

As coletas das assembleias de macroinvertebrados bentônicos foram realizadas em cinco pontos amostrais no Rio Caraça buscando avaliar os principais habitats disponíveis (Figura 3). Em cada ponto foram coletadas subamostras em substratos de sedimentos finos (areias), de sedimentos grossos (cascalhos), em macrófitas aquáticas enraizadas e junto a raízes da vegetação ripária, em substrato rochoso na cachoeira, utilizando amostradores kick-net (abertura de 30cm, 0,09 m² de área e malha de 500 µm), Surber (0,09m²) e peneiras de mão (malha 1 mm). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, levadas para o laboratório, lavadas sobre peneira e triadas em bandejas trans-iluminadas. No laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG os organismos foram identificados em microscópio estereoscópico utilizando chaves taxonômicas (Mugnai et al., 2010; Hamada et al., 2014) até o nível taxonômico de famílias, exceto Oligochaeta. Posteriormente, os organismos foram depositados na Coleção de Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais.

Classificamos os táxons encontrados em cinco grupos funcionais (GF) de acordo com sua forma de obtenção de alimento: coletores-catadores (CC), que se alimentam de matéria orgânica particulada fina (FPOM); coletores-filtradores (CF), que filtram a FPOM transportada na coluna d'água; fragmentadores (F), que são capazes de se alimentar de detritos foliares (CPOM); raspadores (R), que raspam o perifíton sobre pedras e seixos no fundo de rios; e predadores (P), que predam outros animais, inteiros ou suas partes (Cummins et al., 2005; Merritt et al., 2008; Ramírez e Gutiérrez-Fonseca, 2014).

Os macroinvertebrados bentônicos foram classificados em sensíveis, tolerantes e resistentes às perturbações antrópicas (França e Callisto, 2019). Para cada táxon foi atribuída uma pontuação com base no nível de sensibilidade do táxon frente a distúrbios antrópicos de acordo com tabela proposta por Junqueira et al. (1998; 2000; 2018). A pontuação varia de 1 a 10, e quanto maior é a pontuação maior a sensibilidade do táxon a distúrbios.

A partir das pontuações nós calculamos três índices biológicos para cada ponto amostral, sendo eles a abundância relativa (%) dos táxons sensíveis, tolerantes e resistentes, os índices BMWP (Biological Monitoring Working Party) e BMWP-ASPT (Average Score per Taxon). O índice BMWP consiste na somatória desta pontuação, enquanto o BMWP-ASPT é obtido pela razão do valor de BMWP pelo número de famílias pontuadas em cada sítio de coleta. De acordo com Junqueira et al. (2000), a classificação de qualidade de águas está delimitada por faixas de valores do índice BMWP, onde valores > 81 indicam uma condição “excelente”, entre 80-61 “boa”, entre 60-41 “regular”, 40-26 “ruim” e < 25 é considerada “péssima”. Locais onde o somatório de escores de BMWP-ASPT for maior que 6, a qualidade da água é considerada como “muito boa”, entre 6-5 “boa”, entre 4,9-3,9 “regular”, entre 2,5-3,8 “ruim” e valores menores que 2,5 classificam a qualidade das águas como “péssima”.

2.5. Mudanças no Uso e Cobertura do Solo

Avaliamos a variação temporal (1985-2020) da cobertura vegetal natural e diferentes classes de uso antrópico, na paisagem interna e externa à RPPNSC. Para isso, foram quantificadas (hectares) as classes categorizadas de diferentes coberturas vegetais e o uso antrópico na paisagem da RPPNSC em um buffer. Cada buffer foi delimitado por uma área de cinco quilômetros. Utilizamos para obtenção das classes de uso os mapas categorizados a partir de um grupo de imagens multiespectrais de satélite Landsat, disponibilizados pela plataforma MapBiomas coleção 6 (Souza et al., 2020). Foram produzidos dois mapas com resolução de pixels com 30 x 30 metros e o sistema de coordenadas geográficas utilizado para as análises foi EPSG:32632 - WGS 84. Utilizamos o software QGIS para o geoprocessamento e o software R para análises de métricas espaciais.

As paisagens interna e externa à RPPNSC foram avaliadas quanto às mudanças no uso da terra, comparando imagens nos anos de 1985 e 2020. A área interna à RPPNSC é de 12439 hectares, enquanto o buffer externo possui 36500 hectares. As classes categorizadas utilizadas para a análise descritiva de variação no uso do solo foram definidas em áreas de cobertura vegetal natural (formações florestais, formações savânicas, campos campestres, afloramentos rochosos) e áreas antropizadas (pastagens, silvicultura, mosaico agropastoril, urbanização e mineração).

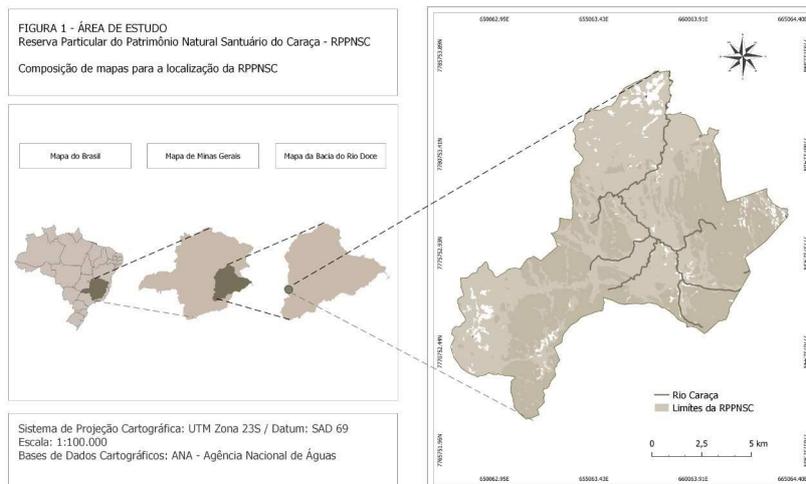


Figura 1 - Localização geográfica do Rio Caraça, Reserva Particular do Patrimônio Natural Santuário do Caraça, MG, Brasil.



Figura 2. Múltiplas abordagens de amostragem de dados para mensurar qualidade da água do Rio Caraça, RPPNSC - MG, Brasil.

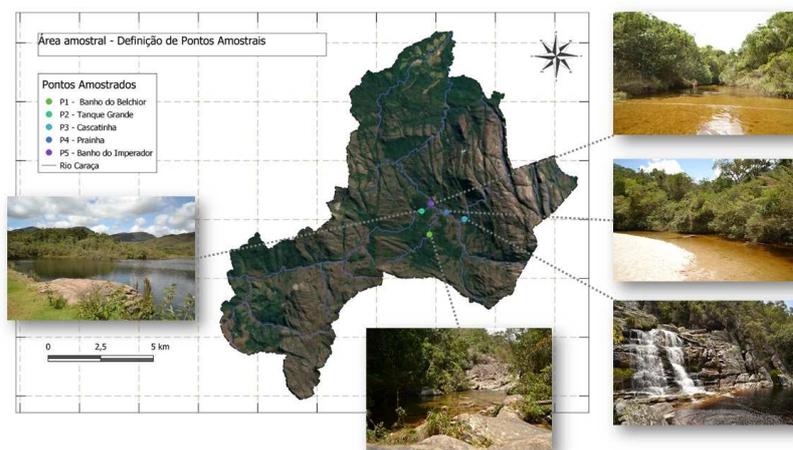


Figura 3. Pontos amostrais no Rio Caraça, situados da RPPNSC - MG, Brasil.

3. Resultados

Os resultados obtidos a partir da aplicação do Protocolo RAP de Diversidade de Habitats e Integridade de Zonas Ripárias evidenciou elevada diversidade de habitats e a integridade da vegetação ciliar, com valor médio de 93,6 (Min. 79, Max. 100). Além disso, podemos aferir que os parâmetros químicos e físicos da água estão em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces, que conforme previsto na DN COPAM 001/2008, preconiza a classificação das águas de Minas Gerais como Classe 2 (Tabela 1).

Coletamos 239 macroinvertebrados bentônicos, que foram classificados de acordo com Junqueira et al., 2000 (Tabela 2). Os resultados dos índices BMWP e ASPT (abaixo de 52 e entre 6.75 e 9.27, respectivamente), corroboram a ótima qualidade de água (Tabela 3). Portanto, a diversidade de organismos encontrados

e o resultado do cálculo do índice ASPT superior a 6 são um indicativo de boa qualidade de água (França e Callisto, 2019).

Tabela 1. Parâmetros físicos e químicos de qualidade de água nos cinco pontos amostrais no Rio Caraça (MG), RPPNSC, janeiro de 2022.

Parâmetros Abióticos	Belchior	Tanque grande	Cascatinha	Prainha	Banho do Imperador
Temperatura (°C)	18,0	24,0	20,1	20,8	22,3
pH	6,48	5,62	4,99	6,20	6,35
Condutividade (µS/cm)	3,64	7,60	13,41	11,36	3,50
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	9,60	8,40	9,60	8,80	8,35
Turbidez (UNT)	0,86	1,33	1,20	0,78	3,23
Resistividade (KΩ/cm)	274,4	128,7	81,3	91,5	115,3
Redox da Água (mV)	102,3	71,1	128,1	123,0	95,0
Redox do Sedimento (mV)	149,2	-28,0	132,4	110,0	7,3
Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)	1,42	2,53	4,33	3,62	2,13
RAP	100	79	100	94	94

Elaboração própria.

Tabela 2 - Composição taxonômica, classificação em grupos tróficos funcionais (CC: coletores-catadores, CF: coletores-filtradores, F: fragmentadores, P: predador, R: raspador), sensibilidade às mudanças ambientais por atividades humanas (sensíveis, tolerantes e resistentes) e número de indivíduos de macroinvertebrados bentônicos coletados nos cinco pontos amostrais (P1: Tanque grande, P2: Belchior, P3: Cascatinha, P4: Prainha, P5: Banho do Imperador) no rio Caraça, RPPNSC, Minas Gerais, Brasil.

Annelida							
Oligochaeta	CC	Resistentes	0	0	1	0	0
Coleoptera							
Dytiscidae	P	Tolerantes	0	0	1	0	0
Elmidae	CC	Tolerantes	1	0	1	0	0
Gyrinidae	P	Tolerantes	1	0			
Halplidae	CC	Tolerantes	0	0	6	0	5
Psephenidae	R	Tolerantes	0	0	2	0	0
Diptera							
Chironomidae	CC	Resistentes	0	0	23	0	0
Simuliidae	CF	Resistentes	0	1	2	0	0
Tipulidae	F	Resistentes	0	0	2	0	2
Ephemeroptera							
Baetidae	CC	Tolerantes	5	5	38	2	2
Leptohyphidae	CC	Sensíveis	2	0	0	0	0
Leptophlebiidae	CC	Sensíveis	4	0	0	0	0
Hemiptera							
Corixidae	R	Tolerantes	0	0	1	0	1
Gelastocoridae	P	Tolerantes	0	0	2	0	0
Helotrephidae	P	Tolerantes	6	0	9	0	2
Notonectidae	P	Tolerantes	2	0	8	0	0
Megaloptera							
Corydalidae	P	Tolerantes	0	0	1	0	1
Odonata							
Aeshnidae	P	Tolerantes	1	0	1	0	0
Calopterygidae	P	Tolerantes	3	0			
Corduliidae	P	Tolerantes	0	0	1	0	0
Gomphidae	P	Tolerantes	1	1	12	0	1
Libellulidae	P	Tolerantes	0	2	2	0	0
Plecoptera							
Gripopterygidae	F	Sensíveis	0	0	2	0	0
Perlidae	P	Sensíveis	2	0	1	0	0
Trichoptera							
Helicopsychidae	R	Sensíveis	0	0	0	2	
Hydropsychidae	CF	Sensíveis	0	0	1	4	1
Leptoceridae	F	Sensíveis	0	0	0	40	
Odontoceridae	F	Sensíveis	0	0	0	8	8
Polycentropodidae	P	Sensíveis	0	2	2	0	2

Elaboração própria

Tabela 3. Índices bióticos de bioindicadores bentônicos nos cinco pontos amostrais no Rio Caraça (MG), RPPNSC, janeiro de 2022.

Métricas Biológicas	Belchior	Tanque grande	Cascatinha	Prainha	Banho do Imperador
% Sensíveis	47	18	67	50	27
% Tolerantes	50	82	8	47	57
% Resistentes	3	0	25	3	16
BMWP	32	16	52	41	41
BMWP-ASPT	7,83	9,27	7,53	7,94	6,75

Elaboração própria

O levantamento do uso e cobertura do solo identificou que os afloramentos rochosos ocupam 5613 ha, as formações florestais apresentaram ganho de 256 ha no intervalo 1985-2020, hoje com 5600 ha (Figura 4). As formações campestres perderam 48,4 ha em 2020 (682 ha atuais). As formações savânicas são pouco expressivas na paisagem da RPPNSC, enquanto que a cobertura por vegetação natural recuperou 269 ha no intervalo de 1985 a 2020. Os usos antrópicos foram reduzidos de 940 ha para 443 ha, incluindo pastagens (104 para 95 ha), mosaico agropastoril (redução de 414 ha). Não foram identificadas mineração e urbanização no interior da RPPNSC. Na área externa à RPPNSC a extensão total de formações vegetais naturais foi reduzida em 451 ha no intervalo de 1985 a 2020.

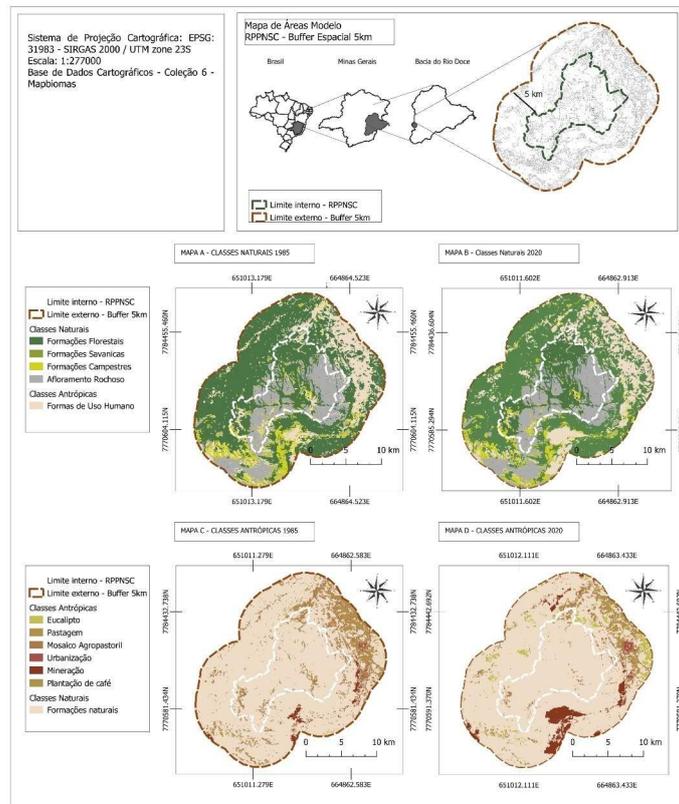


Figura 4. Mapas de avaliação de Uso e Cobertura do Solo, obtidos para o ano de 1985 e 2020. Acima, área interna da RPPNSC e abaixo, área referente ao buffer de 5 km no entorno do rio Caraça.

4. Discussão

Os resultados obtidos confirmam a hipótese de estudo: o Rio Caraça possui boa qualidade de água, alta diversidade de habitats e alta diversidade de organismos sensíveis, tolerantes e resistentes à poluição. Estes resultados são os primeiros obtidos na RPPNSC e, conforme previsto no Plano de Manejo da Unidade de Conservação, evidenciam a importância de conservação de suas águas para múltiplos usos, para conservação da vida silvestre e provimento de bens e serviços ecossistêmicos a múltiplos usos humanos. Além disso, na bacia do Rio Doce, as águas em condições de referência do Rio Caraça oferecem oportunidade de avaliar a qualidade ecológica na bacia frente a pressões e distúrbios humanos, incluindo urbanização, mineração, siderurgia e silvicultura. Atividades humanas têm sido intensificadas de 1985 a 2020 e as pressões sobre os recursos hídricos na RPPNSC colocam em risco a qualidade de água, biodiversidade, bens e serviços ecossistêmicos.

Os valores obtidos da aplicação do Protocolo RAP de Diversidade de Hábitats e Integridade de Zonas Ripárias evidenciaram a conservação tanto do rio quanto da paisagem circundante. A alta heterogeneidade de habitats fluviais e a integridade dos meta-ecossistemas ripários no Rio Caraça oferecem condições adequadas à manutenção da elevada diversidade de organismos aquáticos e semi-aquáticos (Callisto et al., 2019). O crescente aumento dos distúrbios antrópicos na bacia do Rio Doce, com a substituição de ambientes naturais por ambientes extremamente alterados, torna cada vez mais importante o engajamento social e político visando a proteção integral de áreas que conservam suas condições naturais. Dessa forma, destacamos a importância da aplicação de abordagens RAP, pelo seu caráter prático e econômico, rápida e de fácil compreensão, além de serem padronizadas, o que gera respostas consistentes que permitem comparar trechos de rios em diferentes estados de conservação, como na bacia do Rio Doce. Com base nesta caracterização do Rio Caraça como em condições de referência na bacia do Rio Doce, torna-se possível estabelecer gradientes de perturbação, considerando condições de referência e comparando com outros rios em diferentes níveis de estresse devido a perturbações por atividades humanas. Esta abordagem é, portanto, a base para programas de monitoramento de qualidade ecológica e integridade biótica em bacias hidrográficas (Callisto et al., 2019).

O resultado das mensurações de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água no rio Caraça confirmaram a boa qualidade de água e conformidade com os limites da Resolução CONAMA 357/2005. Esta caracterização de qualidade de água em uma bacia inserida em uma paisagem altamente antropizada reafirma a importância do estabelecimento da RPPNSC como unidade de conservação de âmbito federal em 1994, iniciativa da Congregação da Missão, que sem dúvidas é um dos grandes responsáveis pela manutenção e conservação da biodiversidade local. Assim, o que havia sido sinalizado inicialmente no Plano de Manejo tem, com este estudo, os primeiros resultados da avaliação de qualidade de água e conformidade à legislação ambiental brasileira.

O levantamento de fauna bentônica realizado por este estudo é o primeiro conjunto de dados na RPPNSC. A alta diversidade de macroinvertebrados bentônicos amostrada no Rio Caraça, com a presença

de organismos sensíveis (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), tolerantes (Coleoptera, Megaloptera, Heteroptera, Odonata) e resistentes (Chironomidae e Oligochaeta) é um importante indicativo da diversidade biológica local, que reflete ambientes fluviais que se encontram em elevado nível de conservação de suas condições ecológicas (França e Callisto, 2019). A riqueza e abundância de grupos de macroinvertebrados têm sido apontados como importante ferramenta para avaliação de qualidade de água (Callisto et al., 2019, 2021; Garuana et al., 2020). Estes organismos são bioindicadores tanto de conservação (p.ex., abundância equilibrada de organismos sensíveis, tolerantes e resistentes) quanto de distúrbios antrópicos (p.ex., elevada abundância de organismos resistentes e baixa diversidade de organismos sensíveis e tolerantes) (França et al., 2018).

O Rio Caraça oferece diversos serviços ecossistêmicos aos visitantes e turistas, incluindo: serviços de provisão (p.ex. produção alimentos e água potável após tratamento primário); serviços de regulação (p.ex. purificação da água e do ar); serviços culturais (p.ex. relacionados ao conhecimento tradicional, religioso e espiritual) e de recreação (ecoturismo e turismo religioso). Esses podem ser definidos como os benefícios que os ecossistemas naturais oferecem à população humana, permitindo múltiplos usos que contribuem positivamente à sua qualidade de vida (Leemans e De Groot, 2003). Nesse sentido, o monitoramento a longo prazo de áreas que possuam tais condições podem ser uma ferramenta efetiva para sua conservação.

Esta avaliação ecológica rápida no rio Caraça foi realizada durante o Curso de Campo dos Programas de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (UFMG) e de Pós-graduação em Ecologia (UFV), realizado em janeiro de 2022. Essa disciplina contribui à formação acadêmica dos pós-graduandos que desenvolvem projetos orientados e projetos livres, aplicando o método científico e metodologias ecológicas em campo. Além disso, o curso conta com a participação de diversos professores e pesquisadores pós-doc convidados que atuam em diversas áreas da Ecologia, em uma abordagem multidisciplinar fundamental para a formação de jovens pesquisadores. Nesse sentido, a experiência de realizar a Avaliação Ecológica Rápida do Rio Caraça durante o Curso de Campo foi uma experiência exitosa que preencheu uma lacuna de conhecimentos acerca da qualidade de água e biodiversidade deste ecossistema em condições de referência. Os resultados obtidos neste estudo, levantados em aulas práticas com estudantes de mestrado e doutorado durante curso de campo em Ecologia (UFMG-UFV), reforçam a importância da prática da pesquisa dentro de áreas protegidas, como reservas particulares e parques. Esta prática de aprender-fazendo oferece oportunidade para o levantamento de dados técnicos de qualidade, que podem enriquecer os bancos de dados de Unidades de Conservação ao levantar informações sobre a biodiversidade. Dessa forma, podendo inclusive auxiliar em planos de manejo, contribuindo efetivamente para o aumento de esforços para conservação, fomentando novas pesquisas na RPPNSC. Integrar diferentes atores e gestores ambientais, pesquisadores e produzir novos conhecimentos de interesse público para a conservação de biodiversidade e serviços ecossistêmicos é, em nossa opinião, um investimento para o futuro do país.

Acreditamos ser papel da comunidade acadêmica viabilizar a divulgação e extensão do conhecimento para a população, através da ciência cidadã, buscando

elucidar os benefícios proporcionados pela conservação da biodiversidade e dos habitats naturais. Sob essa perspectiva, buscamos o empoderamento e conscientização dos visitantes do Santuário do Caraça acerca da importância desse espaço como refúgio da biodiversidade, da manutenção da qualidade ecológica dos sistemas hídricos e da relação intrínseca entre qualidade ambiental e serviços prestados pela natureza às comunidades humanas.

5. Conclusões

Este estudo ressalta a importância do Rio Caraça para a conservação da biodiversidade e manutenção de serviços ecossistêmicos que beneficiam tanto a população local quanto os visitantes da RPPNSC. Além disso, através da aplicação de protocolos RAP, realizamos uma importante avaliação ecológica da diversidade de bioindicadores bentônicos e integridade ecológica (habitats e meta-ecossistemas ripários) no trecho do Rio Caraça inserido na RPPNSC. Essas informações inéditas poderão subsidiar o aprofundamento de pesquisas futuras, atraindo pesquisadores para investigar a ecologia de ecossistemas aquáticos na RPPNSC, sua biodiversidade e funcionamento. Recomendamos que futuros programas de biomonitoramento de qualidade de água contemplem o Rio Caraça como um ecossistema em condições de referência na bacia do Rio Doce, permitindo avaliar e monitorar alterações na estrutura e funcionamento devido a pressões de atividades humanas na bacia.

Importante destacar a Lei No.11.428/2006 que dispõe sobre a utilização e proteção dos remanescentes de vegetação nativa de Mata Atlântica, onde temos além das definições e caracterizações das áreas a serem protegidas, a orientação de atividades a serem desenvolvidas. A Lei da Mata Atlântica, como é conhecida, prevê a manutenção, recuperação de biodiversidade, incluindo seus recursos hídricos, permitindo que possam ser acessados pelas gerações atuais e futuras. Além de destacar atividades como pesquisa, manejo sustentável e atividades ligadas ao turismo recreativo, desde que sejam compatíveis com o equilíbrio ecológico dos ecossistemas, a lei dispõe de parágrafos que estimulam projetos que visem a restauração ambiental. Dessa forma, a criação da RPPNSC garante tanto o acesso recreativo de visitantes, quanto a prática da pesquisa, além da proteção permanente de seus recursos, garantindo refúgio para a conservação da vida silvestre.

Agradecimentos

Agradecemos à organização do Curso de Campo, especialmente aos professores Ricardo Solar e Lucas Paolucci, pela coordenação do Curso UFMG-UFV Janeiro-2022 (ainda durante a pandemia), ao Lucas Perillo pela ajuda logística e em campo, e ao monitor Gabriel Aguila pela ajuda durante as amostragens em campo. À equipe do Santuário do Caraça pela hospedagem, acolhida e carinho durante nossas atividades, em especial ao Biólogo Douglas Henrique Silva, pelas palestras e orientações. As atividades em campo foram realizadas com Licenças SISBIO (permanente MC No. 10635-5, didática Curso de Campo No. 81544-1), e com os financiamentos: Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da

Agência Nacional de Energia Elétrica (CEMIG-ANEEL GT-599); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (PPM 00104-08 para MC); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (304060/2020-8 para MC); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (Código 001).

Referências

- Agra, J., Callisto, M., Santos, R. (2018). Ecoregions and stream types help us understand ecological variability in Neotropical reference streams. *Marine and Freshwater Research*, v. 70, n. 4, p.594-602. DOI: [10.1071/MF18309](https://doi.org/10.1071/MF18309)
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2013). CONAMA Framework Resolution 357/2005: Spatial and temporal analysis of water quality legal compliances in rivers and reservoirs from São Paulo state, Brazil (2005-2009). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, p. 159-168. DOI: [10.1080/01650520400025720](https://doi.org/10.1080/01650520400025720)
- Brasil. (2012). Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Institui o novo código florestal**. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2006). Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências**. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. Disponível em: <[Lei nº 11.428 \(planalto.gov.br\)](http://planalto.gov.br)>. Acesso em 2 mar. 2022
- Callisto, M., Ferreira, W., Moreno, P., Goulart, M., Petrucio, M. (2002). Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 14, n. 1, p. 91-98. ISSN: 2179-975X.
- Callisto, M., Moreno, P., Macedo, D. R. (2019). Biomonitoramento e pressões da urbanização: Uma abordagem integrada entre Ecologia e Geografia na bacia do rio das Velhas. *Revista Espinhaço*, v. 8, n. 1, p. 2-12. DOI: [10.5281/zenodo.3345811](https://doi.org/10.5281/zenodo.3345811)
- Callisto, M., Macedo, D. R., Alves, C. B. M. A., Golgher, A. B., Agra, J. U., Magalhães, S., e Costa, I. S. (2021). Avaliação Ecológica Rápida de qualidade de água no rio das Velhas. *Revista Espinhaço*, v.10, n. 2. DOI: [10.5281/zenodo.5722097](https://doi.org/10.5281/zenodo.5722097)
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). (1994). Deliberação Normativa COPAM nº 09, de 19 de abril de 1994. Dispões sobre o enquadramento da Bacia do rio Piracicaba - MG. Belo Horizonte. Disponível em: <[DELIBERAÇÃO NORMATIVA Nº 009/94 \(siam.mg.gov.br\)](http://siam.mg.gov.br)>. Acesso em: 2 mar. 2022.
- Cummins, K.W., Merritt, R.W., Andrade, P. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in southeast Brazil. *Studies on the Neotropical Fauna and Environment*, v. 40, p. 69-89. DOI: [10.1080/01650520400025720](https://doi.org/10.1080/01650520400025720)
- França, J. S., Callisto, M. (2019). **Monitoramento participativo de rios urbanos: por estudantes-cientistas**. Belo Horizonte, MG: UFMG, p. 284. DOI: [10.17648/ufmg-monitoramento2019](https://doi.org/10.17648/ufmg-monitoramento2019)
- França, J. S., Solar, R., Hughes, R. M., e Callisto, M. (2019). Student monitoring of the ecological quality of neotropical urban streams. *Ambio*, v. 48, n. 8, p. 867-878. DOI: [10.1007/s13280-018-1122-z](https://doi.org/10.1007/s13280-018-1122-z)

- Gerai, M. (2013). Plano de Manejo da RPPN “Santuário Do Caraça”. **Belo Horizonte: Minas Gerais**, 2013.
- Garuana, L., Macedo, D. R., da Matta Machado, A. T. G., Callisto, M. (2020). Integração de indicadores ecológicos, ambientais e de saúde humana em microbacias urbanas. *Revista Espinhaço*, v. 9, n. 1, p. 1-16. DOI: [10.5281/zenodo.3937470](https://doi.org/10.5281/zenodo.3937470)
- Grizzetti, B., Lanza, D., Lique, C., Reynaud, A., Cardoso, A.C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science e Policy*, v.61, p.194–203. DOI: [10.1016/j.envsci.2016.04.008](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008)
- Hamada, N., Nessimian, J. L. e Querino, R. B. (2014). **Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora INPA, p. 722.
- Junqueira, M.V., Campos, S.C.M. (1998). Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 10, n. 2, p. 125-135. DOI: [10.1590/S2179-975X4516](https://doi.org/10.1590/S2179-975X4516)
- Junqueira, M.V., Alves, K., Paprocki, H., Campos, M., de Carvalho, M., Mota, H., Rolla, M. (2018). Índices bióticos para avaliação de qualidade de água de rios tropicais – síntese do conhecimento e estudo de caso: bacia do alto Rio Doce. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, v. 49, p. 15-33. DOI: [10.5327/Z2176-947820180322](https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180322)
- Junqueira, M.V., Amarante, M., Dias, C., França, E. (2000). Biomonitoramento de qualidade das águas da Bacia do Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 12, n. 1, p. 73-87. DOI: [10.1590/S0073-47212010000400003](https://doi.org/10.1590/S0073-47212010000400003)
- Leemans, R., De Groot, R. S. (2003). **Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Millenium assessment contribution**. Washington/Covelo/London: Island Press, p. 245. ISBN: 9781559634021
- Marent, B., Lamounier, W., e Gontijo, B. (2011). Conflitos ambientais na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero-MG: mineração x preservação. *Geografias (UFMG)*, p. 99–113. Disponível em: <http://cantacantos.com.br/revista/index.php/geografias/article/view/133>>. Acesso em 2 mar. 2022
- Martins, I., Ligeiro, R., Hughes, R. M., Macedo, D. R., e Callisto, M. (2017). Regionalisation is key to establishing reference conditions for neotropical savanna streams. *Marine and Freshwater Research*, v. 69, n. 1, p. 82-94. DOI: [10.1071/MF16381](https://doi.org/10.1071/MF16381)
- Mello, K. de, Valente, R. A., Randhir, T. O., dos Santos, A. C. A., e Vettorazzi, C. A. (2018). Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. *CATENA*, v. 167, p. 130–138. DOI: [10.1016/j.catena.2018.04.027](https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.027)
- Merritt, R.W., Cummins, K.W., Berg, M.B. (2008). **An introduction to the aquatic insects of North America**. 4th edition. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2003). **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Washington: Island Press. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/en/>>. Acesso em: 27 fev. 2022.
- MMA/IBAMA. (2013). Plano de Manejo da Reserva do Patrimônio Natural da Serra do Caraça, 2013. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/rppn_santuاريو_do_caraca_pm.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2022.

- Mugnai, R., Nessimian, J. L. e Baptista, D. F. (2010). **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Technical Books.
- Ramírez, A., Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: A critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biologia Tropical*, v. 62, n. 2, p. 155-167. DOI: [10.15517/rbt.v62i0.15785](https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15785)
- Roeser, H. M. P., Roeser, P. A. (2013). O Quadrilátero Ferrífero - Mg, Brasil: Aspectos Sobre Sua História, Seus Recursos Minerais E Problemas Ambientais Relacionados. *Geonomos*, v. 18 n. 1, p. 33–37. DOI: [10.18285/geonomos.v18i1.67](https://doi.org/10.18285/geonomos.v18i1.67)
- Souza, C. M., Z. Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A. Alencar, A., Rudorff, B. F. T., Azevedo, T. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17:2735. DOI: [10.3390/rs12172735](https://doi.org/10.3390/rs12172735)
- Varajão, C. A. C., Salgado, A. A. R., Varajão, A. F. D. C., Braucher, R., Colin, F., Jr, H. Á. N. (2009). Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 6, p. 1409–1425. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n5/v33n5a32.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2022.